روش‌های بررسی تغییرات بستر و الگوی رودخانه بابل در محدوده جلگه ساحلی

دکتر مجتبی یمانی

استادیار دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران

دکتر محمدمهدی حسین‌زاده

استادیار گروه جغرافیا دانشگاه نور

چکیده

پیش‌بینی تغییرات و جابجایی‌های کلی و حتی جزئی الگوی رودخانه، از عمده‌ترین مباحث مربوط به ژئومورفولوژی رودخانه‌ای به شمار می‌رود. به همین‌علت، تحقیقات متعددی توسط محققین، خصوصاً ژئومورفولوژیست‌ها در خصوص موضوع فوق صورت گرفته است. در این جهت، تغییرات مورفولوژی رودخانه‌های بابل و تحول آن در جلگه ساحلی خزر بررسی شد. که هدف تعیین مناطق در حال فرسایش و یا پایدار رودخانه مذکور بوده است . برای نیل به این هدف، تغییرات رودخانه در مقطع زمانی ۳۹ ساله با روش‌های تغییرات زمانی و مکانی (معادلات ریاضی)، روش گرافیکی و روش میدانی موردبررسی قرارگرفته است و سعی شده براساس این روش‌ها، تغییرات بستر و الگو و جابجایی مسیر رودخانه بابل تعیین و پیش‌بینی گردد. جهت انجام این بررسی، از عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۳ برای بررسی تغییرات الگوی رود و نیز داده‌های هیدرولیک جریان و پارامترهای هندسی کانال برای تحلیل تغییرات بستر و مورفولوژی رود استفاده شده است . نتایج این بررسی نشان می‌دهد که رودخانه بابل در قسمت علیای جلگه در وضعیت تقریباً ناپایدار بوده و از نظر دینامیکی فعال است. در مقابل، در بخش انتهایی هیچ‌گونه تغییری در الگوی رودخانه در فاصله زمانی موردمطالعه مشاهده نشده است و نشان‌دهندهٔ پایداری نسبی الگوی رودخانه در مقطع زمانی ۳۹ ساله بوده است .

واژگان کلیدی : رودخانه بابل، فرسایش رودخانه‌ای، الگوی رودخانه، جلگه مازندران

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

مقدمه

یکی از ثروت‌های اصلی یک ملت، آبی است که به صورت جاری در رودخانه‌های آن کشور جریان دارد و به دلیل نقش آن در مکان‌گزینی و گسترش آبادی‌ها، شهرها، راه‌های ارتباطی و کشاورزی، رودخانه‌ها از گذشته دارای اهمیت قابل‌توجهی بوده‌اند، به گونه‌ای که از بدو سیر پیشرفت و توسعه اجتماعات بشری، جایگاه خود را در هر مرحله از تمدن بشری نشان داده‌اند. به همین‌دلیل، سیستم‌های رودخانه‌ای به عنوان یکی از حیاتی‌ترین عناصر تشکیل‌دهنده سطح زمین، از جنبه‌های گوناگون موردتوجه انسان بوده‌اند. بنابراین بررسی جنبه‌های مرفولوژیکی رودخانه‌ها بیش از پیش مدنظر متخصصین قرار گرفته است .

با توجه به اینکه یکی از موضوعات موردمطالعه در خصوص رودخانه‌ها، ابعاد و نوع کانال، شکل هندسی و تغییرات آن است بنابراین در حیطه مسائل ژئومورفولوژی قرار می‌گیرد. در این راستا، تغییرات مورفولوژی رودخانه بابل در پهنه جلگه ساحلی در شرق استان مازندران موردمطالعه قرار گرفته است. رودخانه مذکور، از دامنه‌های شمالی البرز سرچشمه گرفته و به دریای مازندران می‌ریزد .

از طرف دیگر مشکلاتی که مسئولین و مردم در ارتباط با تغییرات مورفولوژی رودخانه با آن مواجه هستند، نظیر فرسایش کناره رودخانه‌ها مخصوصاً در رأس قوس‌ها که موجبات تخریب بناها و طرح‌های مهندسی ساخته شده در محدوده شهر و تغییر مالکیت اراضی در پهنه زمین‌های کشاورزی، نگارنده را بر آن داشت تا در خصوص تغییرات رودخانه مذکور، این مطالعه را انجام دهد .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

مبانی نظری تحقیق

مورفولوژی رودخانه، علم شناخت سیستم رودخانه از نظر شکل، فرم کلی، مشخصه‌های هیدرولیکی، راستا و پروفیل طول بستر و نیز روند مکانیزم تغییرات آن می‌باشد. از طریق بررسی مورفولوژیک رودخانه می‌توان شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن را در آینده بهتر درک کرد، از این طریق پاسخ رودخانه را نسبت به تغییرات طبیعی و یا فعالیت‌های انسانی پیش‌بینی نمود .

تغییرات رودخانه‌ای

رودخانه‌های طبیعی تحت‌تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف همواره ار نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در تغییر هستند. تغییرپذیری رودخانه‌ها در کوتاه‌مدت ممکن است تدریجی و پیوسته و در درازمدت یا تحت‌شرایط خاص، ناپیوسته و ناگهانی باشد. نانسون و هیکین (۱۹۸۳) همچنین شن (۱۹۷۹) مسائل مهم رودخانه‌ای را تشخیص عوامل، روند تغییرات و نحوه پیش‌بینی آن می‌داند. بنابراین تمامی رودخانه‌ها تحت‌تأثیر عوامل محیطی، از نظر شکل ظاهری در تغییر هستند که شکل‌های مختلف تغییرات را در رودخانه‌های مختلف می‌توان مشاهده کرد .

به طورکلی فرسایش‌های رودخانه‌ای به دو دسته فرسایش سواحل و فرسایش بستر تقسیم‌بندی می‌شوند. فرسایش سواحل به صورت فرسایش سطحی و یا فرسایش توده‌ای می‌باشد. ولی فرسایش بستر بیشتر سطحی است و بستگی به نحوه عملکرد متقابل نیروهای وارده از طرف جریان و پتانسیل مقاومت دیواره‌ها و بستر دارد. در فرسایش سطحی حرکت و انتقال مواد به صورت تدریجی است در حالی که در فرسایش توده‌ای حجم زیادی از مواد به صورت توده‌ای، ریزش کرده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

و منتقل می‌شوند. در این پژوهش روش‌های بررسی تغییرات وفرسایش بستر و سواحل رودخانه موردمطالعه قرارگرفته است .

