

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره نهم، پاییز ۱۳۹۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۳/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۶/۲۷

صفحات: ۷۷-۸۸

## ارزیابی ژئومورفیک و بررسی تغییرات بابل رود در محدوده شهر بابل، استان مازندران

رضا اسماعیلی<sup>۱\*</sup>، قاسم لرستانی<sup>۲</sup>، مریم رجب پور<sup>۳</sup>

### چکیده

شهرنشینی بیش از سایر فعالیت‌های انسانی سیستم‌های رودخانه‌ای را تغییر می‌دهند. رودهای شهری به دنبال شهرنشینی مورفولوژی کانال رود را تعدیل می‌نمایند. در این مقاله، اثرات شهرنشینی در بابل رود با استفاده از ارزیابی سریع ژئومورفیک (RGA) در محدوده شهری بابل مورد بررسی قرار گرفته است. این روش به وسیله مدیریت رواناب رگباری نیویورک طرح شده است. این تکنیک کیفی شاخص‌های مختلفی دارد که نشان‌دهنده چهار گروه از فرایندهای ژئومورفیک است. در این تحقیق، بابل رود به هشت بازه تقسیم‌بندی شد. در کارهای میدانی چهار عامل رسوبگذاری، فرسایش، پهن‌شدگی کانال و پلانفرم کانال بررسی شدند. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث تغییرات عرض کانال رود اندازه‌گیری شد. بر اساس یافته‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک همه‌ی بازه‌ها امتیاز کمتر از ۰/۲۵ به دست آوردند که نشان‌دهنده وضعیت پایدار رود است. رسوبگذاری و پهن‌شدگی کانال امتیاز بیشتری را از سایر عوامل کسب کردند. بررسی عرض رودخانه طی دوره ۹ ساله نشان می‌دهد که پهنای کانال رود بین ۷- تا ۵ متر تغییر نموده است. ضریب همبستگی بین کاربری اراضی و تغییرات عرض رود، رابطه معناداری را نشان می‌دهد. بدین صورت که عرض رود در کاربری‌های مسکونی و کشاورزی به ترتیب تغییرات کاهشی و افزایشی داشته است.

واژگان کلیدی: رودخانه شهری، ارزیابی سریع ژئومورفیک، بابل رود، مازندران.

r.esmaili@umz.ac.ir

<sup>۱</sup>- استادیار گروه جغرافیای دانشگاه مازندران، بابلسر

<sup>۲</sup>- استادیار گروه جغرافیای دانشگاه مازندران، بابلسر

<sup>۳</sup>- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران، بابلسر

## مقدمه

فعالیت‌های انسانی اثرات زیادی در سیستم‌های محیطی بجا می‌گذارند. برآورد میزان این اثرات بر سیستم رودخانه‌ای مشکل بوده و تفکیک تغییرات انسانی از تغییرات ناشی از فرایندهای طبیعی دشوار است. واکنش‌های رودخانه نسبت به دخالت‌های انسانی متفاوت بوده و می‌تواند به تغییر رژیم آب و رسوب، تغییر هندسه و پلانفرم کانال و تغییر واحدهای ژئومورفیک کانال منجر شود (حسین‌زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۴).

از میان تغییرات انسانی، شهرنشینی عمیق‌ترین و غیرقابل برگشت‌ترین تأثیرات را در سیستم رودخانه‌ای دارد. با رشد بالای شهرنشینی در دهه‌های اخیر، اثرات شهرسازی در سیستم‌های رودخانه‌ای افزایش یافته است. شهرنشینی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم بر سیستم رودخانه‌ای تأثیر دارد (چین و همکاران، ۲۰۱۳). اثرات مستقیم شامل فعالیت‌ها و عملیاتی است که به طور مستقیم بر روی کانال رود انجام می‌شود مانند احداث پل، دیواره‌های حفاظتی کرانه رود، برداشت شن و ماسه از بستر رود و غیره. تغییرات غیرمستقیم در نتیجه توسعه شهر و گسترش سطوح نفوذناپذیر شهری ایجاد می‌شود که اثر آن به صورت افزایش رواناب و تغییر مقدار رسوب بوده و در نهایت در تعدیل کانال رود نقش دارد.

در توان‌بخشی و احیاء رودهای شهری عوامل مختلفی شامل هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، اکولوژی، سیاست، جامعه و اقتصاد نقش دارند که تلفیق آن‌ها می‌تواند در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مدیران تأثیرگذار باشد (فایندلی و تایلور، ۲۰۰۶). لذا شناسایی و پیش‌بینی تغییرات رود مسئله مهمی در امور مدیریت رود محسوب می‌گردد.

رودخانه‌ها در مناطق شهری به دنبال فعالیت‌های انسانی واکنش‌های مختلفی نشان می‌دهند. برخی از این مخاطرات در رودخانه‌های شهری عبارتند از: فرسایش کرانه رود، فرسایش و حفر بستر، رسوبگذاری در بستر رود در محل پل‌ها و تقاطع‌ها، تغییرات در عرض و عمق رود، افزایش یا کاهش ظرفیت کانال رود، تغییرات الگوی رود، انباشت نخاله‌های شهری و غیره (چین و همکاران، ۲۰۱۳).

یکی از مهم‌ترین اهداف این تحقیق بررسی پایداری رودخانه است. از دیدگاه ژئومورفولوژیکی، رودخانه پایدار رودخانه‌ای است که عرض، عمق و شیب خود را تعدیل می‌کند بدین صورت که در یک دوره کمتر از ۵۰ سال، هیچ رسوبگذاری یا فرسایش مشخصی در بستر رود ایجاد نشده و در الگوی رود تغییری صورت نگیرد (بلدوز و همکاران، ۲۰۱۲).

