پهنه‌بندي خطر و ارزيابي خسارت سيل با استفاده از HEC-GeoRAS (مطالعه موردي رودخانه بابلرود)

گلاله غفاري*[1]، كريم سليماني[2]، ابوالفضل مساعدي[3]
[1] مربي دانشكده كشاورزي، دانشگاه آزاد اسلامي، واحد سنندج، ايران
[2] دانشيار دانشكده منابع طبيعي ساري، دانشگاه مازندران، ايران
[3] دانشيار دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي گرگان، ايران
(تاريخ دريافت: ۸۳/۸/۱۶، تاريخ تصويب: ۸۵/۲/۴)

چكيده

در اين تحقيق ضمن معرفي كاربرد و توانايي‌هاي تلفيق مدل HEC-RAS، نرم‌افزار ArcView و الحاقيه آن با نام HEC-GeoRAS، به پهنه‌بندي خطر سيل و ارزيابي خسارات وارد بر قسمت مهمي از دشت سيلابي رودخانه بابلرود، پرداخته شد. بدين منظور پس از تهيه نقشه‌هاي ۱:۱۰۰۰ منطقه و در نظر گرفتن ۱۰۳ مقطع در طول ۵/۵ كيلومتر، اقدام به جمع‌آوري و تهيه اطلاعات هيدرولوژي و تعيين ضريب مانينگ به روش كاون در۱۰ ناحيه به فواصل تقريبي۵۰۰ متري شد و در نهايت با انجام يك‌سري مراحل و عمليات خاص، نقشه‌هاي سطح، عمق و سرعت سيل در ۷ دوره بازگشت، ۲، ۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله تهيه و ضمن محاسبه خسارت وارد به شاليزارهاي محل در هر دوره بازگشت، منحني‌هاي تراز ـ خسارت آنها نيز ترسيم شد. نتايج به‌دست آمده از اين تحقيق نشان داد كه از كل مساحت تحت تاثير سيل ۲۰۰ ساله، ۸۹/۵۳ درصد آن مستعد سيل‌گيري توسط سيل‌هاي زير ۲۵ سال است. رابطه ترازخسارت سيل نيز نشان داد كه روند افزايش خسارت در مقابل عمق سيل‌گيري تا عمق متوسط ۲/۲۸ متري (دوره بازگشت ۲۵ سال) شدت به نسبت بيشتري دارد، درصورتي‌كه در اعماق متوسط بيشتر از ۲/۲۸ متري، اين روند كندتر است. همچنين از سه بازه بابلرود۱، بابلرود۲ و سجادرود، بازه بابلرود۱، بيشترين عمق متوسط سيل‌گيري را دارد و سرعت سيل در بازه‌هاي بابلرود۱ و۲ بيشتر از بازه سجادرود است.

واژه‌هاي كليدي: پهنه‌بندي سيل، HEC-GeoRAS و رودخانه بابلرود

* نويسنده مسئول: تلفن: ۰۸۷۱-۳۷۳۶۶۰۹ فاكس: ۰۸۷۱-۳۲۸۸۶۶۲ E-mail: ghaffari58@yahoo.com

مقدمه

با وجود پيشرفت روش‌هاي فيزيكي و ساختماني مهار سيلاب، همچنان سطح ايمني در حاشية رودخانه‌هاي بزرگ راضي‌كننده نيست و اين وضعيت نيازمند اجراي روش‌هاي غيرسازه‌اي مانند تاسيس مراكز سيستم هشدار سيل و استفاده از سيستم‌هاي اطلاعاتي جديد است كه پهنه‌بندي سيل با استفاده از GIS نيز يكي از راهكارهاي غيرسازه‌اي و از ابزارهاي كارامد در مديريت و كاهش خطرهای سيل است. در واقع منظور از پهنه‌بندي سيل، تعيين پيشروي سيلاب، ارتفاع و خصوصيات آن در دوره بازگشت‌هاي مختلف است كه در نهايت مي‌توان از اين اطلاعات در تعيين كاربري اراضي، مطالعه و توجيه اقتصادي طرح‌هاي عمراني، شناسايي حق بيمه سيل در منطقه و ايجاد محدوديت‌هاي اجباري در مناطق خطرپذير استفاده كرد (٤).

ليانگ و موهانتي (١٩٩٨)، درمنطقه ماهانداي اوراسياي هندوستان، با استفاده از سيستم اطلاعات جغرافيايي، اقدام به پهنه‌بندي سيل كرده و مديريت سيل براساس اين نوع پهنه‌بندي را روش غيرسازه‌اي مفيد در كنترل سيل معرفي كردند (١٠). تيت (١٩٩٩)، در مركز تحقيقات منابع آب دانشگاه تكزاس، اقدام به انجام تحقيقي براى تلفيق نرم‌افزارهاي HEC-RAS و ArcView و بررسی حريم بستر رودخانه وادركريك در شهر آستين آمريكا كردند و در نهايت نتيجه گرفتند كه اين روش قابليت بسيار زيادي در بررسي هيدروليكي سازه‌هاي كنترل سيل در طول رودخانه دارد (١١). هيل (٢٠٠١)، در مقاله‌اي قابليت‌هاي مدل كامپيوتري HEC-GeoRAS را در پهنه‌بندي خطر سيل و مزاياي لينك شدن نرم‌افزارهاي ArcView G IS و HEC-RAS را بيان كرد (٨). تري بير (٢٠٠٢)، در مقاله‌اي با نام كاربرد ابزارهاي GIS اي در مدلسازي هيدروليكي، عنوان كرد كه يكي از مهم‌ترين مزاياي استفاده از HEC-GeoRAS، افزايش دقت و صرفه‌جويي در هزينه‌هاي مهندسي رودخانه، بويژه در حوزه‌هاي بزرگ و اعمال بهترين روش مديريتي در منطقه است (١٢). حسين‌زاده (١٣٨٣)، در پايان‌نامه خود با استفاده از HEC-GeoRAS، به پهنه‌بندي سيل رودخانه لاين‌سو پرداخت و نتيجه گرفت كه تلفيق سيستم‌هاي اطلاعات جغرافيايي و مدل HEC-RAS مي‌تواند در مديريت مناطق سيل‌گير، بسيار كارا و توانا باشد (٢).