روش‌های بررسی تغییرات رودخانه

مطالعات فرسایش‌پذیری بستر و الگوی رودخانه، بر مبنای مشاهدات صحرایی از رودخانه‌ها، بررسی نقاط فرسایش‌پذیر و رسوب‌گذار رودخانه‌ها از طریق مدل ریاضی کامپیوتری HEC - ۶ ، بررسی فرسایشی‌بودن بستر براساس معادلات آستانه حرکت ذرات بستری و بررسی تغییرات پلان رودخانه به روش تاریخی (بررسی گرافیکی و روش برازش حلقه‌های پیچانرودی یا قوس دوایر) کاربرد بیشتری دارد .

رودخانه بابل و موقعیت آن

رودخانه بابل در منطقه شمال رشته‌کوه‌های البرز و درجنوب دریای خزر، در محدوده جغرافیایی استان مازندران و شهرستان‌های بابل و بابلسر جریان دارد .

این رودخانه از کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرد و شامل یک شاخه اصلی به نام بابل‌رود بوده، که جهت جریان آن از جنوب به شمال می‌باشد. شاخه‌های فرعی بابلک، کارسنگ، آذر، اسکلیم، سجادرود، متالون‌رود، خوش‌رود و خرون‌رود به این رودخانه می‌ریزند. بزرگترین شاخه این رودخانه، شاخه سجادرود از سمت غرب رودخانه اصلی سرچشمه گرفته و پس از طی مسیری حدود ۵۰ کیلومتر،از شروع جلگه به بابل‌رود می‌ریزد .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

در وسط مخروط‌افکنه‌رود، و در بالا دست شهر بابل، شاخه خوش‌رود که خود از سه زیرشاخه به نام‌های متالون‌رود، کلارود و بزرود تشکیل گردیده و از سمت غرب به آن می‌پیوندد (نقشه ۱) .

ایستگاه‌های هیدرومتری قران تالار و بابل (کشتارگاه) بر روی این رودخانه واقع شده است. هم‌چنین احداث بند انحرافی گنج‌افروز در حوالی روستای گنج‌افروز بین ایستگاه قران تالار و بابل پیش‌بینی و احداث سد البرز بر روی این رودخانه در حال انجام است .

رودخانه مذکور درمسیر خود از شهرهای بابل وبابلسر عبور کرده و سپس به دریای مازندران می‌ریزد. از آنجا که هدف اصلی مقاله، پیرامون تغییرات الگوی رودخانه درجلگه ساحلی می‌باشد، بنابراین مرزمنطقه موردبررسی ازتغییرشیب کوهستان‌باجلگه ساحلی (منطقه بالا گنج‌افروزیعنی محل اتصال‌رودخانه سجادرود به بابل) تا نزدیکی ساحل دریا به طول ۵۷ کیلومتر درنظرگرفته شده است .

فیزیوگرافی و الگوی رودخانه بابل

نتایج پارامترهای فیزیوگرافی رودخانه بابل در محل ایستگاه‌های هیدرومتری در جدول شماره ۱ ارائه شده است .

مورفولوژی رودخانه بابل در محدوده موردمطالعه با استناد به شکل شماره ۱، از محل اتصال سجادرود به بابل‌رود تا پل محمدحسن‌خان دارای الگوی حدواسط بین حالت‌های مئاندری و بریده‌بریده (شریانی) است. مشاهدات به عمل آمده از این قسمت رودخانه نشان می‌دهد که بار رسوبی در این قسمت زیاد بوده و غالباً تخته‌سنگ‌ها و ریگ و ماسه از بالا به پایین بخش مهم بار رسوبی بستر را تشکیل می‌دهند. از مشخصات مهم آبراهه در این قسمت، بالابودن نسبت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

جدول شماره ۱ : نتایج پارامترهای فیزیوگرافی رودخانه بابل در محل ایستگاه‌های هیدرومتری

پارامترهای فیزیوگرافی	مساحت حوضه KM۲	طول رودخانه KM	شیب متوسط حوضه (درصد)	ارتفاع متوسط حوضه M	شیب متوسط رودخانه (درصد)
بابل - قران تالار	۳۹۳/۱	۳۵/۵	۱۲	۱۰۹۱/۶	۵/۳۸
بابل - سد گنج‌افروز	۸۹۳/۱	۵۲/۵	۸/۲۶	۹۹۴	۳/۱
بابل – بابل	۱۶۴۳/۱	۶۷/۵	۸	۷۸۱/۳	۳/۲
بابل – دریا	۱۷۳۹/۳۵	۱۰۱/۵	۵/۰۷	۷۳۸/۲۳	۰/۹۱

عرض به عمق،نسبت به قسمت‌های پایین‌تر رود می‌باشد. شیب نیمرخ طولانی نیز همچنان نسبت به مناطق پایین‌تر، زیادتر بوده و شاهد جابجایی خط‌القعر در داخل بستر و تشکیل مسیرهای مارپیچی و فرسایش کناره‌های رود هستیم. به طورکلی پارامترهای روداز جمله عرض، عمق، بافت رسوب کناره، رسوبات رودخانه و شیب نیمرخ طولی، دارای اندازه‌های حدواسط بین علیا و سفلای‌رود می‌باشد .

- از محل پل محمدحسن‌خان تا نزدیکی مصب دریا (شکل ۱). آبراهه دارای پیچ‌وخم‌های متوالی با انحناء زیاد است یعنی دارای الگوی مئاندری است. در این مسیر رودخانه دارای پروفیل طولانی با شیب ملایم شناخته می‌شود و نسبت عرض به عمق کم شده است. در این قسمت، مسیر رودخانه عمیق بوده و کناره‌های آن با دیوارهای پرشیب به صورت عمود بر بستر جریان مسلط است. در بیشتر نواحی کناره‌ها توسط پوشش گیاهی اشغال شده و کناره‌ها را که عمدتاً از

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

رسوبات ریزدانه و چسبنده تشکیل شده در مقابل تنش برشی آب محافظت می‌کند و موجبات پایداری نسبی و ثبات کانال و الگوی رود را سبب می‌شود .