انسان بیش از ۴۰۰۰ سال است که در تغییر کانال رود نقش داشته است. اما تحقیق در این زمینه از سال ۱۹۵۶ به صورت گسترده و علمی شروع شده است (گریگوری، ۲۰۰۶). تحقیقات متعددی در مورد اثرات شهرنشینی بر سیستم‌های رودخانه‌ای انجام شده است. این تحقیقات در رشته‌های مختلف شامل هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، اکولوژی، مهندسی و مدیریت که در ارتباط با رودخانه هستند صورت گرفته است. در اینجا به برخی از تحقیقاتی که در زمینه ژئومورفولوژی رودخانه‌های شهری انجام شده اشاره می‌شود. ولمن (۱۹۶۷)، کولوسیمو و ویلکوک (۲۰۰۷)، تایلور و آونز (۲۰۰۹)، هوگان و همکاران (۲۰۱۳) فرسایش و رسوب را در رودخانه‌های شهری مطالعه نمودند. تعدادی از تحقیقات مانند هنشاو و بوث (۲۰۰۰)، چین و گریگوری (۲۰۰۵)، گرابل و هاردن (۲۰۰۶)، ناوراتیل و همکاران (۲۰۱۳)

و تانی‌گوچی و بیگز (۲۰۱۵) واکنش رودخانه و تعدیل کانال رود را در مناطق شهری ارزیابی نمودند. برخی از مطالعات نقش مدیریتی ژئومورفولوژی را در رودخانه‌های شهری مورد تأکید قراردادند (گریگوری ۲۰۰۲، چین و گریگوری ۲۰۰۹).

مک برید و بوث (۲۰۰۵) با تکنیک ارزیابی سریع رودخانه‌ای و شاخص‌های چندگانه شرایط فیزیکی رودخانه‌ها را مطالعه نموده و شاخص شرایط طبیعی رود (PSCI)<sup>۱</sup> را برای مناطق شهری ارائه نمودند. بلدوز و همکاران (۲۰۱۲) حساسیت پذیری رودخانه‌ها را نسبت به تغییرات مقدار آب و بار رسوبی مدل‌سازی نمودند و چهارچوبی را برای ارزیابی سریع ژئومورفیک پیشنهاد نمودند.

در رودخانه مورد مطالعه (بابل رود)، غفاری و همکاران (۱۳۸۵) تغییرات مورفولوژی کناری رودخانه بابل رود را با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS شبیه‌سازی نمودند. همچنین یمانی و همکاران (۱۳۸۵) هیدرودینامیک بابل رود را بررسی نموده و نقش آن را در ناپایداری رود تحلیل نمودند.

## داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق بابل رود در محدوده‌ی شهر بابل از پل محمدحسن خان تا میدان مادر به طول تقریبی ۵/۷ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه با توجه به تقاطع پل‌ها به هشت بازه تقسیم‌بندی گردید. با استفاده از کارهای میدانی داده‌های مرتبط با هر بازه شامل ویژگی‌های مورفومتری کانال رود، اشکال ژئومورفیک رودخانه‌ای (دشت سیلابی، موانع درون کانالی، پوینت بارها، پادگانه‌های آبرفتی و غیره) و تغییرات انسانی ایجاد شده در مسیر رودخانه (پل، جاده، دیواره‌های محافظ کرانه و غیره) جمع‌آوری گردید و وضعیت هر بازه با استفاده از شاخص‌های RGA مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت که در ادامه تشریح می‌شود.

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ پلان رود ترسیم و تغییرات عرض رودخانه در این دو دوره اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از آزمون آماری t معناداری تغییرات مورد بررسی قرار گرفت. همچنین ارتباط نوع کاربری اراضی حاشیه رودخانه با تغییرات ایجادشده در عرض کانال در نرم‌افزار SPSS محاسبه و تحلیل گردید.

### ۱- ارزیابی سریع ژئومورفیک<sup>۲</sup> (RGA)

روش‌های مختلفی از ارزیابی سریع ژئومورفیک وجود دارد. در این مقاله، پایداری کانال بابل رود با استفاده از روش ارزیابی سریع ژئومورفیک (RGA) که به وسیله‌ی مدیریت رواناب رگباری<sup>۳</sup> (SWM) نیویورک پیشنهادشده (۲۰۱۰)

<sup>۱</sup> - physical stream conditions index

<sup>۲</sup> - Rapid Geomorphic Assessment

<sup>۳</sup> - Stormwater Management

مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش عوامل متعددی برای تعیین فرایندهای ژئومورفیک خاص وجود دارد که این فرایندها عبارتند از: رسوبگذاری<sup>۱</sup>، فرسایشی<sup>۲</sup> (حفر بستر)، پهن‌شدگی کانال<sup>۳</sup> و تعدیل الگوی رود<sup>۴</sup>. هر عامل بین ۷ تا ۱۰ شاخص دارد که این شاخص‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. بر این اساس در صورت وجود هر یک از اشکال (شاخص) امتیاز یک و در صورت عدم وجود آن شکل امتیاز صفر می‌گیرد. سپس مجموع امتیاز هر عامل محاسبه شده و میانگین امتیازهای چهار عامل وضعیت فعلی کانال را نشان می‌دهد. بر این مبنای شاخص پایداری<sup>۵</sup> به سه وضعیت پایدار (تعادل)، انتقالی و در حال تعدیل تقسیم‌بندی می‌شوند (جدول ۲).

