

شناسایی نواحی دارای پتانسیل پیچش رودخانه با استفاده از دورسنجی

علی شجاعیان^{۱*}، سارا آموزگار^۲ و سجاد جوکار^۳

^۱ مربی، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران و ^{۲،۳} کارشناس

ارشد، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۳

چکیده

ویژگی‌های مورفولوژیک و ژئومورفولوژیک رودخانه‌ها به دلیل پویایی مداوم آن‌ها همواره دچار تغییر است. در این پژوهش، ژئومورفولوژی قسمتی از رودخانه کارون در رابطه با تغییرات (احتمالاً) منتهی به پیچش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و با روش‌شناسی «توصیفی-تحلیلی» مورد مطالعه قرار داده شده است. برای این منظور، ابتدا ارزش‌های سلولی نوارهای مختلف تصاویر TM (مربوط به سال ۱۹۹۱) و ETM (مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای تشخیص نوارهای نمایش‌دهنده بیشترین تغییرات در مقایسه با سایر نوارها، وزن‌دهی شده است. سپس، از میان نوارهای وزن‌دار شده، مولفه‌های اصلی نوارهای متناظر TM1991 و ETM2010 (به‌عنوان سال‌های ابتدا و انتهای بازه مورد مطالعه) استخراج شده، در نهایت، با تعریف عضویت فازی از تغییرات، مناطق با بیشترین مقدار و شدت تغییرات مشخص و در پنج طبقه ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، نوارهای ۷ و ۵ نمایشگر بیشترین تغییرات وزنی (حریم رودخانه) از میان سایر نوارها به ترتیب برای تصاویر سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰ هستند. از سوی دیگر، تابع عضویت فازی تغییرات نشان داد که بیشینه تغییرات با شدت صفر تا ۲۰ درصد، با مقادیر ۱۴۹ کیلومتر مربع شامل ۴۸/۳ درصد و همچنین، کمینه تغییرات با شدت ۸۰ تا ۱۰۰ درصد با مقادیر ۸/۲ کیلومتر مربع شامل ۲/۶ درصد از کل منطقه مورد مطالعه است. بنابراین، از حریم مورد مطالعه کارون محدوده‌ای شامل هشت کیلومتر مربع (حدود سه درصد از کل منطقه مورد ارزیابی) شدت تغییرات بالای هشتاد درصد را تجربه کرده‌اند و حدود ۲۰ درصد از منطقه با ضریب شدت پنجاه درصد به بالا، مستعد مماندر شدگی و یا در شرف آن هستند.

واژه‌های کلیدی: تصویر ماهواره‌ای، دبی، دینامیک، مورفولوژیک، نوار

مقدمه

متروک شده‌اند. بسیاری معتقدند، جابه‌جایی شهرها و روستاها و یا گسترش و توسعه جانبی آن‌ها نتیجه این فرایند بوده، با گذشت هزاران سال این سنت هنوز باقیست و بسیاری از شهرهای بزرگ در کنار رودخانه‌ها بر پا شده و یا توسعه می‌یابند. بنابراین، شناخت رودخانه‌ها و عملکرد و تاریخچه تکاملی آن‌ها در طول زمان از یک سو برای ردیابی تمدن‌های

از ابتدای تاریخ، بزرگ‌ترین تمدن‌های بشری در کنار بستر رودخانه‌های بزرگ و مهمی چون دجله و فرات، نیل و کارون ایجاد شده‌اند. این امر، به دلیل اهمیت آب در زندگی انسان بوده است. رودخانه‌ها در طول زمان به دلایل مختلف تغییر مسیر داده و از جایی به جای دیگر منتقل شده و یا کاملاً خشک و

حرکت آن از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود. هم اکنون، سه روش توالی زمانی-استنتاج، روش تجربی و مدل‌سازی بنیادی، به‌عنوان روش‌های پایه برای بررسی مورفولوژی رودخانه‌ها استفاده می‌شود (Briaud, ۲۰۱۰). در روش تجربی، پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر حرکت پیچان‌رود دارند، بررسی و با توجه به این پارامترها و نقش و عملکرد آن‌ها، مدلی تجربی پیشنهاد و مورد استفاده قرار می‌گیرد. عیب این روش، این است که ممکن است، همه پارامترهای موثر در حرکت پیچان‌رود در نظر گرفته نشود. روش مدل‌سازی بنیادی شامل بررسی فرایند فرسایش در حد فاصل آب و خاک و انطباق آن برای آینده است. مشکل این روش پیچیدگی مدل‌های موجود و اختلاف زیاد میان نتایج و واقعیت‌های موجود است (Chu, ۲۰۰۶). در واقع حضور این نوع از مدل، پتانسیل بالای رودخانه‌ها برای وقوع بیشینه‌ها را نشان می‌دهند.

در گذشته مشکل روش توالی-استنتاج، دسترسی محدود به نقشه‌ها و عکس‌های هوایی بود. این مشکل امروزه با وفور داده‌های دورسنجی چندزمانه مرتفع شده است. از طرفی، استفاده از داده‌های دورسنجی به‌منظور قابلیت تکرار و دید وسیع هندسی، همچنین، امکانی که در پویش بیشتر امواج الکترومغناطیس (به نسبت دید مرئی) می‌دهد، در مطالعات مشابه می‌تواند بسیار کارگشا باشد (Shojaeian, ۲۰۰۷).