در خاتمه لازم به ذکر است که در نزدیکی مصب رودخانه‌های بابل و تالار، شاهد الگوی متفاوتی نسبت به الگوی مئاندری قسمت سفلی هستیم. در ایـن محدوده یعنی محدوده دلتا به علت اینکه شیب دره رودخانه خیلی کم شده (به دلیل شیب کم منطقه ساحلی) و میزان لای زیاد است، عمل مارپیچی‌شدن محدودشده و افزایش طول موج و عرض در رودخانه‌های بابل مشاهده می‌شود .

بررسی‌تغییرات‌بستر رودخانه بابل باروش مبتنی برتغییرات زمانی ومکانی

در این روش براساس عملیاتی که بر روی رودخانه و یا حوضه آبخیز انجام می‌گیرد، تغییرات حاصله در بستر رودخانه بررسی شده و براساس نتایج حاصله و مدل‌های ریاضی ابداع شده و تئوری‌های موجود، تغییرات بستر رودخانه برآورد و یا پیش‌بینی می‌گردد. از مهمترین مدل‌های ریاضی و مدل‌های کامپیوتری می‌توان از مدل ریاضی آستانه حرکت ذرات و مدل کامپیوتری HEC ۶ - اشاره کرد. در این بررسی به منظور مطالعه فرسایش‌پذیری بستر رودخانه بابل، از معادله آستانه حرکت ذرات بستر (دیاگرام سیلدز)[۱] و مدل ریاضی HEC - ۶ استفاده شده است .

[۱]. Shields : حرکت مواد در امتداد بستر مجرای یک رود می‌تواند از طریق یک سری روابط تجربی و بر مبنای تابع دربرگیرنده شیلدز Fs و رقم ذرات رینولدز (Reynolds) مطالعه شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

بررسی تغییرات بستررودخانه‌بابل بااستفاده ازمعادلات آستانه حرکت ذره

جهت انجام بررسی و مطالعات فرسایش‌پذیری بستر رودخانه براساس معادلات آستانه حرکت ذرات (استفاده از دیاگرام شیلدز)، اطلاعات هیدرولیکی جریان، مشخصات هندسی تعدادی از مقاطع عرضی و شیب رودخانه و دانه‌بندی رسوب بستر استفاده شده است. این بررسی با درنظرگرفتن دبی جریان با دوره بازگشت ۲ ساله انجام شد و نتایج زیر حاصل گردید .

براساس این بررسی، اعداد رینولدز مرزی محاسبه شده، برای مقاطع حدفاصل دریا تا مقطع ۲۸ (قسمت پایین دست رودخانه) (شکل ۲) کوچک بوده و این نشان‌دهنده جریان آرام و بدون فرسایش می‌باشد. در این ناحیه برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه صورت نمی‌گیرد و مشکل فرسایش بستر با وجود شیب عمومی کم بستر و سرعت کم جریان وجود ندارد. از حوالی مقطع ۲۸ به بالا دست (شکل ۲) این رودخانه، اعداد رینولدز بالاتر است اما تابع تنش برشی فرسایشی را نشان نمی‌دهد مگر فرسایش‌های موضعی و مقطعی، مثلاً حدود مقطع ۳۰ (حوالی پل قدیمی بابل)، حوالی مقطع ۳۳ (نزدیکی روستای سیاه کلا محله)، حدود مقطع ۴۰ (منطقه روستای شوب محله) شروع حرکت مواد بستری را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این فرسایش‌های موضعی بستر به دلیل برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه توسط کارخانه‌های شن و ماسه آن منطقه، چون کارخانه شن و ماسه سجادرود، کارخانه شن و ماسه و آسفالت شهرداری (پایین دست آبشار) است .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

بررسی تغییرات بستررودخانه بابل بااستفاده ازمدل کامپیوتری HEC-۶ [۱]

در این مطالعه، ابتدا با برداشت رسوب کف رودخانه در محل مقاطع عرضی و تهیه یک پروفیل طولی از بستر رودخانه، وضعیت و تغییرات بستر، با استفاده از پروفیل‌های طولی تهیه شده موردبررسی و ارزیابی قرارگرفت و نتایج به دست‌آمده با نتایج حاصل از بازدیدها و مشاهدات عینی از منطقه تطبیق داده شد. در این روش، هدف از مطالعه، تعیین دقیق موقعیت و عمق محدوده‌های فرسایش‌پذیر و رسوب‌گذار رودخانه بابل برای یک دوره آماری بوده است .

این مطالعه با مدل HEC - ۶ و با استفاده از یک دوره آماری ۳۹ ساله در رودخانه و درنظرگرفتن شرایط مختلف جریان رود در این دوره آماری، اعم از سیلاب‌های پرآبی، کم‌آبی و تعدادی سیل متوسط، صورت گرفت. از طرف دیگر، اطلاعات موردنیاز مدل، شامل موقعیت، شکل هندسی، میزان ضرایب زبری، با توجه به تنوع پوشش گیاهی. منحنی‌های دانه‌بندی رسوب بستر در طول رودخانه، عمق لایه زه‌کشی در نقاط مختلف رودخانه، دبی‌های درازمدت جریان در طول دوره آماری موردمطالعه و درجه حرارت آب تأمین گردید. پس از جمع‌آوری و

---

[۱]. سری برنامه‌های HEC از مدل‌هایی هستند که امروزه از آنها در زمینه‌های مختلف مطالعات هیدرولوژی و هیدرولیک استفاده می‌شود. مدل HEC - ۶ جهت برآورد رسوب‌گذاری و کف‌کنی در رودخانه و مخازن سدها تدوین شده است. این مدل، جهت اجرا به چهار گروه اطلاعات مختلف نیازمند است که عبارتند از :

الف) داده‌های مربوط به شکل هندسی رودخانه

ب) اطلاعات مربوط به مواد رسوبی

ج) داده‌های هیدرولوژیکی

د) شرایط حدی هیدرولیکی پایین دست

این مدل براساس اطلاعات موجود و با توجه به پریودهای زمانی که به آن معرفی می‌شود، تغیرات بستر را به دست می‌آورد، سپس‌محاسبات‌را براساس‌شرایط جدیدبسترکه درمحاسبات قبلی به دست‌آمده، یک باردیگرتکرار می‌کند .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

تهیه اطلاعات فوق‌الذکر، ضمن بررسی و تجزیه و تحلیل بر روی اطلاعات به دست‌آمده، داده‌های موردنیاز مدل آماده و تحلیل کامپیوتری گردید .