جدول ۱: شاخص‌های مورد استفاده در روش RGA

| عامل                | شاخص‌های مورد استفاده   |
|---------------------|---|
| رسوب‌گذاری          | ۱- موانع مرکب، ۲- مواد درشت گیر افتاده در خیزابها، ۳- سیلنتی شدن چالابها، ۴- موانع میان کانالی، ۵- رشد پوینت بارها، ۶- جور شدگی طولی ضعیف بستر ۷- نهشته‌گذاری در بالای کرانه  |
| فرسایشی (حفر بستر)  | ۱- بیرون زدگی پایه پل‌ها، ۲- بیرون زدگی کانال‌های فاضلاب/ خطوط لوله و غیره، ۳- ارتفاع یافتن دهانه ورودی فاضلاب‌های شهری به رودخانه، ۴- زیربری گابیونها/آپرونها بتنی و غیره، ۵- بریده شدن موانع رسوبی، ۶- هدکت در نتیجه عقب‌نشینی شکستگی‌های طولی بستر، ۷- بریده شدن عمودی موانع رسوبی قدیمی، ۸- لایه زره مانند (آرموری) قابل رویت در کرانه ۹- فرسایش رسوبات یا سنگ بستر در کانال                                |
| پهن‌شدگی کانال      | ۱- افتادن/ خم شدن درختان/ فنس و غیره، ۲- وجود واریزه های ارگانیکی بزرگ ۳- ریشه‌های بیرون زده درختان ۴- فرسایش پای کرانه در قوس‌های داخلی مئاندر ۵- فرسایش پای کرانه در هر دو طرف کانال دارای خیزاب ۶- خارج شدن گابیونها، دیواره‌های بتنی و سنگفرش‌ها ۷- طول فرسایش پای کرانه < ۵۰ درصد در سراسر بازه مورد مطالعه ۸- بیرون‌زدگی طولی لوله‌های مدفون ۹- خطوط ترک‌خوردگی در بالای کرانه ۱۰- برون زدگی پایه سازه‌ها |
| تعدیل شکل پلانیمتری | ۱- تشکیل میانگذر ۲- تغییر شکل رود از تک کانال به چند کانال ۳- تغییر شکل چالاب - خیزاب به بستر با ناهمواری کم ۴- کانال‌های میانبر ۵- تشکیل جزیره ۶- تغییر مسیر تالوگ با ژئومتری مئاندر ۷- موانع رسوبی جابه‌جا شده  |

منبع: مدیریت رواناب رگباری (SWM) نیویورک (۲۰۱۰)

<sup>3</sup> - Aggradation

<sup>2</sup> - Degradation

<sup>3</sup> - Widening

<sup>4</sup> - Planform

<sup>5</sup> - Stability index

جدول ۲: طبقه بندی رودهای شهری بر اساس RGA

| مقدار عامل | طبقه بندی                              | تفسیر   |
|------------|--|---|
| $< 0/25$   | پایدار یا در حالت تعادل (حداقل حساسیت) | مورفولوژی کانال در محدوده واریانس رود با ویژگی‌های هیدروگرافی مشابه است. شواهد ناپایداری ایزوله بوده یا به فرایندهای گسترش معمول مانند رود مربوط می‌شود |
| $0/25-0/4$ | انتقالی یا تحت فشار (حساسیت متوسط)     | مورفولوژی کانال در محدوده‌ی واریانس رود مشابه با ویژگی هیدرولوژیک است اما شواهد ناپایداری فراوان است.   |
| $> 0/4$    | در حالت تعدیل (بیشترین حساسیت)         | مورفولوژی کانال در محدوده‌ی واریانس نبوده و شواهد ناپایداری بسیار وسیع است.   |