Shafiei (۲۰۰۱) الگوی مهاجرت رودخانه زهره را که یکی از رودخانه‌های حوضه خلیج فارس در جنوب ایران است، بر اساس چند سری عکس هوایی و تصویر ماهواره‌ای مطالعه کرده است. Moridi (۲۰۰۴) تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون را بر اساس چهار سری تصاویر ماهواره‌ای لندست و IRS بررسی کرد و به این نتیجه رسید که خصوصیات قوس‌ها در حال تغییر است و تراکم و اندازه انحنا قوس‌ها به سمت پایین‌دست جابه‌جا شده است. Farokhi (۲۰۰۵) با بررسی تغییرات پلان رودخانه دز با استفاده از RS و GIS نتیجه گرفت که رودخانه بیشتر از الگوی پیچان‌رود تبعیت می‌کند و سواحل آن جابه‌جایی زیادی داشته است. از دیگر پژوهشگران ایرانی که در این زمینه فعالیت کرده‌اند، می‌توان به Ahmadian Yazdi (۲۰۰۱)، Rangzan (۲۰۰۲)، Haghi Abi

گذشته و از سوی دیگر، به‌منظور برنامه‌های توسعه شهری و روستایی و همچنین، ترویج گسترش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Poorasef, ۲۰۰۶). از طرفی، رودخانه‌ها از مهمترین عوامل مؤثر در فرایندهای ژئومورفولوژیک زمین و چرخه فرسایش بوده‌اند. یکی از مشهورترین پدیده‌های حاصل از تغییرات مورفولوژیک و جابه‌جایی رودخانه‌ها پیچش و ایجاد پیچان‌رود است که در بسیاری از مناطق جهان پژوهش‌های فراوانی روی آن انجام شده، به شکلی که تا کنون بیش از ۳۰ نظریه درباره روند پیچشی رودخانه‌ها بیان شده است (Haghi Abi, ۲۰۰۴). پیچش‌ها از جمله پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در حوضه‌های زهکشی هستند که البته بر اثر عوامل مختلف تشکیل می‌شوند. در حقیقت، حضور این چشم‌اندازها در مسیر رودخانه‌ها از دبی بالا در یک مقطع خاص زمانی، حکایت دارد. این مسأله پتانسیل بالای آن‌ها را برای وقوع بیشینه‌ها نشان می‌دهد. این پدیده‌ها به‌علت پویایی زیادی که دارند، چالش‌های متعددی را در محدوده‌هایی که در آن تشکیل می‌شوند، به وجود می‌آورند. اما به‌دلیل پیچیدگی فرایندهای متفاوت حاکم بر پدیده پیچش که ناشی از تفاوت در ویژگی‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی-هیدرولیکی، پوشش گیاهی و اقلیمی، فیزیوگرافی و بسیاری از عوامل شناخته شده یا ناشناخته دیگر است و همچنین، به‌دلیل تفاوت و تغییر شرایط از یک رودخانه به رودخانه دیگر، کاربرد نتایج ارائه شده با محدودیت‌های جدی روبه‌رو شده است (Julien, ۲۰۰۲).

ضرورت مطالعه حاضر علاوه بر اهمیت موضعی آن در محدوده مورد مطالعه، قابل تعمیم به سایر بخش‌های کارون و رودخانه‌های مشابه است. در زمینه تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها تحقیقات زیادی انجام شده که بیشتر آن‌ها در ارتباط با مسائل مهندسی رودخانه است و در این بین به مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه‌ها کمتر توجه شده است. مطالعات ژئومورفولوژی به‌منظور شناسایی کلی شکل، فرایند توسعه و روند تغییرات آن برای تحلیل پایداری و فرسایش کرانه‌های رودخانه‌ها صورت می‌گیرد. به‌منظور بررسی تغییرات پیچان‌رود و پیش‌بینی

نوارهای مختلف تصاویر مورد استفاده، شدت نوسانات و تغییرات محتمل و مبتنی بر مناطق با بیشترین شدت و در نتیجه احتمال تغییرات، مشخص شده است.

مواد روش‌ها

پژوهش حاضر از نظر هدف‌گذاری کاربردی و از لحاظ روش‌شناسی توصیفی-تحلیلی می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی مقادیر و شدت تغییرات حواشی کارون در محدوده مورد مطالعه با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و همچنین، تحلیل مولفه‌های اصلی تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۱ است. در نهایت نیز، با تعیین و تشخیص نواحی با بیشینه شدت تغییرات در دوره زمانی مذکور می‌توان مناطق با پتانسیل اثرپذیری از رودخانه کارون و احتمالاً در شرف پیچشی شدن را مشخص کرد. در این راستا، با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM ماهواره‌ی لندست، نرم‌افزارهای ArcGIS، PC Geomatica، SPSS و همچنین، به‌کارگیری روش‌های گوناگون پردازش، بررسی‌هایی روی رودخانه کارون در منطقه اهواز انجام شد که نتیجه آن شناخت جابه‌جایی و تغییرات جانبی رودخانه در طول بازه مورد مطالعه است.

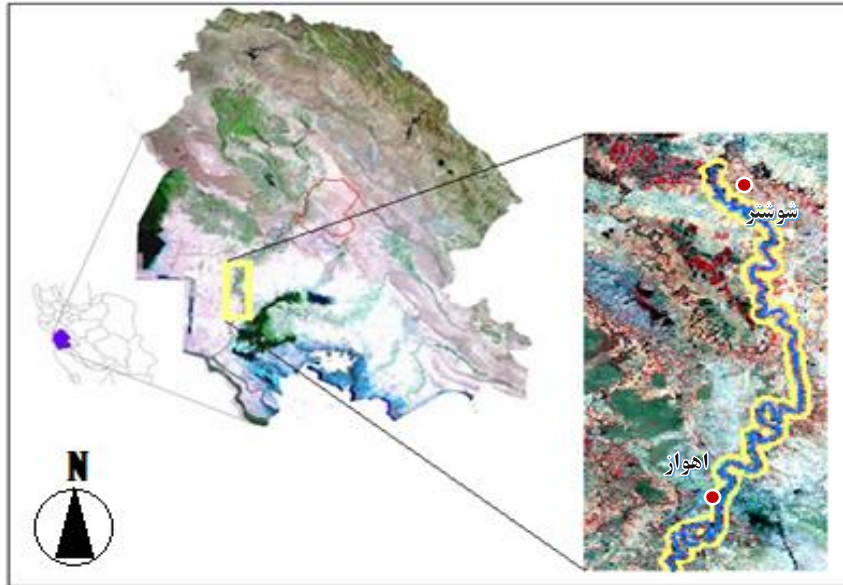
منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، حریم ۱۵۰۰ متری رود کارون در محدوده بین طول جغرافیایی $33^{\circ} 28' 48''$ تا $39^{\circ} 39' 42''$ و عرض جغرافیایی $48^{\circ} 20' 5''$ تا $32^{\circ} 2' 43''$ می‌باشد. همچنین، از نظر موقعیت نسبی این منطقه، از شمال به شهرستان دزفول از جنوب به پایین‌دست شهر اهواز، از شمال غرب به رودخانه کرخه و دشت آزادگان و از شرق به ایذه و گتوند و رامهرمز، محدود می‌شود (شکل ۱).