بررسی به عمل آمده با روش HEC-۶ بر روی رودخانه بابل نشان‌دهنده پایداربودن بستر رودخانه در طول مسیر آن است و فرسایش عمومی در بستر این رودخانه وجودندارد و فقط دربعضی محل‌ها، فرسایش موضعی در بستر وجوددارد .

بررسی تغییرات بستر و فرسایش رودخانه بابل با استفاده از روش میدانی

از این رودخانه در محدوده موردمطالعه بازدیدهایی به عمل آمده و مشاهـده شـد که، از محل اتصال سجادرود به بابل‌رود تا محل پل کمربندی بابل (پل جدید آمل ـ بابل)، (شکل ۳) در بعضی نواحی، فرسایش در سواحل آن وجود دارد. عمده دلایل فرسایش موضعی سواحل و بستر در بالادست این رودخانه وجود رخنمون‌های سنگ‌های آهکی و ماداستون در بستر و سواحل و برداشت‌های بی‌رویه شن و ماسه از بستر و تراس‌های حاشیه رودخانه می‌باشد. از محل پل مذکور تا بابلسر، رودخانه عمیق با مقاطع عرضی U شکل بوده و سواحل آن تثبیت شده می‌باشد و با وجود پیچان‌رودهای فراوان در جلگه (به خصوص در پایین دست شهر بابل تا دریا) این رودخانه فاقد شکل خاص در خصوص فرسایش است. سواحل و حاشیه‌های رودخانه پوشیده از درخت و درختچه‌های بوته‌ای و نیزار است. از نظر مشخصات رودخانه (شیب، جنس بستر و پوشش گیاهی) مسیر موردمطالعه در رودخانه بابل را می‌توان با توجه به بازدیدها و مشاهدات صحرایی به سه قسمت متمایز به شرح زیر تقسیم نمود :

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

الف : قسمت علیای رود

از محل اتصال سجادرود به بابل‌رود تا پل ارتباطی روستای گنج‌افروز به روستای چاری (پل محمدرسولا...) (شکل ۳)

رودخانه در این قسمت عریض بوده و در ۱۲۰۰ متری پایین دست اتصال سجادرود به بابل‌رود آبشاری وجود داشت که بستر رودخانه را به تدریج فرسایش داده که در محل این آبشار سد انحرافی گنج‌افروز احداث شد. و با انجام این کار، فرسایش قهقرائی رودخانه متوقف گردید. سواحل رودخانه عاری از پوشش گیاهی بوده که در بعضی نواحی با فرسایش شدید مواجه شد. به طوری که دیواره فرسایشی به جاده مجاور آن نزدیک می‌شود. شیب رودخانه در این قسمت حدود ۰/۰۰۳۴ (۰/۳۶ درصد) است .

ب : قسمت میانی

از پل محمد رسولا... تا پل کمربندی بابل (شکل ۳)

در این قسمت شیب عمومی رودخانه کم بوده، ۰/۰۰۱۱ (۰/۱۱ درصد) و شاخه فرعی خرون‌رود قبل از پل محمدحسن‌خان به آن می‌پیوندد. سواحل دارای پوشش گیاهی مناسب بوده و مقطع رودخانه نسبتاً عریض و U شکل می‌باشد. فرسایش بستر و سواحل در این قسمت از رودخانه شدید نمی‌باشد و از محل اتصال سجادرود به بابل‌رود تا پل محمدحسن‌خان کشش رودخانه کافی نیست و مشکل سیلاب دارد .

ج : قسمت سفلی

از پل کمربندی بابل تا مصب دریا (بابلسر) (شکل ۳)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

در این قسمت، رودخانه عمیق با مقطع عرضی U شکل بوده، سواحل پوشیده از درختچه‌های بوته‌ای و نیزار می‌باشد. رودخانه کاملاً مارپیچی و افت انرژی در پیچ‌ها زیاد بوده و فرسایش در این قسمت محسوس نیست. در نتیجه تغییری در الگوی رود از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۳ مشاهده نمی‌شود. شیب عمومی رودخانه در این محدوده، ۰/۰۰۰۸ (۰/۰۸ درصد) است. ایستگاه آب‌سنجی بابل در محل کشتارگاه بابل در این قسمت قرار دارد .

بررسی تغییرات پلان رودخانه بابل به روش تاریخی

در این بخش، تغییرات الگو و پلان رودخانه به صورت کلی موردبررسی قرارگرفته است. علت انتخاب این شیوه آن است که بتوان علاوه بر بررسی تغییرات سیمای کلی رودخانه، ایده کیفی و کمی از میزان و درجه تحولات و پایداری بخش‌های مختلف رودخانه به دست‌آورد و از این رهگذر بتوان به یک نقشه پهنه‌بندی از دیدگاه مورفولوژی دست یافت .

در این روش، تغییرات الگو یا پلان کلی رودخانه از نظر پارامترهای هندسی و مورفولوژی رودخانه با استفاده از مقایسه عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و عملیات کارتوگرافی موردبررسی قرارگرفت. همچنین در این روش، مطالعه برای یک مقطع زمانی خاص (منابع موجود) انجام می‌گیرد. در این شیوه، بررسی گرافیکی و روش برازش حلقه‌های پیچان‌رودی با قوس دوایر، کاربرد بیشتری دارد .[1]

[1]. این روش‌ها توسط جی لوین ۱۹۷۷ (J. Lewin) برای بررسی پلان رودخانه و پیچان‌رود ارائه شده است .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

بررسی تغییرات پلان رودخانه بابل به روش گرافیکی (ترسیمی)

برای بررسی تغییرات مسیر رودخانه موردمطالعه و الگوی تحول آن نسبت به زمان، از عکس‌های هوایی ۵۵۰۰۰ :۱ سال ۱۳۳۴ سازمان جغرافیایی ارتش و نیز عکس‌های هوایی مقیاس ۲۰۰۰۰ :۱ سال ۱۳۷۳ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شده است. این عکس‌ها، مسیر رودخانه بابل، حدفاصل اتصال سجادرود به بابل‌رود (بالاتر از معلم‌کلا تا دریا) را تحت‌پوشش قرار می‌دهند .