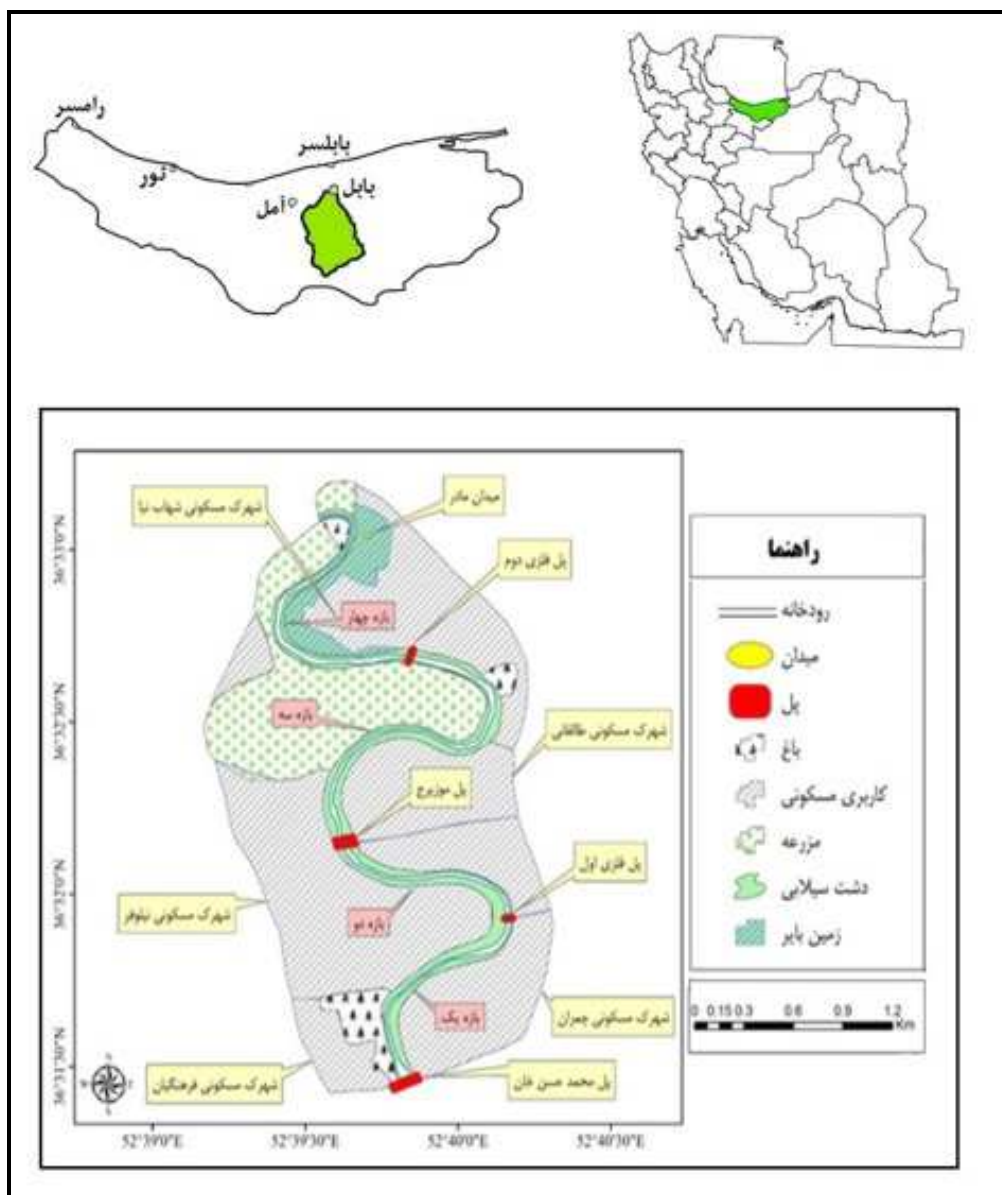
منبع: مدیریت رواناب رگباری (SWM) نیویورک (۲۰۱۰)

### محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز بابل رود بین  $25^{\circ} 52'$  تا  $55^{\circ} 52'$  طول شرقی و  $36^{\circ}$  تا  $33' 36^{\circ}$  عرض شمالی و در جنوب استان مازندران واقع شده است (شکل ۱). مساحت حوضه تا شهر بابل ۱۴۹۳ کیلومترمربع است. ارتفاع حوضه از حداقل ۰ متر تا حداکثر ۳۷۱۱ متر بالاتر از سطح دریای آزاد متغیر است. ارتفاع متوسط شهر بابل هم از سطح دریای آزاد صفر متر است. از نظر زمین‌شناسی قسمت کوهستانی حوضه بابل رود در زون البرز مرکزی و قسمت جلگه‌ای آن در زون گرگان- رشت قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه در قسمت جلگه‌ای حوضه قرار داشته و عمدتاً از رسوبات آبرفتی دوره کواترنر پوشیده شده است.

است. میانگین بارش سالانه حوضه و شهر بابل به ترتیب ۷۹۵ و ۶۸۲ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن‌ها به ترتیب  $13/3$  و  $16/2$  درجه سانتیگراد است. میانگین دبی بابل رود در ایستگاه کشتارگاه و طی یک دوره ۳۵ ساله ۱۶ مترمکعب در ثانیه اندازه‌گیری شده است. میزان دبی حداکثر سیلاب در همین ایستگاه با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری در دوره برگشت‌های مختلف به ترتیب ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله برابر است با ۴۱۴، ۳۴۲، ۲۳۸، ۵۰۸، ۵۸۰ و ۶۵۳ مترمکعب بر ثانیه تخمین زده شده است.

شهر بابل از گذشته سابقه سکونت و شهرنشینی داشته و طبق سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۰، جمعیت این شهر ۲۱۹۴۶۷ نفر بوده است. در این تحقیق رودخانه بابل رود در محدوده‌ی شهر بابل مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز بابل رود و محدوده مورد مطالعه در شهر بابل

## نتایج

بابل رود در محدوده شهری به طول ۵/۷ کیلومتر به ۴ بازه اصلی و ۴ بازه فرعی (در مجموع هشت بازه) تقسیم‌بندی شد (شکل ۱). در هر بازه اشکال ژئومورفیک رودخانه و تغییرات مستقیم انسانی بررسی و ثبت گردید. جدول ۳ خلاصه‌ای از ویژگی‌های بازه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۳: خلاصه ای از ویژگی‌های بازه‌های بابلرود