در اين مقاله اهدافي مانند ارائه جديدترين روش پهنه‌بندي سيل، تهيه نقشه‌هاي مساحت، عمق و سرعت سيل در دوره‌هاي بازگشت مختلف، ارزيابي خسارت وارد بر شاليزارهاي منطقه در دوره‌هاي موردنظر و ارائه راهكارهاي مديريتي براى كاهش خسارات در منطقه دنبال می‌شود.

مواد و روش‌ها

موقعيت منطقه مورد بررسی

رودخانه بابلرود از رودخانه‌هاي اصلي حوزه آبريز درياي مازندران است كه از شمال به درياي مازندران، از شرق به حوزة رودخانة طالار، از جنوب به دامنه شمالي سلسله جبال البرز (قله دماوند) و از غرب به حوزه آبريز رودخانه هراز محدود مي‌شود (١). منطقه مورد بررسی در اين رودخانه در بازه‌اي به طول تقريبي ٥/٥ كيلومتر در حد فاصله روستاهاي انارستان و شوب محله (بابل) به طوري واقع شده كه محل تلاقي رودخانة بابلرود و سجادرود نيز در منطقه طرح قرار گرفته است. حدود رودخانه مورد بررسی تقريباً ٣ كيلومتر بالاتر و ٢/٥ كيلومتر پايين‌تر از محل تلاقي رودخانه‌هاي بابلرود و سجادرود، در عرض جغرافيايي ٣٦ درجه و ٢٣ دقيقه تا ٣٦ درجه و ٣٠ دقيقه شمالي و طول ٥٢ درجه و ٤٠ دقيقه تا ٥٢ درجه و ٤٤ دقيقه شرقي است. در اين منطقه به‌دليل عريض و مسطح بودن بستر و دشت سيلابي رودخانه و كيفيت و كميت خوب محصول برنج، كشاورزان محل بشدت به كشت اين محصول روي آورده و اراضي حاشيه رودخانه به كلی به كشت برنج اختصاص يافته است.

روش محاسبه پروفيل سطح آب در نرم‌افزار HEC-RAS

در اين مدل پروفيل سطح آب به روش گام به گام استاندارد، با استفاده از معادلة انرژي شبيه‌سازي مي‌شود.

اساس اين روش بر مبناي محاسباتي است كه از يكـي از دو انتهاي بازه شروع مي‌شود و محاسـبات از يـك مقطـع بـه مقطع بعدي به‌صورت گام به گام ادامـه مـي‌يابـد (٣) كـه معادلة انرژي به‌صورت رابطه ١ است (٧):

رابطه ١

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + He + Hf$$

در اين معادله:

Y_2 وY_1 = ارتفاع آب درمقاطع عرضي،

Z_1 و Z_2 = ارتفاع كف كانال اصلي ازسطح مبنا،

α_1, α_2= ضرايب ارتفاعي،

V_2و V_1 = سرعت جريان در مقاطع ١ و٢ ،

g = شتاب ثقل

He = افت هد انرژي (افت موضعي) و

H_f = افت طولي است.