تحقیق حاضر شامل چهار مرحله است که نمودار مدل مفهومی آن در شکل ۲ آمده است. پس از تهیه و آماده‌سازی تصاویر سه دوره ۱۹۹۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰ ماهواره لندست، ارزش‌های وزنی پیکسلی نوارهای شش‌گانه هریک از آن‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به‌منظور برآورد دقیق‌تری از تغییرات روی داده محاسبه شده است. سپس،

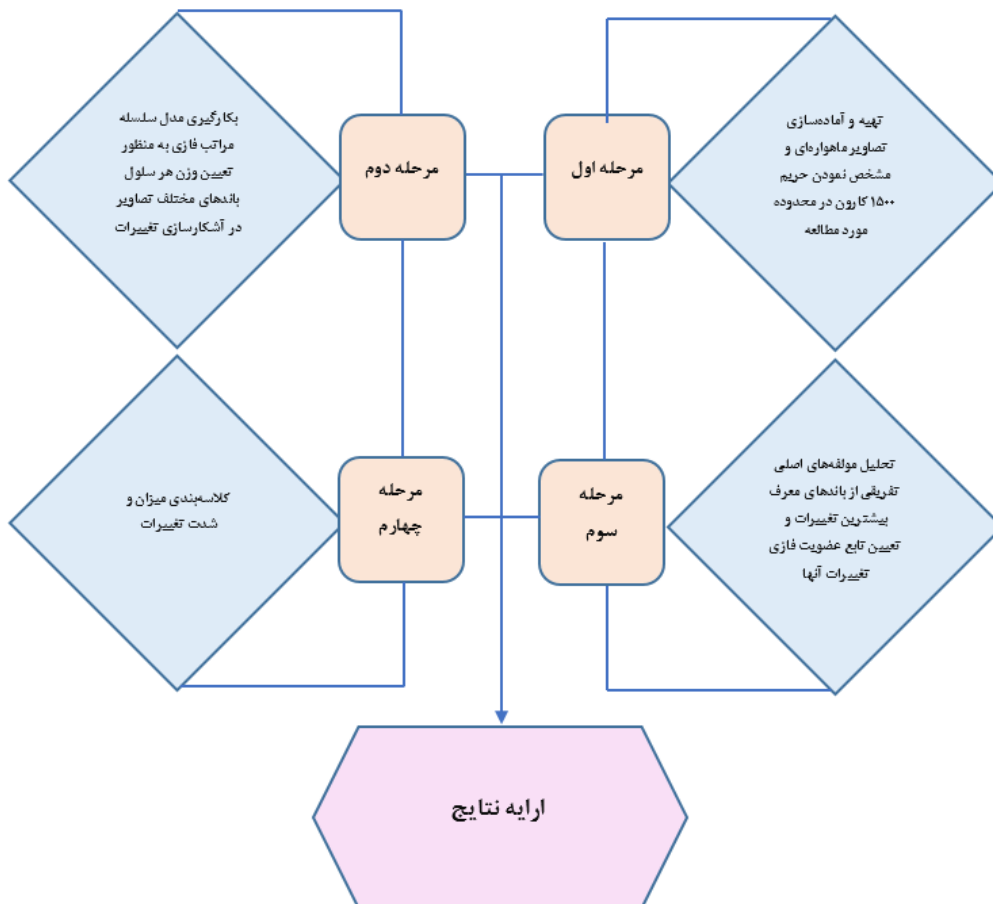
(Yamani, 2002, 2005 و 2006)، Shojaeian (2007 و 2009) اشاره کرد و از بین پژوهش‌های خارجی Yang (2020) درباره آشکارسازی تغییرات خط ساحلی دلتای رودخانه زرد چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تحقیقی انجام داد. در این تحقیق، شش سری تصاویر MSS و TM با استفاده از روش نظارت نشده طبقه‌بندی شده است. نتایج پژوهش Yang نشان داد، رودخانه از حالت شریانی مستقیم به پیچشی ضعیف تغییر شکل داده است. Sandra (2002) در بررسی‌های خود تغییرات کانال رودخانه تی و تومل در اسکاتلند را در کوتاه و میان‌مدت با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی بررسی کرد و نتیجه گرفت، در میان‌مدت میانگین عرض کانال رودخانه‌ها و در کوتاه‌مدت روند تغییر شکل رودخانه‌ها کاهش یافته است. Timer (2003) با بررسی روش‌های کنترل تغییرات دورسنجی رودخانه‌های پیچان‌رودی بر روی رودخانه تیس‌زا نتیجه گرفت، پیچشی شدن رودخانه به شدت تحت تأثیر موقعیت گسل‌ها و فرونشست‌های غیرعادی است. Chu (2006) با بررسی تغییرات الگوی رودخانه زرد (هوانگ هو) در قسمت دلتایی در چین با استفاده از تصاویر سنجش از دور نتیجه گرفت که در بازه زمانی ۲۰۰۰-۱۹۷۶ بیشترین فرسایش در بالای دماغه دیالوکو و شینگیانگو رخ داده و به طرف خط ساحلی حدود ۴/۵ تا هفت متر عقب‌نشینی داشته است. در مطالعه حاضر، بخشی از رودخانه کارون به‌عنوان بستر مورد مطالعه انتخاب شده است. یکی از پرآب‌ترین و البته پرنوسان‌ترین رودخانه‌های کشور از لحاظ ساخت‌شناسی ژئومورفولوژیکی که با افزایش یا کاهش دبی به شکل‌زایی پدیده‌هایی چون پیچش منجر شده و در شرایط زمین‌های اطراف، لغزش، ریزش و آب‌گرفتگی آن‌ها بسیار مؤثر می‌باشد. در این رابطه، ارزیابی این مسأله به‌خصوص نزدیکی و عبور آن از زمین‌های حاصلخیز و کشاورزی اطراف شهر اهواز و خود شهر اهواز که با مقوله آب‌گرفتگی، شکست و لغزش زمین نیز مواجه هستند، بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش، علاوه بر ارزیابی نوسانات نوسانات حریم مورد مطالعه کارون، با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی و تفاضل مولفه‌های اصلی

بازه مورد مطالعه استخراج و در نهایت، میزان تغییرات فازی محدوده پژوهش محاسبه شده است.