| بازه‌ها | طول به متر | عرض کانال (متر) | واحد‌های ژئومورفیک   | اثرات مستقیم انسانی در امتداد بازه  |
|---------|------------|-----------------|--|---|
| ۱-۱     | ۵۸۰        | ۵۲-۱۲           | کانال عمیق و پرسرعت و شامل پوینت بار در سمت راست رود، دشت سیلابی، تراس آبرفتی و میان‌کانالی است.     | پل محمدحسن خان، ساخت پل‌های جدید در کنار پل محمدحسن خان و جاده در سمت راست رودخانه است. |
| ۲-۱     | ۶۰۰        | ۳۷-۱۰           | کانال عمیق و کم سرعت و شامل پوینت بار در سمت چپ رود، دشت سیلابی و تراس آبرفتی است.                   | ساخت جاده در امتداد سمت راست رودخانه  |
| ۱-۲     | ۵۰۰        | ۲۷-۱۸           | کانال عمیق و کم سرعت و شامل پوینت بار در سمت راست رود، دشت سیلابی و تراس آبرفتی                      | ساخت جاده در امتداد سمت راست رودخانه و پل فلزی  |
| ۲-۲     | ۵۱۰        | ۳۴-۱۴           | کانال عمیق و پرسرعت و شامل پوینت بار در سمت چپ رود، دشت سیلابی، تراس آبرفتی و موانع میان‌کانالی است. | ساخت جاده در امتداد هر دو سمت رودخانه   |
| ۱-۳     | ۱۱۲۰       | ۳۵-۱۴           | کانال عمیق و پرسرعت و شامل پوینت بار در سمت راست رود، دشت سیلابی، تراس آبرفتی و موانع میان‌کانالی    | پل موزیرج، پارک ساحلی، دیوار حائل و جاده در امتداد سمت راست رودخانه                     |
| ۲-۳     | ۷۸۰        | ۴۱-۱۷           | کانال عمیق و پرسرعت و شامل پوینت بار در سمت راست رود، دشت سیلابی و تراس آبرفتی                       | دیوارحائل، کالورت و جاده در امتداد سمت راست رودخانه                                     |
| ۱-۴     | ۸۶۰        | ۳۱-۱۵           | کانال عمیق و پرسرعت و شامل پوینت بار در سمت راست رود، دشت سیلابی، پادگانه آبرفتی و موانع میان‌کانالی | جاده در امتداد سمت راست رودخانه و پل فلزی   |
| ۲-۴     | ۷۶۰        | ۳۱-۱۰           | کانال عمیق و پرسرعت و شامل پوینت بار در سمت راست رود، دشت سیلابی و پادگانه آبرفتی                    | جاده در امتداد سمت راست رودخانه   |

### ۱- ارزیابی سریع ژئومورفیک

برای ارزیابی سریع ژئومورفیک بر اساس شرایط فعلی رودخانه از چهار عامل رسوبگذاری، فرسایشی (حفر بستر)، پهن‌شدگی و پلان یا الگو استفاده شده است. امتیاز هر یک از معیارهای اصلی در جدول ۴ نشان داده شده است. بر این اساس، معیار رسوبگذاری بین ۰/۲۸ تا ۰/۴۲ متغیر بوده است. بازه‌های ۱-۱، ۲-۲، ۳-۳، ۴-۴ و ۱-۴ با کسب ۰/۴۲ بیشترین امتیاز مربوط به رسوبگذاری را داشته‌اند (شکل ۲). عمق نسبتاً زیاد کانال رود مربوط به نوسانات آب دریای خزر در دوره کوتاه‌تر بوده و در حال حاضر شواهدی از فرسایشی در بازه‌ها مشاهده نشده است. امتیاز پهن‌شدگی کانال در همه بازه‌ها بین ۰/۲ تا ۰/۳ متغیر بوده است. معیار پلان هم فقط در بازه ۱-۱ با امتیاز ۰/۱۴ بوده و برای سایر بازه‌ها صفر بوده است و این بدین معنی است که شواهدی از تغییرات الگوی کانال در شرایط فعلی مشاهده نشده است.

جدول ۴: امتیازات مربوط به ارزیابی سریع ژئومورفیک

| بازه‌ها | رسوبگذاری | حفر بستر | پهن‌شدگی کانال | پلان یا الگو | شاخص پایداری | وضعیت بازه‌ها |
|---------|-----------|----------|----------------|--------------|--------------|---------------|
| ۱-۱     | ۰/۴۲      | ۰        | ۰/۲            | ۰/۱۴         | ۰/۱۸         | پایدار        |
| ۲-۱     | ۰/۲۸      | ۰        | ۰/۲            | ۰            | ۰/۱۱         | پایدار        |
| ۱-۲     | ۰/۲۸      | ۰        | ۰/۲            | ۰            | ۰/۱۱         | پایدار        |
| ۲-۲     | ۰/۴۲      | ۰        | ۰/۳            | ۰            | ۰/۱۷         | پایدار        |
| ۱-۳     | ۰/۲۸      | ۰        | ۰/۳            | ۰            | ۰/۱۳         | پایدار        |
| ۲-۳     | ۰/۴۲      | ۰        | ۰/۳            | ۰            | ۰/۱۵         | پایدار        |
| ۱-۴     | ۰/۴۲      | ۰        | ۰/۲            | ۰            | ۰/۱۵         | پایدار        |
| ۲-۴     | ۰/۲۸      | ۰        | ۰/۲            | ۰            | ۰/۱۱         | پایدار        |

مطالعات یمانی و همکاران (۱۳۹۴) در بابل رود که با استفاده از روش متساوی البعد انجام شده است نشان می‌دهد که الگوی رود در بازه مورد مطالعه تغییرات کمتری را طی دوره‌های مورد بررسی تجربه نموده است. شاخص پایداری کانال رود در بازه‌های مورد مطالعه بین ۰/۱۱ تا ۰/۱۸ متغیر بوده است. با توجه به اینکه مقادیر کمتر از ۰/۲۵ نشان‌دهنده‌ی شرایط پایدار است لذا همه بازه‌ها در حالت تعادل یا پایدار قرار دارند.