روش تحقيق

HEC-GeoRAS يكي از ضـمايم[1] ArcView GIS است كه براى پردازش داده‌هاي زمينـي در سيسـتم تحليـل رودخانه (HEC-RAS) طراحي شده و به كـاربران امكـان تهيـه لايـه‌هـاي ورودي بـه HEC-RAS در محـيط ArcView GIS را مي‌دهد. اين لايـه‌هـا شـامل اطلاعـات استخراج‌شده از لاية TIN (شبكه نـامنظم مثلثـي)، ماننـد مشخصات رودخانه، بازه‌ها، خطوط مقاطع عرضي و طول بازة پايين‌دست براي ساحل چپ، كانال اصـلي و سـاحل راسـت (٩). بنابراين اولين گام در بررسى سيلابدشت هـر رودخانـه، تهيـه نقشـه رقـومي‌منطقـه بـا مقيـاس مناسـب، جهـت شبيه‌سازي رودخانه، و اراضي اطراف است كه بدين منظور٦ برگ نقشه ١/١٠٠٠ رقومي‌پلان رودخانه تهيـه و در محـيط اتوكد اقدام به تصحيح و انجام اصـلاحات لازم بـر روي آنهـا شده، سپس اين نقشه‌ها در محيط ArcView باز و نقشـه TIN رودخانة مورد نظر تهيه شد. دومين گام، شبيه‌سـازي هندسي رودخانه توسط الحاقيه HEC-GeoRAS و ايجاد لايه‌هاي RAS در محيط ArcVeiw است. كه اين لايه‌هـا به ترتيب عبارتنـد از: خـط مركـزي جريـان سـواحل كانـال اصلي، خطوط تمركز سيلراه، خطوط برش مقاطع عرضي كه با ترسيم خطوط از ساحل چپ به ساحل راست و عمود بـر جهت جريان تعيين مي‌شوند. با رسم اين خطـوط موقعيـت، وضعيت و پهناي مقـاطع عرضـي از TIN زمـين اسـتخراج شده و در اين لايه معرفي و ذخيره مي‌شود. گام سوم در اين پروژه، انتقال اطلاعات توليدشده در محيط GIS، بـه بسـتة نرم‌افزاري HEC-RAS توسط يك فايـل متنـي بـا فرمـت (ASCII) است. گام چهارم، باز كردن و تكميل مشخصـات هندسي رودخانـه در محـيط HEC-RAS اسـت. در ايـن مرحلـه مشخصـات هيـدروليكي و هيـدرولوژيكي جريـان رودخانه مانند سازه‌هاي متقاطع مسير، ضرايب افـت انـرژي، شرايط مرزي محدودة مورد بررسى، نوع رژيم جريـان، دبـي رودخانه با دوره‌هـاي بازگشـت مختلـف و ضـرايب مانينـگ (درصـورتي‌كـه پيشـتر وارد نشـده باشـد) بـه مـدل هيدروليكيHEC-RAS وارد مي‌شود كه بدين منظور بعـد از جمـع‌آوري داده‌هـاي مربـوط بـه دبـي حـداكثر روزانـه و لحظه‌اي در سه ايستگاه بابل (پايين‌دسـت بـازه بـابلرود٢)، قران‌طالار (بالادست بازه بـابلرود١) و كشـتارگاه (بالادسـت بازه سجادرود)، كه در فاصله مناسبي از بـازه قـرار دارد و در شكل١با توجه به جهت جريان، موقعيت آنها قابل تشـخيص است، با انتخاب ٣٠ سـال دوره آمـاري مشـترك، اقـدام بـه كنترل، تصحيح و بازسازي داده‌ها شد. سپس همگني داده‌ها از روش ران تست مورد آزمايش قرار گرفته (٦) و در مرحله بعد دبي حـداكثر لحظـه‌اي در دوره‌هـاي بازگشـت مختلـف تعيين شد، بدين ترتيـب كـه بعـد از وارد كـردن دبـي‌هـاي حداكثر لحظه‌اي به نرم‌افزار اسـمادا[2]، بـا مقايسـه داده‌هـاي مشاهده‌اي و پيش‌بيني‌شده، بهترين توزيع آمـاري بـه روش مقايسه‌اي و گرافيكي تعيين و در نهايت ٧ دوره بازگشت ٢، ٥،١٠، ٢٥،٥٠، ١٠٠ و ٢٠٠ ساله به مدل معرفي شد.

بـراى تعيـين ضـريب مانينـگ كـه يكـي از مهـم‌تـرين شاخص‌هاي هيدروليكي دركانال‌ها و رودخانه‌هاست و نقش

١- Extentions

٢- SMADA

مؤثري در تراز آب و سرعت جريان در هر مقطع دارد (۷)، كل منطقه به ۱۰ بازه به فواصل ۵۰۰ متري تقسيم شد و در هر بازه مشخصات آبراهه اصلي و سيلابدشت‌هاي سواحل راست و چپ مشاهده يادداشت شد. سپس با استفاده از جدول و روش كاون (۷)، در هر بازه سه ضريب زبري متفاوت براي بستر رودخانه، ساحل راست و چپ تعيين و در نهايت ضرايب مربوط به تنگ و گشادشدگي كانال نيز بر اساس جداول مربوط به مدل معرفي شد.

گام پنجم انتقال نتايج نرم‌افزار HEC-RAS در قالب فايل متني (ASCII) به سيستم ArcVeiw و نمايش پهنه‌هاي سيلاب با دوره‌هاي بازگشت مختلف در اين محيط است. در نهايت محيط ArcVeiw امكان نمايش نتايج نهايي مانند سطح آب‌گرفتگي به ازاي دوره‌هاي بازگشت مختلف، ارتفاع، عمق و سرعت آب در هر نقطه از دشت سيلابي را فراهم مي‌سازد. در مرحله پاياني اين تحقيق نيز، خسارت وارد به شاليزارهاي منطقه در ۷ دوره بازگشت محاسبه شد.

براى برآورد خسارت سيل در هر دوره بازگشت ابتدا اقدام به تعيين تراز سيل و سطح سيل‌گيري در آن دوره بازگشت شد. بدين منظور پس از تهيه نقشه وسعت، عمق و سرعت سيل در هر دوره بازگشت، عمق و سرعت ميانگين آب، به‌عنوان متوسط عمق و سرعت سيل در هر پهنه از دشت سيلابي در نظر گرفته شده و وسعت اراضي سيل‌گير با كم كردن مساحت كانال اصلي رودخانه از آن مشخص شد.

نتايج

ايجاد **TIN** و لايه‌هاي ورودي به **RAS**

لاية TIN در واقع مبناي استخراج خطوط تراز و لايه‌هاي مورد نيازRAS است و در واقع هرچه رقوم ارتفاعي به‌دست آمده رودخانه دقيق‌تر باشد، مدل سه‌بعدي حاصل، بيشتر به واقعيت نزديك خواهد بود. در اين تحقيق، به‌دليل استفاده از نقشه‌هاي ۱/۱۰۰۰ و استفاده از GPS در بازديدهاي به‌عمل آمده، همچنين انطباق و انداختن نقشه‌هاي موجود بر روي تصوير ماهواره‌اي ETM منطقه، مشخص شد كه TIN به‌دست آمده از نقشه‌هاي رقومي، قادر است بستر و دشت‌هاي سيلابي اطراف رودخانه را (به عرض متوسط ٤٠٠متر)، به‌خوبي شبيه‌سازي كند و مرجع مناسبي براى انجام تحقيقات و ايجاد لايه‌هاي بعدي است. با ايجاد TIN رودخانه لايه‌هاي مختلف (لاية كناره‌هاي راست و چپ، لايه خط مركزي جريان، لايه سيلراه مركزي، راست وچپ، لايه مقاطع عرضي)، رقومي‌شده (شكل۵) و با انجام يك‌سري مراحل خاص، طول، عرض، ارتفاع، موقعيت و اطلاعات مورد نياز هر يك، از TIN زمين استخراج شد.