برای انجام این کار ابتدا از عکس‌های سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۷۳ مربوط به مسیر رود موردمطالعه اسکن به عمل آمده و در ادامه در محیط نرم‌افزاری فری‌هند، مسیر رود از روی عکس‌های مذکور ترسیم و استخراج شده است. سپس تغییر دو سری از مسیر ترسیم‌شده رود، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ :۱ سازمان جغرافیایی ارتش و پلان مسیر به مقیاس ۲۰۰۰۰ :۱، انجام شد. در نهایت، مسیر دو دوره در محیط نرم‌افزار بر هم منطبق شدند. (شکل ۳) و با این روش تغییرات مسیر رودخانه در مدت ۳۹ سال بررسی شد .

لازم به ذکر است که برای انطباق دو سری از مسیر رود برگرفته‌شده از عکس‌ها، سعی شده از نقاط ثابت بر روی عکس‌های دو دوره (پل، میادین شهر، راه‌های اصلی) استفاده شود. در دامنه تغییرات مسیر رود براساس مقایسه عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی ارائه شده است .

شکل ۳ نشان‌دهنده مسیر رودخانه در دو مقطع زمانی است. همان‌طور که از شکل استنباط می‌شود، هیچ‌گونه تغییری در الگوی رودخانه مشاهده نشده است. و الگوی رودخانه در محدوده دارای الگوی پیچان‌رود کاملاً بدون تغییر بوده است. در صورتی که در علیای مسیر که دارای الگوی حدواسط بین پیچان‌رودی و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

شریانی است. فرسایش سواحل به طورمحسوس باعث تغییر عرض رودخانه در مقطع زمانی موردمطالعه شده است. در عین‌حال مسیر جریان در بستر نیز جابجایی‌هایی را نشان می‌دهد. هرچند الگوی فوق بدون تغییر باقی‌مانده است. لازم به ذکر است که فرسایش سواحل در علیای رود، در محل برداشت شن و ماسه عمومیت بیشتری دارد .

از مقایسه عکس‌های هوایی ۵۵۰۰۰ :۱ رودخانه بابل مربوط به سال ۱۳۳۴ با عکس‌های هوایی با مقیاس ۲۰۰۰۰ :۱ آن مربوط به سال ۱۳۷۳ که شرح تهیه آن‌ها در بالا آمده است (هم‌مقیاس شدند) و مطالعات میدانی، نتایج زیر حاصل گردید .

- در قسمت علیای مسیر رود موردمطالعه (بعد از اتصال سجادرود به بابل‌رود) تغییرات محسوسی در مسیر رودخانه به وجود نیامده است. (شکل ۳)

۱- مقابل روستای خوش‌دشت و در محل مقطع ۳۹ (شکل ۲) پیچ کوچکی وجود دارد که قسمتی از آن بریده شده و مسیر رودخانه در این ناحیه مستقیم شده است .

۲- قسمتی از پیچی که بالا دست مقطع ۳۴ (شکل ۲) وجود دارد، بریده شده و قوس پیچ، کوچک‌تر شده است .

۳- در بقیه مسیر این رودخانه با وجود اینکه پیچ‌های زیادی وجود دارد، تغییرات محسوسی در جابجایی سواحل رودخانه رخ نداده است و فرسایش به‌سواحل درقوس خارجی بعضی ازمئاندرها محدودمی‌شود .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

بررسی تغییرات پلان‌رودخانه‌بابل به‌روش‌برازش دوایربرقوس‌های کانال‌رود

برای بررسی پلان‌رودخانه ومشخصات هندسی رود ازنقشه‌های۲۰۰۰۰: ۱ سازمان نقشه‌برداری کشور که براساس عکس‌های هوایی ۴۰۰۰۰: ۱ سال ۱۳۶۳ تهیه شده و عکس هوایی ۲۰۰۰۰: ۱ سال ۱۳۷۳ همان سازمان استفاده شده است. روش کار بدین‌شکل بوده که ابتدا عکس‌های موجود اسکن و نقشه‌ها دیجیتایز شدند و با استفاده از نرم‌افزار فری‌هند[۱]، بعد از اصلاح، اطلاعات موردنیاز در خصوص پارامترهای هندسی پیچان‌رودی استخراج شدند. (شکل ۵) پارامترهای هندسی رودخانه، برای آن قسمت از مسیر رودخانه که دارای الگوی پیچان‌رودی هستند، محاسبه شده است. جهت کمی‌کردن میزان توسعه پیچان‌رودی در رودخانه‌های آبرفتی و متمایزکردن آن‌ها از یکدیگر، و از الگوهای دیگر رودخانه، همچنین برای بیان روابط بین ویژگی‌های رودخانه پیچان‌رودی و پلان و الگوی آن از مشخصات هندسی پیچان‌رودی استفاده می‌شود. به این منظور می‌توان از مشخصه‌هایی چون زاویه مرکزی (کورنیس ۱۹۸۰)، شاخص ضریب خمیدگی (لئوپلدوولمن ۶۰ ـ ۱۹۵۷) و روابط ریاضی حاکم بر آن‌ها (فرید کین ۱۹۴۵) استفاده کرد. نهایت اینکه برای توصیف پیچان‌رود از سه بعد طول (طول موج پیچان‌رودی)، عرض (عرض پیچان‌رود) و انحناء (ضریب خمیدگی) استفاده می‌شود .