شکل ۲: تصاویر بابل رود، (الف) رسوبگذاری در پایه پل، (ب) پوینت بار، (ج) موانع طولی درون کانالی، (د) دشت سیلابی، (ه) پرشدگی کالورت، (و) تخلیه نخاله شهری و کاهش عرض رود



## ۲- تغییرات عرض رودخانه

در محدوده مورد مطالعه ۲۶۴ مقطع از عرض رود طی سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییرات کاهش و افزایشی در دوره مورد بررسی هستند. بیشترین میزان تغییرات کاهش رود در بازه ۱-۳ با مقدار ۷/۱۴- متر و بیشترین میزان تغییرات افزایشی رود در بازه ۳-۲ با مقدار ۵/۶ متر بوده است (جدول ۵).

جدول ۵: تغییرات عرض کانال بابل رود طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴

| بازه‌ها | تعداد | میانگین عرض رود<br>۲۰۰۶ به متر | میانگین عرض رود<br>۲۰۱۵ به متر | میزان تغییرات به<br>متر |
|---------|-------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| ۱-۱     | ۳۴    | ۲۵/۱۶                          | ۲۰/۵۴                          | -۴/۶۲                   |
| ۲-۱     | ۲۹    | ۲۲/۴۲                          | ۱۹/۸۵                          | -۲/۵۷                   |
| ۱-۲     | ۲۷    | ۲۱/۳۰                          | ۲۲/۴۹                          | ۱/۱۹                    |
| ۲-۲     | ۲۴    | ۲۳/۷۳                          | ۲۰/۵۴                          | -۳/۱۹                   |
| ۱-۳     | ۴۶    | ۲۶/۳۴                          | ۱۹/۲۰                          | -۷/۱۴                   |
| ۲-۳     | ۳۰    | ۲۲/۴۰                          | ۲۸                             | ۵/۶                     |
| ۱-۴     | ۳۶    | ۲۰/۷۸                          | ۲۴/۵۲                          | ۳/۲۲                    |
| ۲-۴     | ۳۸    | ۲۱/۳۳                          | ۱۵/۴۶                          | -۵/۸۷                   |

جهت بررسی معناداری تغییرات کانال رود در بازه‌های مورد مطالعه و دوره زمانی مورد بررسی از آزمون t جفتی استفاده شده است. نتایج بدست آمده از آزمون t جفتی نشان می‌دهد (جدول ۶) که از هشت بازه مورد مطالعه، تغییرات در ۶ بازه (۱-۱، ۲-۲، ۱-۳، ۲-۳، ۱-۴ و ۲-۴) در سطح اطمینان ۰/۰۱ به صورت معنادار بوده است. در بازه‌های ۱-۲ و ۲-۱ تفاوت عرض کانال تغییرات معناداری پیدا نکرده است. ضریب همبستگی این تغییرات هم در جدول ۶ نشان داده شده است. بر این اساس در چهار بازه ۱-۱، ۲-۲، ۱-۳ و ۲-۳ تغییرات هر جفت از اندازه‌گیری معنادار بوده و به معنی تغییرات متناظر در جفت‌های مورد بررسی است. بازه‌های ۱-۲ و ۲-۱ ضریب همبستگی معناداری نبوده و تفاوت معناداری هم در عرض کانال صورت نگرفته است. در بازه‌های ۱-۴ و ۲-۴ ضریب همبستگی نمونه‌ها معنادار نبوده، اما تفاوت عرض کانال صورت گرفته است که نشان‌دهنده‌ی تغییرات غیر متناظر عرض کانال در دوره مورد بررسی است.

## ۳- کاربری اراضی و تغییرات عرض کانال رود

پس از بررسی تغییرات عرض کانال رود، تفاوت تغییرات عرض رود با نوع کاربری مجاور کانال مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، کاربری اراضی اطراف رودخانه در ۵ گروه شامل کاربری مسکونی، مسکونی-کشاورزی، کشاورزی، کشاورزی-بایر و مسکونی-بایر طبقه‌بندی شده و تغییرات افزایشی یا کاهش کانال رود با استفاده از آزمون کای اسکوئر ( $\chi^2$ ) مورد آزمون قرار گرفت.

جدول ۶: نتایج آزمون t جفتی تغییرات عرض رودخانه بابل رود

| بازه‌ها | تعداد | همبستگی | Sig   | t      | Sig   |
|---------|-------|---------|-------|--------|-------|
| ۱-۱     | ۳۴    | ۰/۸۹۶   | ۰     | ۵/۱۵   | ۰     |
| ۲-۱     | ۲۹    | ۰/۰۱    | ۰/۹۶۰ | ۱/۵۷   | ۰/۱۲۷ |
| ۱-۲     | ۲۷    | -۰/۰۱   | ۰/۹۶۱ | -۰/۹۱۷ | ۰/۳۶۸ |
| ۲-۲     | ۲۴    | ۰/۶۴۸   | ۰/۰۰۱ | ۳/۸۵   | ۰/۰۰۱ |
| ۱-۳     | ۴۵    | ۰/۷۶۷   | ۰     | ۱۳/۱۲  | ۰     |
| ۲-۳     | ۳۰    | ۰/۵۰    | ۰/۰۰۵ | -۵/۶۵  | ۰     |
| ۱-۴     | ۳۶    | -۰/۲۹۵  | ۰/۰۸۱ | -۳/۶۶  | ۰/۰۰۱ |
| ۲-۴     | ۳۸    | -۰/۲۲۶  | ۰/۱۷۲ | ۶/۱۳   | ۰     |

نتایج آزمون کای اسکوئر در سطح اطمینان ۰/۰۵ نشان می‌دهد که تفاوت معناداری بین تغییرات عرض کانال و نوع کاربری اطراف رودخانه وجود دارد (جدول ۷). بیشترین تغییرات کاهش عرض رود در کاربری مسکونی و بیشترین تغییرات افزایشی در کاربری کشاورزی صورت گرفته است. محافظت و تقویت کناره‌های کانال رود در کاربری‌های مسکونی موجب کنترل فرسایش کرانه‌ای شده و تجاوز به حریم رود و اشغال بخشی از دشت سیلابی رود موجب کاهش عرض رود در دوره مورد مطالعه شده است.