تعيين ضريب مانينگ و دبي با دوره‌هاي بازگشت مختلف

بعد از تصحيح و آماده‌سازي دبي‌هاي حداكثر لحظه‌اي سالانه، در ايستگاه‌هاي مورد نظر، براى تعيين دبي با دوره‌هاي بازگشت مختلف از بين توزيع‌هاي آماري مختلف، توزيع لوگ پيرسون تيپ III براي هر سه ايستگاه بابل (پايين‌دست بابلرود)، قران‌طالار (بالادست بابلرود) و كشتارگاه (سجادرود) با استفاده از نرم‌افزار اسمادا به‌عنوان مناسب‌ترين توزيع انتخاب و دبي با دوره‌هاي بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰و۲۰۰ ساله به‌صورت جدول ۱ تعيين شد.

جدول ١- دبي با دوره‌هاي بازگشت مختلف در سه ايستگاه مورد نظر (متر مكعب بر ثانيه)

رديف	ايستگاه‌هاي مورد بررسي	دوره بازگشت						
		٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	٢٠٠
١	بابل	٢٧٧	٤٠٨/٩٨	٤٩٨/٢٥	٦١٢/٠١	٦٩٧/١١	٧٨٢/٣٥	٨٦٨/٢١
٢	قران طالار	٩٦/٣٥	١٨١/٣٣	٢٨١/٣٠	٤٩٢/٨٥	٧٤٧/٨٩	١٣١١/٦٩	١٧١٠/٤٩
٣	كشتارگاه	٤٨/٢١	٩٩/٥٦	١٤٨/٤٠	٢٣٠/٦١	٣٠٩/١٦	٤٠٤/٧٥	٥٢٠/٤١

نتايج حاصل از تعيين ضريب مانينگ به روش كاون براي ١٠ بازه در نظر گرفته شده و در سه بخش كانال اصلي و كناره‌هاي راست و چپ به صورت جدول ٢ است.

جدول ٢- برآورد ضريب مانينگ در ده بازه مختلف از رودخانه

شماره بازه	شماره مقاطع هر بازه	ساحل راست	كانال اصلي	ساحل چپ
١	١-٧	٠/٠٩٤	٠/٠٤٨	٠/١٠٥
٢	٨-١٦	٠/١١	٠/٠٥٨	٠/٠٦٥
٣	١٧-٢٦	٠/٠٨٦	٠/٠٥١	٠/٠٧٤
٤	٢٧-٣٨	٠/١٠٣٥	٠/٠٧٩	٠/٠٧
٥	٣٩-٥١	٠/٠٧	٠/٠٦٩	٠/٠٧
٦	٥٢-٥٨	٠/٠٦٥	٠/٠٤٩	٠/٠٦٥
٧	٥٩-٦٤	٠/٠٧٤	٠/٠٥٤	٠/٠٧٤
٨	٦٥-٧٤	٠/٠٦٥	٠/٠٥	٠/٠٦٥
٩	٧٥-٧٩	٠/٠٨٥	٠/٠٦٣	٠/١٣
١٠	٨٠-١٠٣	٠/٠٩٧	٠/٠٧٨	٠/٠١٥

نتايج حاصل از شبيه‌سازي در **HEC-RAS**

با اجراي مراحل ذكر شده اين مدل قادر خواهد بود كه در هر مقطع، بسياري از خصوصيات از جمله رقوم سطح آب به ازاي دبي در دوره‌هاي بازگشت مختلف، پروفيل طولي سطح آب در هر بازه، نحوه توزيع سرعت آب، منحني سنجه دبي، عمق بحراني آب، سطح و محيط خيس شده، شعاع هيدروليكي، عمق ميانگين، عدد فرود و نوع رژيم جريان در مقاطع مختلف را استخراج نمايد (١٣). در مطالعات پهنه‌بندي سيلاب معمولاً تعيين حريم و بستر رودخانه با دوره بازگشت ٢٥ ساله مورد نظر مي‌باشد (٤) اما همان‌گونه كه قبلاً عنوان گرديد، به دليل شرايط استثنايي منطقه، اين رودخانه در دوره بازگشت ٢ ساله نيز باعث ايجاد خسارتي مي‌گردد. بنابراين جهت پهنه‌بندي سيل در اين رودخانه ٧ دوره بازگشت مورد بررسي قرار گرفت (شكل ٦).

نتايج حاصل از نمايش سطح، عمق و سرعت در **ArcView**

مساحت آب‌گرفتگي

نتايج نشان داد كه با توجه به وارد نمودن دبي‌هاي جداگانه براي هر بازه و توانايي نرم‌افزار HEC-RAS در

محاسبه پروفيل سطح آب به روش گام به گام در محل پيوستگي بازه‌های همسطح آب، به‌درستي شبيه‌سازي‌شده است. طبيعي است که هر چه دبي سيلاب بزرگ‌تر باشد، سطح بيشتري به زير آب خواهد رفت، ولي آنچه مهم است، نسبت و ميزان اين تغييرات در اراضي با ارزش حاشيه است، چراکه اين اطلاعات مي‌توانند در برنامه‌ريزي‌هاي مديريتي اراضي حاشية رودخانه بسيار مفيد و راه‌گشا واقع شوند. در شکل۷، محدوده سيل‌گيري دو سيل ۲ و ۲۰۰ ساله، نشان داده شده است.