مولفه‌های اصلی داده‌های حاصل از تفاضل نوارهای متناظر تصاویر ۱۹۹۱ و ۲۰۱۰ به‌عنوان ابتدا و انتهای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه



شکل ۲- مدل مفهومی فرایند اجرای پژوهش

$$S_i = \sum_{i=1}^m M_{gi}^i \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^i \right]^{-1}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^i = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^i \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i} \right) \quad (3)$$

که در آن‌ها، i شماره سطر و j شماره ستون ماتریس تصویر است.

مرحله پنجم، محاسبه درجه بزرگی S_i ها برای تمامی شاخص‌ها خواهد بود که در آن بزرگی دو عدد فازی $S_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $S_2 = (l_2, m_2, u_2)$ به این صورت تعریف می‌شود.

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{اگر } m_1 \geq m_2 \\ 0 & \text{اگر } u_2 \geq l_1 \\ \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)} & \text{در غیر اینصورت} \end{array} \right\} \quad (4)$$

مرحله ششم، در این مدل محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی خواهد بود. بدین منظور از رابطه زیر استفاده شده است.

$$d'(A_i) = \text{Min } V(S_i \leq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

بنابراین، بردار وزن نرمالیزه نشده برای شاخص‌های پژوهش به صورت زیر خواهد بود.

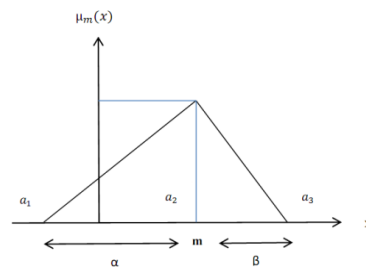
$$W'(d'(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (6)$$

مرحله نهمی در این مدل، محاسبه بردار وزن نهایی خواهد بود.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)) \quad (7)$$

تحلیل مولفه‌های اصلی تفریقی (PCD): تحلیل مولفه‌های اصلی^۴ به منظور استخراج مولفه‌های عمده و کاهش حجم داده‌ها به کار می‌رود. به منظور ترکیب اطلاعات موجود در مؤلفه‌های اصلی به دست آمده از مولفه‌های اصلی تصاویر تفریقی، بار دیگر لازم است، قوانین و تئوری مجموعه‌های فازی مورد استفاده قرار گیرد که در آن، تعریف تابع عضویت ضروری می‌باشد. تابع عضویت در تغییرات از مؤلفه‌های مختلف با توجه به هیستوگرام مولفه‌های تصاویر تفریقی تعیین شد. از آنجا که اطلاعات تغییرات در مؤلفه‌های حاصل در دنباله هیستوگرام قرار دارند، تابع عضویت در تغییرات به صورت مثلثی وارونه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اعداد تابع مذکور با توجه به ارزش‌های کمینه، بیشینه

ساختار ریاضی مدل مورد استفاده: این مدل، ابتدا در سال ۱۹۸۳ به وسیله دو محقق هلندی به نام‌های Padrycz و Laarhoren پیشنهاد شد که بر مبنای روش کمینه مجذورات لگاریتمی بنا نهاده شده بود، ولی به علت پیچیدگی مراحل محاسباتی و روش-شناسی مورد استقبال قرار نگرفت، تا این که در سال ۱۹۹۶ محقق چینی به نام Chang روشی را تحت عنوان روش تحلیل توسعه‌ای^۱ بر مبنای تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه کرد که برای محاسبه در آن از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شد (Shojaeian و Alizadeh, ۲۰۱۴). اعداد فازی مورد استفاده در این مدل، به صورت اعداد فازی مثلثی^۲ می‌باشد که به صورت $M=(m, \alpha, \beta)$ خواهد بود. فضای هندسی چنین مجموعه‌ای در محیط فازی در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳- تابع عضویت اعداد مثلثی در محیط فازی (Alizadeh و Amanpour, ۲۰۲۰)

ساختار ریاضیاتی تابع عضویت اعداد فازی مثلثی نیز به صورت زیر خواهد بود.

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1 - \frac{m-x}{\alpha}, & m - \alpha \leq x \leq m \\ 1 - \frac{x-m}{\beta}, & m \leq x \leq m + \beta \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{array} \right\} \quad (1)$$

مرحله سوم، تشکیل ماتریس مقایسه زوجی خواهد بود که با به کارگیری اعداد فازی مثلثی در پژوهش حاضر به انجام رسیده است.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

مرحله چهارم، محاسبه مقدار S_i از طریق روابط زیر خواهد بود.

¹ Principal Component Difference

² Principal Component Analysis (PCA)

¹ Extent Analysis Method (EA)

² Triangular Fuzzy Number

هر پیکسل می‌باشد. در نتیجه، تصویری ایجاد خواهد شد که پیکسل‌های آن دارای ارزش‌های ۱ تا ۴ بوده و معرف شدت تغییرات بین صفر تا ۱۰۰ درصد است.