بررسی تغییرات پلان رودخانه بابل با این روش، نتیجه‌ای را نشان نمی‌دهد. زیرا در قسمت‌های علیای رودخانه، دارای الگوی شریانی و حدفاصل بین شریانی و پیچان‌رودی بوده و فاقد قوس‌هایی جهت برازش دوایر است. از طرف

---

۱. Freehand

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

دیگر، در محدوده‌ای که الگوی پیچان‌رودی دارد (از پل محمدحسن‌خان تا نزدیکی ساحل) هیچ‌گونه تغییری در الگو و پلان رودخانه مشاهده نشده تا بتوان از این روش استفاده کرد، زیرا این روش برای بررسی رودخانه‌هایی به کار می‌رود که در فاصله دو دوره، تغییراتی را متحمل شده‌اند. از طریق برازش دوایر بر قوس‌های مسیر رود (مربوط به دو دوره) و محاسبه پارامترهای هندسی رودخانه ضریب خمیدگی، طول موج، شعاع، زاویه مرکزی در هر دو مسیر و مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده به روش آماری، خصوصاً ترسیم نمودار مربوط به هر پارامتر هندسی در هر یک از دوره‌های زمانی، مقادیر کمی تغییرات رودخانه به صورت جزئی (یعنی برای هر قوس) محاسبه می‌شود و حتی می‌توان به ضریبی در خصوص میزان تغییرات آتی مسیر رود پی‌برد .

جهت نیل به این هدف، پلان رودخانه‌ها با روش گرافیکی موردبررسی قرارگرفت. و نیز با استفاده از روش برازش دوایر بر حلقه‌های پیچان‌رودی، مشخصات هندسی پیچان‌رود استخراج شد. مشکلات و تنگناهای این تحقیق عمدتاً کمبود اطلاعات و آمار، محدودیت پیشینه تحقیق (روش مطالعه مورفولوژی رودخانه‌ها با الگوی پیچان‌رودی)، عدم دسترسی به کل مسیر رودخانه (قرارگرفتن قسمت‌های زیادی از مسیر رودخانه در داخل مزارع و زمین‌های شخصی) و نبود ایستگاه‌های هیدرومتری بر روی شاخه‌های فرعی و فواصل زیاد ایستگاه‌ها در طول شاخه اصلی بوده است. به علاوه محدودیت زمانی و بالابودن هزینه را می‌توان مزید بر موارد فوق دانست .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

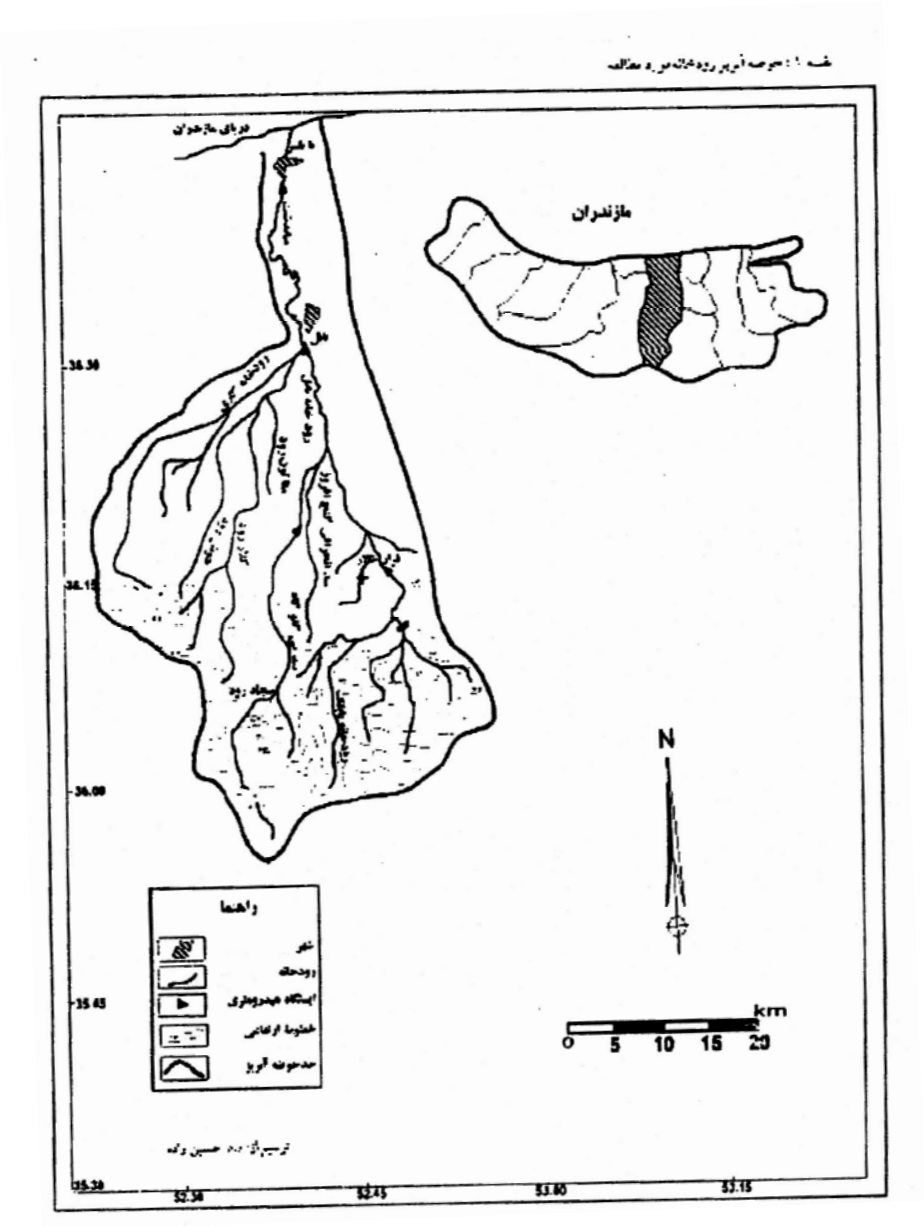
نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تغییرات الگوی رودخانه بابل با روش‌های فوق گویای این امر است که رودخانه بابل در قسمت علیای جلگه (محل اتصال سجادرود تا پل محمدحسن‌خان) خصوصاً بر روی مخروط‌افکنه در وضعیت تقریباً ناپایدار بوده و از نظر دینامیکی فعال است، همچنین در حال تغییر و جابجایی مسیر و فرسایش کناره‌های خود می‌باشد. در مقابل در بخش انتهایی (پل محمدحسن‌خان تا دریا) هیچ‌گونه تغییری در الگوی رودخانه در فاصله زمانی موردمطالعه مشاهده نشده است. (شکل ۴) اگرچه در این قسمت رود نیز به صورت جزئی خصوصاً در قسمت‌های خارجی قوس‌های رود، تغییرات جزئی صورت گرفته است. هرچند این تغییرات، در فاصله زمانی ۳۹ ساله نتوانسته تغییری در الگوی کلی مسیر رودخانه بابل ایجاد کند. از طرف دیگر وجود قوس‌های متروک در کنار رودخانه که نشان‌دهنده مسیر سابق رود و جابجایی رودخانه است، گویای تغییرات بسیاربطئی و کند رودخانه بابل می‌باشد. از طرف دیگر، در این قسمت رودخانه، نگرانی چندانی در خصوص تغییرات اساسی، البته با حفظ شرایط محیط طبیعی و مصنوعی[1] فعلی، در آینده وجود ندارد .