عمق و سرعت آب

از ديگر نتايجي که از اين روش پهنه‌بندي حاصل مي‌شود، لايه‌هاي اطلاعاتي مربوط به عمق و سرعت براي هر سلول از منطقة مورد نظر است. اندازة سلول‌هايي که محاسبات در هر کدام آنها به‌طور مجزا صورت مي‌گيرد، توسط کاربر قابل تعريف است که در اين طرح ابعاد اين سلول‌ها يک متر درنظر گرفته شده است و در نهايت هم به‌صورت لاية نقطه‌اي و هم لاية TIN در هر نقطه از پهنة سيلاب، سرعت آب در نرم‌افزارهاي GIS قابل نمايش و تحليل است (شکل ۸).

نتايج حاصل از ارزيابي خسارت

همان‌گونه که جدول۳ نشان می‌دهد، از مساحت ۲٤۷/۸۳٤ هکتاري کل منطقه، ۱۷۰/۵۷۳ هکتار آن به کشت برنج اختصاص دارد که با ناچيز فرض کردن خسارت وارد به ساير قسمت‌ها، خسارت وارد بر شاليزارهاي منطقه بدين ترتيب محاسبه شد: با استناد به اظهارات شاليکاران محل، به‌طور متوسط درآمد حاصل از کشت برنج طارم در هر هکتار ۱۲ ميليون ريال و هزينه لايروبي بعد از وقوع سيل در هر هکتار ۱/۲ ميليون ريال است که با فرض وارد آمدن۷۰درصد خسارت (به طور متوسط) (۱) و در نظر گرفتن دو برابر خسارت مستقيم به‌عنوان خسارت غير مستقيم (۵)، نتايج زير به‌دست آمد، (جدول٤).

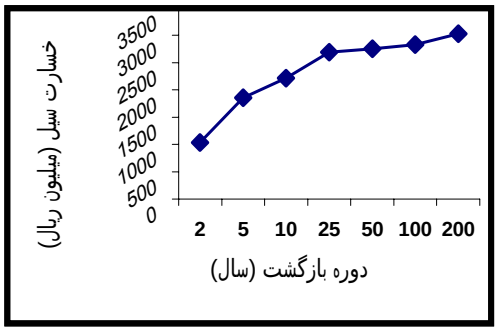
جدول ۳- مساحت کاربري‌هاي مختلف در منطقه بر حسب هکتار

نوع کاربري	ديپوي شن و ماسه	محل خاکبرداري	زمين فوتبال	بستر اصلي رودخانه	مناطق درختکاري	شاليزار
مساحت (هکتار)	۲/٤۵۷	۷/۱۹	۲/۵٤۰	۵٦/۳۸۳	٤/۹٤۱	۱۷۰/۵۷۳

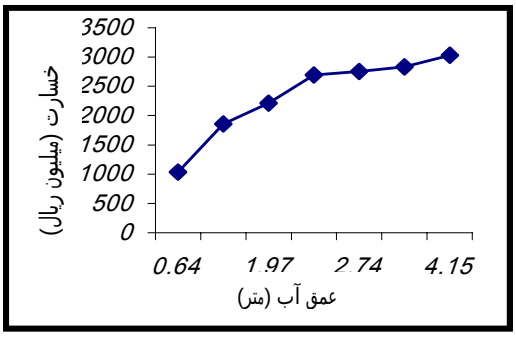
جدول ٤- مقدار خسارت مستقيم و کل وارد برمنطقه در دوره‌هاي بازگشت مختلف (خسارت وارده به شاليزار + هزينه لايروبي)

دوره بازگشت (سال)	فرکانس سيل‌گيري	وسعت پهنه سيل‌گير (هکتار)	عمق متوسط آب (m)	سرعت متوسط سيل (m/S)	خسارات مستقيم (ميليون ريال)	خسارات کل (ميليون ريال)	خسارت متوسط سالیانه (ميليون ريال)
۲	۰/۵	۳۷/۲٤	۰/٦٤	۰/٦۵	۳٤٤/۰۷	۱۰۳۲/۲۲	۵۱٦/۱٦
۵	۰/۲	٦۷/۰۲	۱/۳	۰/۷۷	٦۱۸/۸٤	۱۸۵٦/۵۳	۳۷۱/۳
۱۰	۰/۱	۷۹/۸۲	۱/۹۷	۰/۸۵	۷۳۷/۵٤	۲۲۱۲/٦۱	۲۲۱/۲
۲۵	۰/۰٤	۹۷/۳۲	۲/۲۸	۰/۹۹	۸۹۸/۵.	۲٦۹۵/۵	۱۰۷/۸
۵۰	۰/۰۲	۹۹/٤۱	۲/۷٤	۱/۱	۹۱۸/۵۵	۲۷۵۵/٦۵	۵۵/۱
۱۰۰	۰/۰۱	۱۰۲/۱۹	۳/۳۵	۱/۲۲	۹٤٤/۲۵	۲۸۳۲/۷٤	۲۸/۳
۲۰۰	۰/۰۰۵	۱۰۸/۷۰	۳/۹۸	۱/۳۳	۱۰۰٤/٤۲	۳۰۳۱/۲۷	۱۵/۱۵

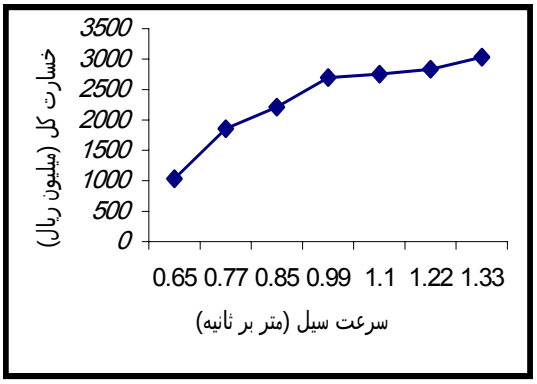
بـا اسـتفاده از جـداول مـذكور مـي‌تـوان منحنـي‌هـاي تـراز- خسـارت را ترسـيم كـرد كـه بـه‌صـورت اشـكال ١ الي ۴ ارائه شده است.