نتایج و بحث

در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، داده‌های مربوط به سنجده ETM، TM، ETM⁺ به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰ ماهواره لندست مورد استفاده قرار گرفت که پس از عملیات پیش‌پردازش در نرم‌افزار PCI Geomatica، به منظور تجزیه و تحلیل میزان تغییرات مشاهده شده نمایه‌گرهای پژوهش نوارهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰ است. اما برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قبل از هر اقدامی می‌بایست آن‌ها را مورد عملیات پیش‌پردازش قرار داد. به همین منظور، ابتدا تصویر مربوط به سال ۲۰۱۰ با استفاده از ۴۰ نقطه برداشت شده و با پراکنش مناسب زمین مرجع شد و سپس، تصویر مربوط به سال ۱۹۹۱ با آن هم مختصات‌سازی شد. به دلیل این‌که تصاویر در فصول مختلف برداشت شده‌اند، عملیات نرمال‌سازی ارزش پیکسلی تصاویر گریزناپذیر بود. همچنین، برای تصحیح جوی، مقادیر پراکنش اتمسفری از تقابل نوار ۱ و نوار ۷ هر تصویر به دست آمد. سپس، میزان این پراکنش که اصطلاحاً با عنوان افست مشخص می‌شود، استخراج و از ارزش پیکسلی هر تصویر کم شد. سایر موارد پیش‌پردازش همچون واضح‌سازی، بارز کردن مرزها و غیره نیز انجام پذیرفت. اما برای تعیین شدت تغییرات مربوط به کارون، ابتدا در محیط نرم‌افزار GIS محدوده ۱۵۰۰ متری رودخانه مشخص شده و سپس، واکاو‌های بعدی در آن محدوده انجام گرفت. داده‌های به دست آمده حاصل از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای برای هر نوار در سه ورودی کمینه، میانگین و بیشینه میزان تغییرات مشاهده شده به وسیله هر نوار در محدوده مورد مطالعه برای انجام تحلیل در مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی FAHP وارد شد. برای تشکیل ماتریس مقایسه فازی به استفاده از اعداد فازی مثلثی تعریف شده مبادرت شد. برای رسیدن به این منظور و تعیین اعداد فازی مثلثی همان‌طور که اشاره شد، کمینه

و میانگین هیستوگرام مؤلفه‌های مربوطه، انتخاب شده و تصاویر حاصله به ترتیب $Fcmi_1$ ، $Fcmi_2$ ، $Fcmi_3$ ، $Fcmi_4$ ، $Fcmi_5$ ، $Fcmi_6$ ، $Fcmi_7$ نامیده شدند.

$$FCMI = u(PDCi) \begin{cases} 0 & < X_i \leq \max \\ \min & < X_i \leq \text{mean} \\ 40 & < X_i \leq \max \end{cases} \quad (8)$$

که در آن، $FCMI$ تابع عضویت تغییرات فازی هر نوار از تصویر و X_i مقادیر ارزشی هر پیکسل (بین صفر تا ۲۵۶) است.

لازم به ذکر است که مقادیر فازی بین صفر و یک در نوسان است (Ataei، ۲۰۱۰). به منظور داشتن مقادیر به درصد، ضریب ۱۰۰ به رابطه (۸) اضافه شد. با توجه به رابطه مذکور و استفاده از داده‌های آماری و همچنین، با اعمال تحلیل مؤلفه‌های اصلی تصاویر تفریقی، از اثر تغییر محدوده اعداد بر مقدار واریانس حقیقی در هر بار کاسته شد. با تعریف توابع عضویت در تغییرات به شرح فوق، تصاویری تهیه شد که نشان‌دهنده مقدار عضویت در تغییرات بین صفر و صد برای هر پیکسل است. در ادامه، با به دست آوردن تصاویر عضویت در تغییرات، با استفاده از قانون OR فازی، به روش زیر اقدام به ترکیب تصاویر به دست آمده شد.

$$FCCI = \text{Max}(Fcmi_1, Fcmi_2, Fcmi_3, Fcmi_4, Fcmi_5, Fcmi_7) \quad (9)$$

که در آن، $FCCI$ تصویر ترکیبی تغییرات فازی و $FCMI$ عضویت تغییرات فازی هر نوار از تصویر است.

با این روش، کلیه اطلاعات مربوط به تغییرات در مؤلفه‌های اول تا هفتم که نشان‌دهنده مقادیر ترکیب شده عضویت در تغییرات می‌باشند در یک تصویر قابل مشاهده است. برای مشاهده شدت تغییرات به شکل دسته‌بندی شده نیز مدل زیر تعریف شد.

$$FCCIC = \begin{cases} 1 & 0 < X_i \leq 20 \\ 2 & 20 < X_i \leq 40 \\ 3 & 40 < X_i \leq 60 \\ 4 & 60 < X_i \leq 80 \\ 5 & 80 < X_i \leq 100 \end{cases} \quad (10)$$

که در آن، $FCCIC$ تصویر طبقه‌بندی شده تغییرات ترکیبی فازی و X_i مقادیر ارزشی و وزن‌دار

¹ Fuzzy Change Membership Image

² Fuzzy Combined Change Image

³ Fuzzy Combined Change Image Classification

ابتدا مقدار $\sum_{i=1}^m M_{gi}^i$ برای هر یک از سطرهاى ماتریس و سپس، مقدار $\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^i$ و در انتها، مقدار $[\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^i]^{-1}$ محاسبه شده است. نتایج این مرحله برای محاسبه S_i در جدول ۱ تشریح شده است.

ارزش‌های ثبت شده به‌وسیله نوارها در هر دوره زمانى به‌عنوان مولفه اول (l_i)، میانگین تغییرات ارزش‌های ثبت به‌عنوان مولفه دوم (m_i) و بیشینه ارزش‌های ثبت شده به‌عنوان مولفه سوم (u_i) در نظر گرفته شد. بعد از انجام این مرحله، محاسبه S_i به‌صورت تفکیک شده در چند مرحله انجام شده است. برای این کار،

جدول ۱- محاسبه میزان S_i برای نوارهای پژوهش

شناسه	مقدار S_i	شناسه	مقدار S_i
A_{1991}	(۰/۴۶، ۰/۴۸، ۰/۴۹)	D_{1991}	(۰/۳۵، ۰/۳۶، ۰/۳۸)
A_{2002}	(۰/۶، ۰/۶۲، ۰/۶۴)	D_{2002}	(۰/۴۴، ۰/۴۶، ۰/۴۷)
A_{2010}	(۰/۳۱، ۰/۳۳، ۰/۳۴)	D_{2010}	(۰/۳۸، ۰/۴، ۰/۴۱)
B_{1991}	(۰/۵۶، ۰/۵۹، ۰/۶۱)	E_{1991}	(۰/۶۵، ۰/۶۷، ۰/۶۹)
B_{2002}	(۰/۴۹، ۰/۵، ۰/۵۱)	E_{2002}	(۰/۵۴، ۰/۵۶، ۰/۵۶)
B_{2010}	(۰/۱۸، ۰/۲۴، ۰/۲۶)	E_{2010}	(۰/۵۵، ۰/۵۷، ۰/۵۸)
C_{1991}	(۰/۴۳، ۰/۴۴، ۰/۴۵)	F_{1991}	(۰/۱۸، ۰/۲۳، ۰/۲۴)
C_{2002}	(۰/۲۳، ۰/۲۸، ۰/۳۱)	F_{2002}	(۰/۷۱، ۰/۷۳، ۰/۷۶)
C_{2010}	(۰/۴۶، ۰/۴۷، ۰/۵)	F_{2010}	(۰/۶۸، ۰/۷، ۰/۷۱)