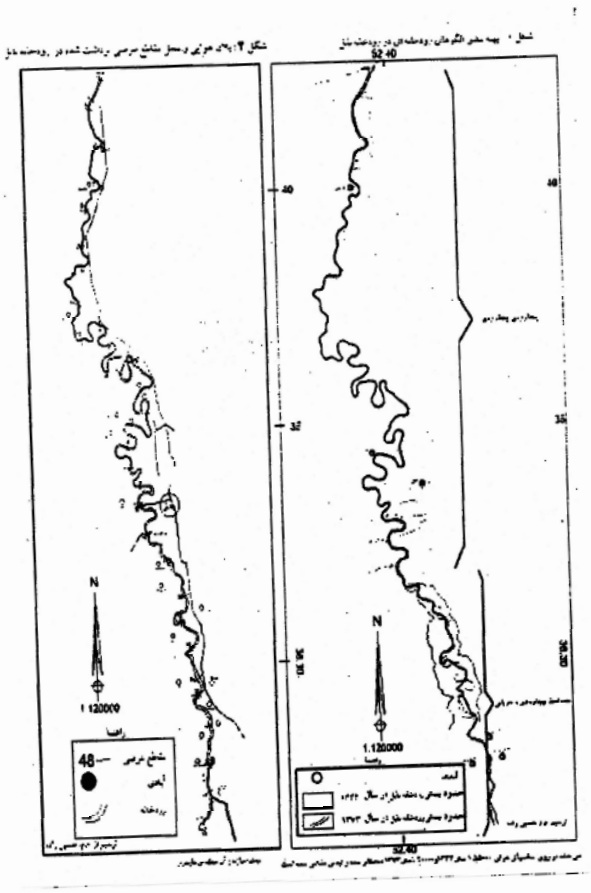
لازم به ذکر است که، از بین روش‌های مختلف بررسی تغییرات رودخانه، روش گرافیکی ساده‌ترین و سریع‌ترین روش جهت درک تغییرات کلی الگوی رودخانه در فواصل زمانی است که تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی موجود است. هرچند این روش، به صورت کیفی تغییرات پلان رودخانه را نشان می‌دهد .

[1]. اجرای طرح‌های مهندسی در طول رودخانه (احداث پل، پایداری‌سازی سواحل رود و ...) و احداث سد در علیای رود و فعالیت‌های زراعی .

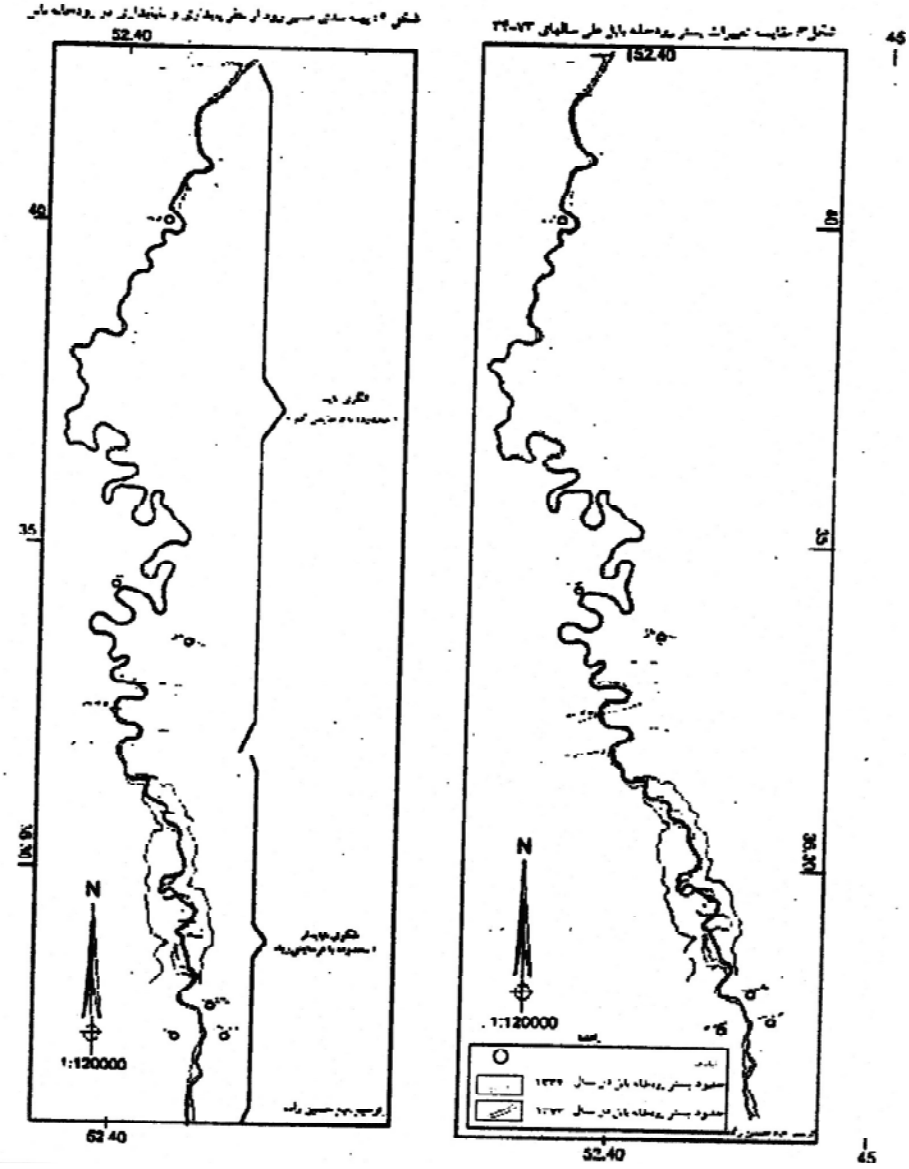
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]