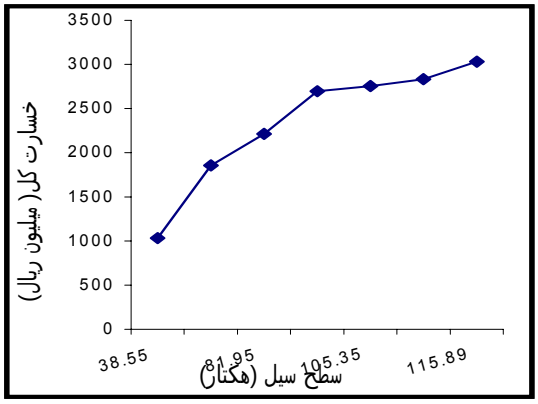
شكل ١- رابطه دوره بازگشت و خسارت كل سيل



شكل ٢- رابطه عمق آب و خسارت كل سيل



شكل ٣- رابطه سطح سيل‌گيري و خسارت كل



شكل ۴- رابطه سرعت سيل و خسارت كل

بحث

با توجه به نقشه‌هاي پهنه‌بنـدي دشـت سـيلابي بـابلرود، مشخص شد كه در اين رودخانـه رونـد افـزايش خسـارت و سطح سيل‌گيري در دوره‌هاي بازگشت ٢ تا ٢٥ سال نسبت به دوره‌هاي بازگشت ٢٥ تا ٢٠٠ ساله، داراي سير صـعودي سريع‌تري بوده و بخش عمده‌اي از خسـارت بـه پهنـه‌هـاي دشت سيلابي زير ٢٥ سال وارد شده است، به‌طـوري‌كـه از كل مساحت تحت تاثير سيل ٢٠٠ ساله، ٨٩/٥٣ درصـد آن مستعد سيل‌گيري توسط سـيل‌هـاي زيـر ٢٥ سـال اسـت (جدول٤)، كه دليل اصـلي آن محـدود بـودن پهنـه سـيل ٢٥ساله به يك تراس ٢-١ متري اسـت كـه موجـب ايجـاد تغييرات محسـوس در مسـاحت، عمـق و سـرعت سـيل در دوره‌هاي بازگشت بالا و پايين ٢٥ سال شده است.

جدول ٥- درصد مساحت سيل‌گيري براي دوره‌هاي بازگشت مختلف نسبت به مساحت سيل ٢٠٠ ساله

دوره بازگشت	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	٢٠٠
درصد مساحت تجمعي	٣٤/٢٦	٦١/٦٥	٧٣/٤٣	٨٩/٥٣	٩١/٤٥	٩٤/٠١	١٠٠
درصد مساحت جزيي	٣٤/٢٦	٢٧/٣٩	١١/٧٨	١٦/١٠	١/٨٤	٢/٥٦	٥/٩٩

همچنين از كل خسارت ناشي از سيل ٢٠٠ ساله نيز ٨٨/٩٢ درصد آن ناشي از سيل‌هاي زير ٢٥ سال است، (جدول٥) كه دليل اصلي آن تمركز زياد فعاليت‌هاي اقتصادي (شاليزارها) در محدوده سيل‌هاي زير ٢٥ سال است، به‌طوري‌كه كشاورزان منطقه به‌دليل كيفيت و كميت خوب برنج و وجود دشت‌هاي سيلابي وسيع در اطراف بستر فصول خشك رودخانه با پذيرفتن خطرهای موجود تا نزديكي بستر رودخانه پيشروي كرده و موجب افزايش احتمال خسارات شده‌اند.

جدول ۶- درصد خسارت تجمعي سيل‌گيري براي دوره‌هاي بازگشت مختلف نسبت به خسارت كل سيل ٢٠٠ ساله

دوره بازگشت	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	٢٠٠
درصد مساحت جزيي	٣٤/٠٥	٢٧/٢٠	١١/٧٣	١٥/٩٤	١/٩٩	٢/٥٤	٦/٥٥
درصد مساحت تجمعي	٣٤/٠٥	٦١/٢٥	٧٢/٩٨	٨٨/٩٢	٩٠/٩١	٩٣/٤٥	١٠٠

با توجه به نقشه‌هاي عمق سيل‌گيري دشت سيلابي بابلرود، مشخص شد كه در اين رودخانه روند افزايش عمق سيل‌گيري در دوره‌هاي بازگشت مختلف با وجود تغييرات ذكر شده، به‌نسبت يكنواخت‌تر است، به طوري‌كه از كل عمق متوسط سيل‌گيري در دوره بازگشت ٢٠٠ سال، ٥٧/٢٩ درصد آن متعلق به دوره‌هاي بازگشت زير ٢٥ سال است (جدول٦).