نوارهای ۵، ۷ و ۷ به‌ترتیب برای تصاویر ۱۹۹۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰ را به خود اختصاص می‌دهند. به‌عبارت دیگر، در مقایسه بین مقادیر سلولی نوارهای ۱۸ گانه (شش نوار برای هر تصویر) مقادیر سلولی نوارهای مذکور بیشترین انحراف را از میانگین سایر نوارهای هر تصویر ارائه می‌دهند.

پس از محاسبه S_i و تعیین درجه بزرگی آن‌ها نسبت به هم، به محاسبه وزن نرمالیزه نشده W' و وزن نرمالیزه شده نهایی W برای نوارهای شش‌گانه برابر با تغییرات نشان داده شده در سه دوره زمانى ۱۹۹۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰ اقدام شده است. همان‌گونه که از جدول ۲ بر می‌آید از میان نوارهای مختلف هر تصویر بیشترین وزن برای نمایش تغییرات روی داده را

جدول ۲- وزن فازی نهایی برای تغییرات نوار

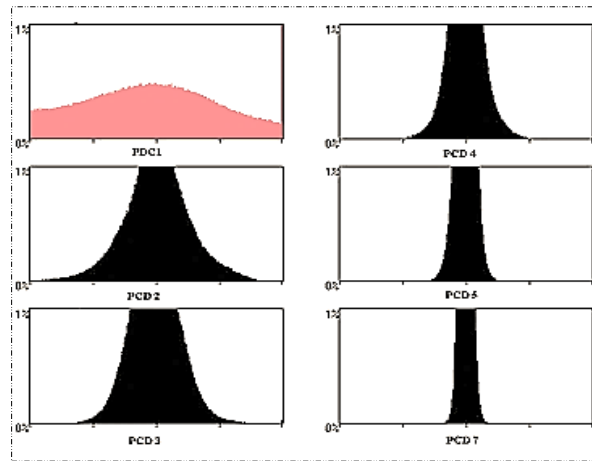
۱۹۹۱			۲۰۰۲			۲۰۱۰		
شناسه	W'	W	شناسه	W'	W	شناسه	W'	W
A	۰/۷۲	۰/۱۷۶	A	۰/۸۸	۰/۲۰۵	A	۰/۵۱	۰/۱۲۳
B	۰/۷۷	۰/۱۸۸	B	۰/۶۶	۰/۱۵۳	B	۰/۴۷	۰/۱۱۳
C	۰/۶۶	۰/۱۶۱	C	۰/۴۱	۰/۰۹۵	C	۰/۷۵	۰/۱۸۱
D	۰/۵۹	۰/۱۴۴	D	۰/۵۵	۰/۱۲۸	D	۰/۶	۰/۱۴۴
E	۰/۹۱	۰/۲۲۳	E	۰/۷۹	۰/۱۸۴	E	۰/۸۳	۰/۲۰۰
F	۰/۴۳	۰/۱۰۵	F	۱	۰/۲۳۳	F	۰/۹۸	۰/۲۳۶

پژوهش از یکدیگر تفریق شده، سپس، مولفه‌های اصلی هر یک از نوارهای تفاضلى استخراج شد. در این مرحله، شش سری نوار جدید ($PC1$ ، $PC2$ ، $PC3$ ، $PC4$ ، $PC5$ و $PC7$) که ۹۷ درصد از واریانس کل را

پس از تعیین وزن‌های غیرنرمالیزه و نرمال فازی ارزش‌های سلولی هر یک از نوارهای تصاویر مورد استفاده و اعمال آن‌ها، نوارهای متناظر تصاویر سال‌های ابتدا (۱۹۹۱) و انتهای (۲۰۱۰) بازه مورد

تفریق مولفه‌های اصلی نامیده شد، در نتیجه، شش تصویر از PCD1 تا PCD7 به دست آمد. از مشاهده هیستوگرام تصاویر حاصله می‌توان فهمید که بیش از ۹۰ درصد کل اطلاعات را مؤلفه‌های اول تا چهارم به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴).

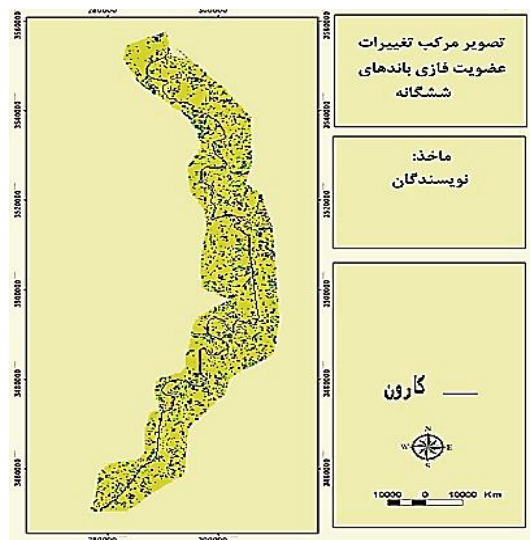
شرح دادند، به‌عنوان مولفه‌های اصلی انتخاب شدند. عملیات مذکور بر روی تصاویر تفاضلی به دست آمده از مرحله قبل، اعمال شد و به این علت که داده‌های ورودی به این مرحله برای اعمال PCA، نوارهای تفریقی است، تصاویر به دست آمده از این عملیات



شکل ۴- هیستوگرام PCD₁ تا PCD₇

عضویت در تغییرات بین صفر و ۱۰۰ برای هر پیکسل می‌باشد. از ترکیب شش تصویر حاصله از مرحله پیش گفته نیز تصویر مرکب تغییرات فازی به دست آمد (شکل ۵).