جهت بررسی ارتباط بین کاربری اراضی حاشیه رودخانه و تغییرات عرض کانال رود از ضرایب همبستگی فی، کرامر و ضریب توافق استفاده گردید که مقادیر آن‌ها به ترتیب ۰/۲۹۵، ۰/۲۹۵ و ۰/۲۸۳ محاسبه گردید که در سطح معناداری ۰/۰۵ مورد تأیید قرار می‌گیرد.

جدول ۷: نوع کاربری و تغییرات عرض کانال

| نوع کاربری اراضی    | تغییرات افزایشی* | تغییرات کاهش | مجموع کل تغییرات |
|---------------------|------------------|--------------|------------------|
| ۱- مسکونی           | ۴                | ۴۴           | ۴۸               |
| ۲- مسکونی و کشاورزی | ۴۱               | ۷۳           | ۱۱۴              |
| ۳- کشاورزی          | ۱۳               | ۱۲           | ۲۵               |
| ۴- کشاورزی و بایر   | ۲۸               | ۳۰           | ۵۸               |
| ۵- مسکونی و بایر    | ۸                | ۱۱           | ۱۹               |

\*مقادیر داخل جدول نشان‌دهنده‌ی تعداد مقاطع عرضی تغییر یافته است.

در مجموع، اگرچه اشکال ژئومورفیک کانال در محدوده مورد مطالعه، نشان دهنده‌ی حالت تعادل یا پایدار در شرایط فعلی هستند و شواهد کمی از بزرگ شدگی کانال (پهن شدگی و عمیق شدگی) در مناطق مسکونی مشاهده می‌شود. اما بیشترین تغییرات ایجاد شده در اغلب بازه‌ها، کاهش ظرفیت کانال است که در اثر تخلیه نخاله‌های شهری و انباشت آن در محدوده دشت سیلابی رود موجب تنگ شدن و کاهش عرض کانال شده است.

تنگ شدن کانال در این بازه ها در زمان وقوع سیلابهای بزرگ موجب کاهش انتقال آب شده و خروج سیل از کرانه‌های رود را به مناطق شهری و مسکونی در پی خواهد داشت. علاوه بر این مسدود شدن کانال ها و کالورت‌های فرعی که عمل انتقال آب را به کانال اصلی انجام می دهند در زمان بارندگی‌های شدید مانع از تخلیه آب شده که به دنبال آن آب گرفتگی معابر ایجاد خواهد شد.

### نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی رودخانه به صورت سیستمی یکی از اهداف مهم در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای است. بررسی میدانی در مقیاس بازه می‌تواند اطلاعات مهمی را از فرایندهای رودخانه‌ای فراهم آورد. در این تحقیق ویژگی‌های رود با استفاده از ارزیابی سریع ژئومورفیک مورد بررسی قرار گرفت. شاخص رسوبگذاری و پهن‌شدگی نسبت به سایر شاخص‌ها امتیاز بیشتری کسب نموده‌اند اما به طور کلی، تمامی بازه‌ها در شرایط پایدار قرار گرفته‌اند. بررسی عرض کانال رود در طی یک دوره ۹ ساله نشان‌دهنده‌ی تغییرات کاهش و افزایشی معناداری در بازه‌ها بوده است. این تغییرات با کاربری اراضی اطراف رودخانه هم ارتباط معناداری داشته‌اند. در روش RGA تنگ‌شدگی کانال چه به صورت طبیعی یا انسانی مورد توجه قرار نگرفته است.

در این روش شواهد ژئومورفیک رود در شرایط فعلی بازه مورد بررسی قرار می‌گیرند، لذا اثرات انسانی و طبیعی خارج از بازه مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. از این رو هر نوع تغییر در بالادست بازه مانند احداث سد مخزنی، سرریز، کانال‌های انحرافی، برداشت مصالح از رود و غیره می‌تواند موجب تغییراتی در بازه‌های پایین دست شود. از دیگر مشکلات این روش عدم توجه به بازه زمانی است که در اندازه‌گیری شرایط فعلی مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. همچنین دخالت‌های مستقیم انسانی که می‌تواند این بازه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد بررسی نمی‌شود. به علاوه در مناطقی که پتانسیل بازیافت رودخانه بالا است یعنی برگشت به شرایط قبلی پس از آشفستگی به سرعت اتفاق می‌افتد، تحلیل شرایط جدید درک صحیح ژئومورفولوژی رودخانه را با چالش و خطا روبرو خواهد کرد.

بنابراین اگرچه روش RGA ارزیابی ژئومورفیک سریعی از بازه‌های رودخانه‌ای فراهم می‌آورد و می‌تواند در بازه‌های زمانی کوتاه مدت مورد توجه قرار گیرد، اما در تحقیقات واقعی ژئومورفولوژیکی و مفاهیم کاربردی آن، به تنهایی کارایی مناسبی نخواهد داشت.

### منابع

- حسین‌زاده، محمد مهدی و اسماعیلی، رضا (۱۳۹۴)، مبانی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، چاپ اول.
- غفاری، گل‌اله، سلیمانی، کریم و مساعدی، ابوالفضل (۱۳۸۵)، بررسی تغییرات مورفولوژی کناری آبراه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (بابل رود مازندران)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۷، صص ۶۱-۷۱.
- یمانی، مجتبی، حسین‌زاده، محمد مهدی و نوحه‌گر، احمد (۱۳۸۵)، هیدرودینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییر مشخصات هندسی آن‌ها، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۵، صص ۱۵-۳۳.