جدول ٧- درصد تجمعي و جزيي عمق متوسط سيل‌گيري نسبت به عمق متوسط ٢٠٠ ساله

دوره بازگشت	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	٢٠٠
درصد جزيي عمق متوسط	١٦/٠٨	١٦/٥٨	١٦/٨٣	٧/٧٩	١١/٥٦	١٥/٣٣	١٥/٨٣
درصد تجمعي عمق متوسط	١٦/٠٨	٣٢/٦٦	٤٩/٠٥	٥٧/٢٩	٦٨/٨٤	٨٤/١٧	١٠٠

براى مقايسه سرعت‌ها نيز، با توجه به جدول ٣ و نقشه‌هاي سرعت سيل به‌دست آمده، باز هم سرعت‌هاي متوسط مبناي مقايسه قرار گرفتند، چرا كه سرعت‌هاي حداقل و حداكثر، با توجه به مورفولوژي رودخانه در دوره‌هاي بازگشت مختلف تغييرات كمي را نشان دادند و مبناي مناسبي براى مقايسه وضعيت كل منطقه در دبي‌هاي مختلف نيستند. نتايج به‌دست آمده از نقشه‌هاي سرعت سيل نيز نشان مي‌دهند كه از كل سرعت متوسط سيل ٢٠٠ ساله، به طور تقريب ٥٠ درصد آن مربوط به دوره بازگشت ٢ ساله است و از اين دوره بازگشت به بعد سرعت سيل بشدت كاهش مي‌يابد كه دليل اصلي آن افزايش پوشش گياهي و ناهمواري زمين و در نتيجه افزايش ضريب زبري مانينگ است كه اين عوامل همراه با كاهش پايداري اراضي به‌دليل انجام عمليات كشاورزي موجب افزايش احتمال فرسايش كناري و تغيير مورفولوژي اين رودخانه شده است (جدول٧).

جدول ٨- درصد تجمعي و جزيي سرعت متوسط سيل نسبت به سرعت متوسط سيل ٢٠٠ ساله

دوره بازگشت	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	٢٠٠
درصد جزيي سرعت متوسط	٤٨/٨٧	٩/٠٢	٦/٠٢	١٠/٥٣	٨/٢٧	٩/٠٢	٨/٢٧
درصد تجمعي سرعت متوسط	٤٨/٨٧	٥٧/٨٩	٦٣/٩١	٧٤/٤٤	٨٢/٧١	٩١/٧٣	١٠٠

با توجه به نقشه‌هاي سرعت سيل، حداكثرهاي سرعت سيل در نزديكي محل تلاقي (به‌دليل افزايش دبي)، پيچ‌هاي رودخانه و در محل ايجاد تغييرات ناگهاني در عرض رودخانه ايجاد شده و در كل سرعت سيل به‌دليل بيشتر بودن دبي آب در بازه‌هاي بابلرود١ و٢ بيشتر از بازه سجادرود است.

با توجه به نمودار خسارت و سطح سيل‌گيري، مي‌توان مشاهده كرد كه بعد از دوره بازگشت ٢٥ سال، خسارت سيل به‌طور چشمگيرى كاهش مي‌يابد كه بنابر مطالب مذكور مي‌توان نتيجه گرفت كه تمركز بخش عمده‌اي از سرمايه در پهنه دشت سيلابي زير ٢٥ سال، در جايي كه از نظر قانوني جزيي از حريم رودخانه به‌شمار مي‌رود، نشان از كاربري غيراصولي اراضي در اين منطقه دارد و لازم است كه با وضع قوانين و اجراي مقررات عمران دشت‌هاي سيلابي كه يكي از مكانيسم‌هاي مستقيم كنترل كاربري اراضي در اين مناطق است، كاربري نادرست اراضي اطراف رودخانه به كاربري مجاز آن تبديل شود.

رابطه ترازـ خسارت سيل نشان مي‌دهد كه روند افزايش خسارت در مقابل عمق سيل‌گيري تا عمق متوسط ٢/٢٨متري از شدت به‌نسبت بيشتري برخوردار است، ولي براي اعماق متوسط بيشتر از ٢/٢٨ متري، اين روند كاهش مي‌يابد. يادآوري مي‌شود كه عمق ميانگين سيل‌گيري ٢/٢٨ متر، مربوط به سيل با دوره بازگشت ٢٥ ساله است. بنابراين بهترين مديريت و اقدام حفاظتي در اين منطقه، انتقال سرمايه و شاليزارهاي محل به پشت تراز سيل ٢٥ ساله و حداقل اقدام حفاظتي جلوگيري از كشت در پهنه سيل ٢ ساله است كه با انجام اين اقدام‌ها به ترتيب ٨٨ و ٣٤ درصد از خسارات ناشي از سيل كاهش يافته و فقط در صورتي ادامه وضعيت فعلي قابل توجيه است كه با ارزيابي هزينه‌ها معلوم شود منافع ناشي از شاليكاري در اين مناطق بيشتر از هزينه‌هاي سرمايه‌گذاري براى اجراي طرح‌هاي مهار سيل و منافع مربوط به ملاحظات زيست‌محيطي است.