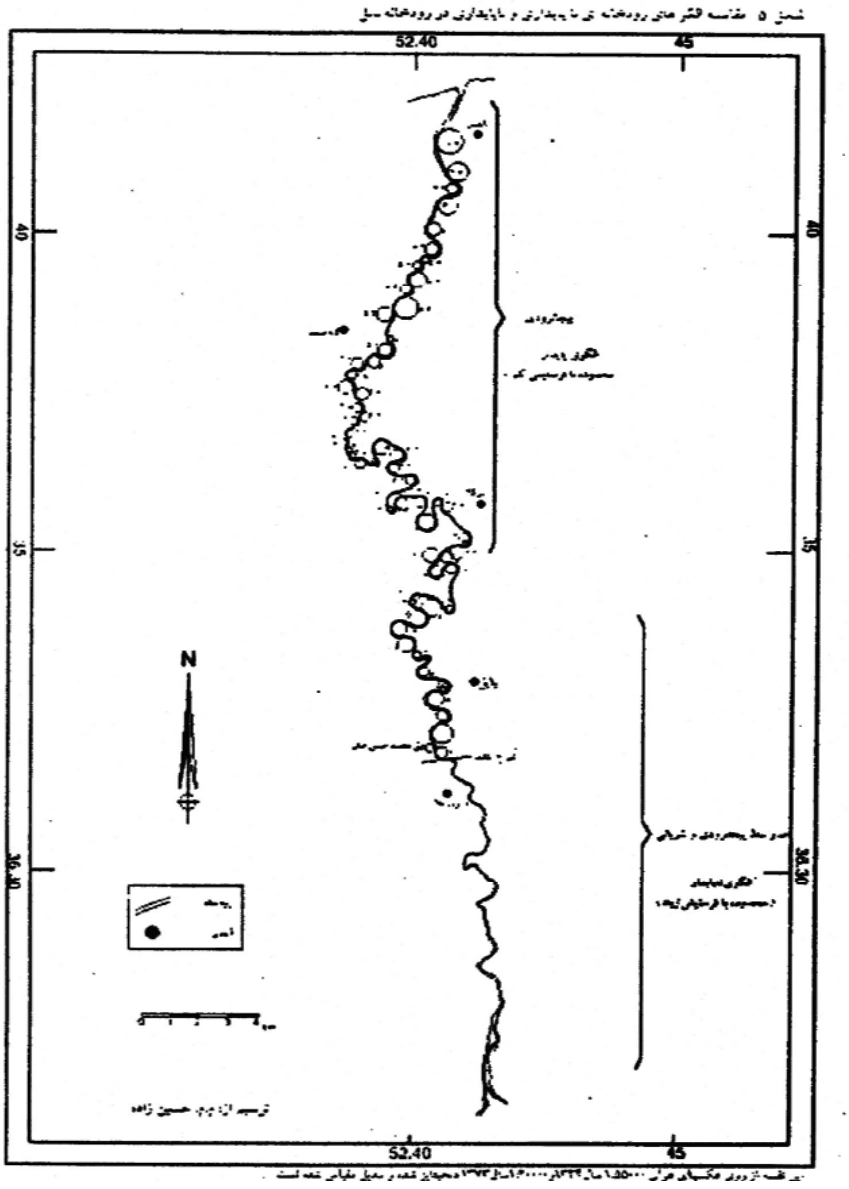
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

منابع و ماخذ :

۱- تلوری، عبدالرسول ؛ رودخانه‌ها و مشخصات هندسی آن‌ها، تحقیقات جهاد کشاورزی، ۱۳۷۳ .

۲- حسین‌زاده، محمدمهدی ؛ تجزیه و تحلیل علل تغییر الگوی رودخانه‌های بابل و تالار (با تاکید بر الگوی پیچان‌رودی)، رساله دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، ۱۳۸۰ .

۳- چورلی، ریچارد ؛ ژئومورفولوژی، جلد سوم، ترجمه احمد معتمد، سازمان انتشارات سمت، ۱۳۷۹ .

۴- سازمان آب و منطقه‌ای استان مازندران، مطالعات تکمیلی مرحله اول طرح پاشاکلا، گزارش هیدرولوژی .

۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس‌های هوایی مقیاس ۵۵۰۰۰ :۱ سال ۱۳۴۴، آرشیو عکس موسسه جغرافیا .

۶- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی، ۵۰۰۰۰ : ۱ (درازکلا، بابل) .

۷- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی، ۲۵۰۰۰۰: ۱ (ساری) .

۸- سازمان نقشه‌برداری کشور، عکس‌های هوایی ۲۰۰۰۰: ۱ سال ۱۳۷۳ .

۹- مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب جهادسازندگی، مهندسی رودخانه ـ رودخانه‌ها و مشخصات هندسی آن‌ها ـ کارگاه آموزشی .

۱۰- معتمد، احمد ؛ کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی، انتشارات سمت، ۱۳۷۸ .

11. BEATTY. D. A.*1984* . Discussion of channel migration and incision on the Beatton River. Journal of Hydraulic Engineering.

12. GARDINER.t.*1983* . Some Factors Promoting channel bank erosion. River Lany. County down. Journal of Earth Science. *231–239* .

13. CHORLEY. R. J.*1971* . Introduction to Fluvial Processes. Methurenice LTD .

14. DENG. Z. Q.*1999* .Mechanism and Conditions for Change in Channel Pattern. Journal of Hydraulic Research. Vol.۳۷. No.*4* .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]