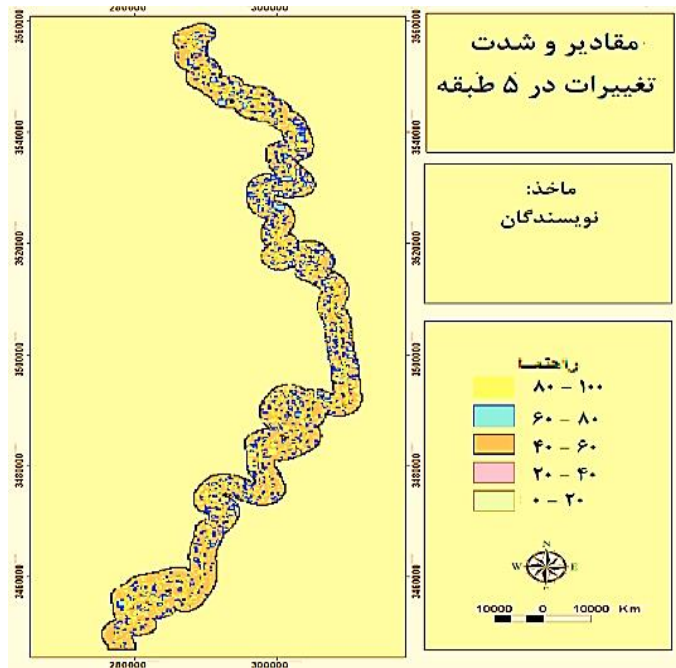
در ادامه، با استفاده از مقادیر عضویت تغییرات فازی (FCMI) و نسبت مقادیر سلولی هر یک از نوارهای حاوی مولفه‌های تفریقی اصلی با مقادیر صفر، کمینه، میانگین، بیشینه و ۲۵۵، تصاویر جدیدی به دست آمد که با ضریب ۱۰۰ نشان‌دهنده مقدار



شکل ۵- مقدار تابع فازی تغییرات

همچنین، مساحت پوششی و درصد وزنی هر یک از طبقات پنج‌گانه فوق در جدول ۳ آمده است.

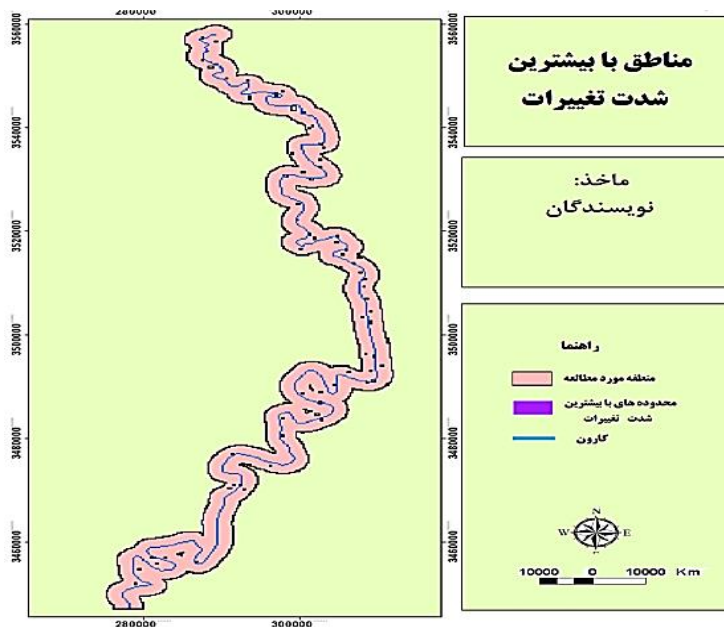
شکل ۶، تصویر طبقه‌بندی تغییرات حریم ۱۵۰۰ متری کارون در محدوده مورد مطالعه را در پنج طبقه با مقادیر و شدت تغییرات مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۶- مقادیر شدت تغییرات در پنج طبقه

از آنجا که مناطق با بیشینه تغییرات در بازه مورد مطالعه، استعداد بیشتری برای نوسان و در نتیجه، تغییر بستر و در نهایت، ایجاد پیچش را دارا هستند، نقشه محدوده‌هایی که بیشترین شدت تغییرات

را داشته‌اند، در شکل ۷ آمده است. نتایج نشان داد، بیش از ۸۰ درصد محدوده‌های مذکور (که حائز شدیدترین تغییرات شده‌اند)، در حریم ۲۵۰ متری از بستر کارون قرار گرفته‌اند.



شکل ۷- مناطق با بیشترین شدت تغییرات (۸۰-۱۰۰ درصد)

هر طبقه به کیلومتر است.

جدول ۳، نشان‌دهنده درصد شدت تغییرات در پنج طبقه از کمترین به بیشترین و همچنین، مقادیر

جدول ۳- مساحت و درصد شدت تغییرات منطقه

تغییرات (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	نسبت به کل (درصد)
۰-۲۰	۱۴۹/۳	۴۸/۳
۲۰-۴۰	۸۵/۶	۲۷/۷
۴۰-۶۰	۴۸/۸	۱۵/۷
۶۰-۸۰	۱۷/۱	۵/۵
۸۰-۱۰۰	۸/۲	۲/۶
جمع	۳۰۹	۱۰۰