یمانی، مجتبی، گورابی، ابوالقاسم و عابدینی، زهرا (۱۳۹۴)، تحلیل روند تغییرات مورفولوژیکی الگوی آبراهه بابل رود از طریق نیمرخهای متساوی البعد، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۳، صص ۱۵۷-۱۳۷.

Bledsoe, B.P., Stein, E.D., Hawley, R.J. and Booth, D., (2012), Framework and Tool for Rapid Assessment of Stream Susceptibility to Hydromodification. *Journal of the American Water Resources Association*, pp. 1-21, DOI: 10.1111/j.1752-1688.2012.00653.

Chin, A. and Gregory, K.J., (2005), Managing urban river channel adjustments. *Geomorphology*, No.69, pp.28-45.

Chin, A. and Gregory, K.J., (2009), From research to application: management implications from studies of urban River channel adjustment, *Geography Compass*, Vol.3, No.1, pp.297-328.

Chin, A., O'Dowd, A.P. and Gregory, K.J., (2013), Urbanization and River Channels, *Treatise on Geomorphology*, Vol. 9, pp. 809-827.

Colosimo, M.F. and Wilcock, P.R., (2007), Alluvial sedimentation and erosion in an urbanizing watershed, Gwynns Falls, Maryland, *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 43, no.2, pp. 499-521.

Eyquem, J. and Winzenried, J., (2011), North West Waterloo Scoped Subwatershed Study-Fluvial Geomorphological Assessment, Final Report, [www.parishgeomorphic.com](http://www.parishgeomorphic.com)

Findly, S.J. and Taylor, M.P., (2006), Why rehabilitate urban river systems? *Area*, Vol. 38, No.3, pp. 312-325.

Gable, J.L. and Harden, C.P., (2006), Geomorphic response of an Appalachian Valley and Ridge stream to urbanization, *Earth Surface Processes and Landforms*, No. 31, pp.1707-1720.

Gregory, K.N., (2002), Urban channel adjustments in a management context: an Australian example, *Environmental Management*, Vol. 29, No. 5, pp. 620-633.

Gregory, K.N., (2006), The human role in changing river channels, *Geomorphology*, No. 79, pp. 172-191.

Henshaw, P.C. and Booth, D.B., (2000), Natural restabilization of stream channels in urban watersheds, *Journal of the American water resources association*, (JAWRA) Vol. 36, No.6, pp. 1219-1236.

Hogan, D.M., Jarnagin, S.T., Loperfido, J.V. and Ness, K.N., (2014), Mitigating the effects of landscape development on streams in urbanizing watersheds, *Journal of the American water resources association*, (JAWRA) Vol. 50, No. 1, pp. 163-178.

McBride, M. and Booth, D.B., (2005), Urban impacts on physical stream condition: effects of spatial scale, connectivity, and longitudinal trends, *Journal of the American Water Resources Association*, Vol.41, No.3, pp.565-580.

Navratil, O., Breil, P., Schmitt, L., Grosprêtre, L. and Albert, M.B., (2013), Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff (Yzeron River basin, France), *Journal of Hydrology*, Vol. 485, No.2, pp. 24-36

Stormwater Management Design Manual, (2010), New York State Department of Environmental Conservation 625 Broadway.

Taniguchi, K.T. and Biggs, T.W., (2015), Regional impacts of urbanization on stream channel geometry: A case study in semiarid southern California, *Geomorphology*, Vol. 248, No. 1 pp. 228-236

Taylor, K.G. and Owens, P.N., (2009), Sediment in urban river basins: a review of sediment-contaminated dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *Journal of Soils and Sediments*, No.9, pp. 281-303.

Wolman, G., (1967), A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels, *Annaler*, 49A: 255-265.

## **Geomorphic Assessment and survey of change of Babol River in Babol city, Mazandaran province**

**Reza Esmaili\*<sup>1</sup>, Ghasem Lorestani<sup>2</sup>, Maryam Rajabpour<sup>3</sup>**

1- Assistant Prof. of geomorphology, University of Mazandaran, Babolsar

Email: r.esmaili@umz.ac.ir

2- Assistant Prof. of geomorphology, University of Mazandaran, Babolsar

3- M.A. of Geomorphology, University of Mazandaran, Babolsar

Received: 2016.06.10

Accepted: 2016.11-15

---

### **Abstract**

Urbanization modifies river systems more than other human activity. Urban streams adjust channel morphology as a consequence of urbanization. In this paper, effects of urbanization on Babol River, survey using with Rapid Geomorphic Assessment (RGA) in Babol city. This protocol designed by Storm water management (SWM) of New York State. These qualitative techniques have various indicators are grouped into four categories indicating a specific geomorphic process. Babol River channel was divided into 8 reaches in this research. Field surveys were achieved reaches with four factors of Aggradation, Degradation, Channel Widening and Plan metric Form. Then, satellite images of Google Earth were used to document of modification of river channel width. Based on the findings of Rapid Geomorphic Assessment, All sites achieved a score of less than 0.25, and were in stable class. During the period of 8 years, the channel width had modified between -7 m and 5 m. There is a significant relationship between land use and changes of channel width. In this case, landuse of residential and agriculture have decreased or increased changes respectively.

**Key words:** Urban River, Rapid Geomorphic Assessment, Babol River, Mazandaran