داشته‌اند. از مقادیر باقی‌مانده ۴۸/۸، ۱۷/۱ و ۸/۲ کیلومتر مربع با ۱۵/۷، ۵/۵ و ۲/۶ درصد از کل منطقه مورد مطالعه نیز به ترتیب شدت تغییرات ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-۱۰۰ را شاهد بوده است. از کل منطقه، احتمال پیچش نواحی با شدت تغییرات ۸۰ تا ۱۰۰ درصد بیشتر است، چرا که با انجام تحلیل‌های بافر و کلیپ در GIS، مشخص شد که بیشتر از ۸۰ درصد نواحی مذکور متعلق به حریم ۲۵۰ متری اولیه از رودخانه است (شکل ۸). این مطلب به نوعی بیانگر ارتباط دوسویه آب و تغییر در منطقه است. از یک طرف، نزدیکی به آب شدت تغییرات بیشتر را نشان می‌دهد و از طرف دیگر، نزدیکی به بستر رود، خود عاملی برای نوسانات و جابه‌جایی‌های آبی رودخانه در غالب پیچان‌رود خواهد بود. هر چند که از نظر منطقی و با توجه به نتایج این تحقیق، پهنه‌های نزدیک‌تر به بستر فعلی رودخانه، بیشتر در معرض نوسان و تغییر هستند، اما نمی‌توان از نظر دور داشت که کارون در جلگه خوزستان (به‌ویژه در نیمه جنوبی آن) در منطقه‌ای با شیب کمینه جریان دارد. این عامل در کنار سایر عوامل مانند جنس و دانه‌بندی سنگ بستر خوزستان، ریزدانه بودن و چسبندگی اندک ذرات خاک در بیشتر مناطق این استان، طغیان‌های ناگهانی و یا فصلی، قادر است، منطق دوری و نزدیکی به بستر و همچنین، وجود محدوده‌های با ضریب شدت تغییرات بالا و در نتیجه، مستعد پیچش را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین، توصیه می‌شود که در تحقیقاتی جداگانه اثر و نقش احتمالی هریک از عوامل پیش گفته در پیچش رودخانه مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج حاصل از اعمال تابع FAHP حاکیست که از میان نوارهای ۱۸ گانه تصاویر سه دوره مختلف و در مقایسه با یکدیگر، نوار پنج تصویر TM مربوط به سال ۱۹۹۱ بیشترین وزن را برای نمایش تغییرات روی داده به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که در مقایسه نوارهای شش‌گانه مورد استفاده تصویر TM با نوارهای ۱۲ گانه تصاویر ETM 2002 و ۲۰۱۰ نوار ۵ حاوی اطلاعاتی غیرمتجانس‌تر و در نتیجه، گویایی بیشترین اختلاف در وضعیت عوارض زمینی است. وضعیت پیش‌گفته را نوارهای ۷، تصاویر مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰ دارا هستند (جدول ۱ و ۲). از طرفی، از آنجا که برای آشکارسازی تغییرات با استفاده از داده‌های دورسنجی در بازه‌های گوناگون، نوارهای متناظر با یکدیگر مقایسه می‌شوند، می‌توان نتیجه گرفت که مقایسه داده‌های استخراجی (مانند نقشه‌های محصول عملیات طبقه‌بندی) از نوارهای غیرمتناظر، با بیشترین وزن برای نمایش تغییرات (نوار ۵ از تصویر ۹۱ و نوارهای ۷ از تصاویر ۲۰۰۲ و ۲۰۱۰)، امکان‌پذیر و حاوی نتایج مثبت است.

همان‌گونه که از داده‌های جدول ۲ و شکل ۹ بر می‌آید، نزدیک به نیمی از اراضی واقع در ۱۵۰۰ متری رودخانه در محدوده مورد مطالعه به وسعت ۱۴۹/۳ کیلومتر مربع شدت تغییرات بین صفر تا ۲۰ درصد را تجربه کرده است و تنها کمی بیش از دو درصد از آن با مساحتی برابر با ۸/۲ کیلومتر مربع شدیدترین تغییرات ۸۰ تا ۱۰۰ درصد را داشته است. به عبارت دیگر، حدود نیمی از منطقه مورد مطالعه تغییری نداشته، یا در بالاترین مقدار، ۲۰ درصد تغییر

منابع مورد استفاده

1. Ahmadian Yazdi, M. 2001. The role of vegetation in controlling erosion of the Harirrood Tajan River. MSc Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 148 pages (in Persian).
2. Amanpour, S. and H. Alizadeh. 2013. Evaluation of sustainable development indicators in Kermanshah Province using regression analysis and fuzzy hierarchical analysis (FAHP). Quarterly Journal of Geography and Urban and Regional Planning, 9: 96-83 (in Persian).
3. Briaud, J.L. 2010. Predicting meander migration: evaluation of some existing techniques. Texas Transportation Institute Report No. 2105-1 for Texas Department of Transportation, the Texas A&M University System, College Station, TX, pp 320-322.
4. Chu, Z. 2006. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) Subaerial delta, China: based on remote sensing images. Marine Geology, 227 (1-2): 13-30.
5. Gabor, T. 2003. Controls on channel sinuosity changes, a case study of the Tisza River, the great Hungarian Plain. Quaternary Science Reviews 22: 2199-2207.
6. Haghi Abi, A.H. 2004. Theories of origin and study of meander. Farhang-e-Zaban Publications, Tehran, 223 pages (in Persian).
7. Julien, P.Y. 2002. River mechanic. Cambridge University Press, 93 pages.
8. Momeni, M. 2011. Modern topics in operations research. Momeni Publication, 250 pages (in Persian).
9. Moridi, S. 2004. Morphological changes of Karun River using remote sensing. University Research Initiative, Tarbiyat Modares University, Tehran, 8 pages (in Persian).
10. Poorasef, F. 2006. A review of various methods and their application in the classification of Karun and Dezful rivers. 7th International Seminar on River Engineering, Ahvaz, 7-9 (in Persian).
11. Rangzan, K. 2002. The effects of river migration on civil structures in Khuzestan using satellite data. 6th International Conference on River Engineering, Ahvaz (in Persian).
12. Shojaeian, A. 2008. Application of remote sensing and GIS in Karun bed evaluation. 6th International Conference on Marine Sciences, Tehran (in Persian).
13. Shojaeian, A. 2012. Applications of remote sensing in fuzzy studies of miander displacement. 8th International Seminar on River Engineering, Ahvaz, 2-9 (in Persian).
14. Shojaeian, A. and A. Alizadeh. 2014. Location of multi-purpose spaces for crisis management after earthquake case studies in Shushtar. Quarterly Journal of Geography and Urban and Regional Planning, 11: 127-140 (in Persian).
15. Zabayeri, F. 2005. Introduction to the interpretation of aerial photographs. University of Tehran Publication, 249 pages (in Persian).