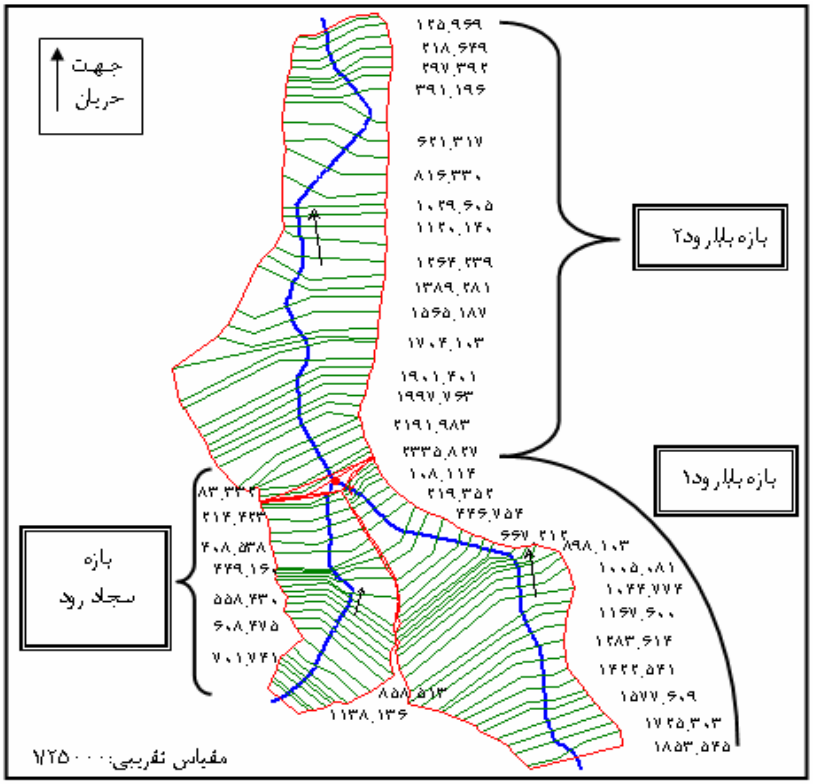
به‌طور كلي با توجه به جداول و نمودارهاي سطح، عمق و سرعت آب و مطالب مذكور، مي‌توان گفت كه اراضي حد فاصل رودخانه‌هاي سجادرود و بابلرود (بويژه در نزديكي‌هاي محل تلاقي)، بشدت سيل‌گير بوده و با افزايش دوره بازگشت سيل، افزايش سطح سيل‌گيري اين ناحيه نسبت به ساير نواحي محسوس‌تر است كه مهم‌ترين دلايل آن ارتفاع كم ناحيه، دبي قابل توجه بازه بابلرود١ و بويژه محدود بودن ساحل راست رودخانه بابلرود (قبل از تلاقي) به ديواره‌هاي بلند است كه موجب تمايل پهنه‌هاي سيل اين ناحيه به ساحل چپ رودخانه شده است. بنابراين با توجه به نتايج حاصل از تعيين حداكثر عمق، سرعت و ارزش زياد زمين در اين مناطق، مي‌توان بر اولويت انجام طرح‌هاي مهار سيل يا محدودسازي ساحل چپ بازه بابلرود١، تاكيد داشت.

براساس مطالب عنوان‌شده مي‌توان نتيجه گرفت كه نقشه‌هاي سطح، عمق و سرعت سيل به‌دست آمده از شبيه‌سازي هيدرولوژيكي و ژئومورفولوژيكي منطقه، مي‌توانند ضمن شناساندن مناطق مستعد فرسايش و سيل‌گيري، به‌عنوان وسيله‌اي قانوني در كنترل و مديريت كاربري اراضي و برنامه‌ريزي‌هاي توسعه و حفاظت محيط زيست، مورد استفاده قرارگيرند، همچنان كه لينگ و موهانتي (١٩٩٧) نيز بر نقش مثبت اين تحقيقات در ارائه الگوهاي مديريتي كنترل سيل تاكيد داشته‌اند.

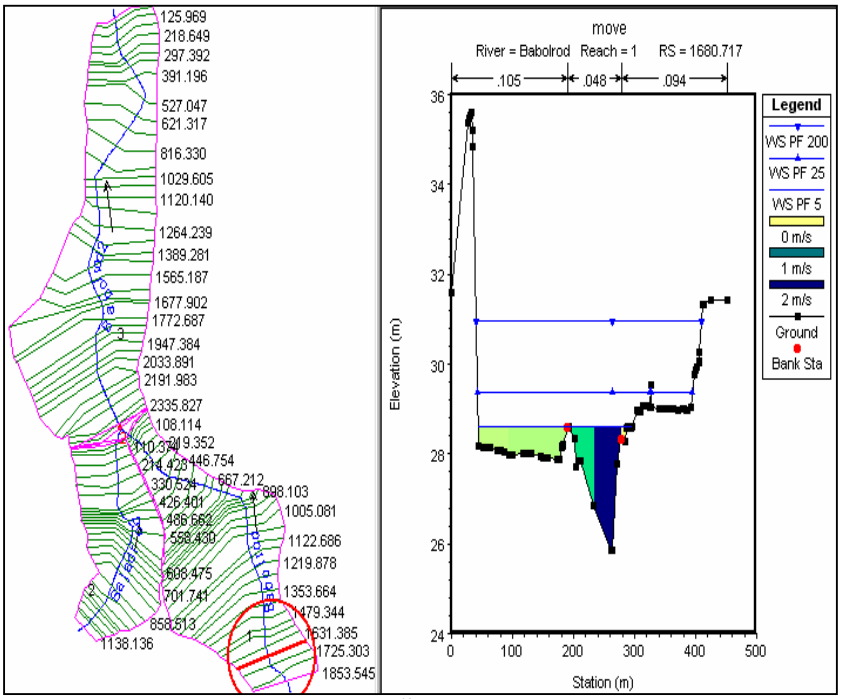
نتايج حاصل از اين تحقيق نشان داد كه به‌طور كلي كاربري نامناسب اراضي و پيشروي بي‌رويه در امتداد و حريم رودخانه و همچنين محدودسازي كانال رودخانه، مي‌تواند به افزايش دبي پيك سيلاب‌ها و در نتيجه افزايش عمق و سطح پهنه‌هاي سيل‌گير منجر شود كه از اين‌لحاظ با نتايج نووتني و همكاران (٢٠٠٠) و آلاميلا (٢٠٠١) مشابهت دارد.

نتايج به‌دست آمده از نقشه‌هاي سطح، عمق و سرعت سيل نيز نشان‌دهنده توانايي زياد مدل در تلفيق GIS و سيستم تحليل رودخانه، افزايش دقت و سرعت و كاهش هزينه‌هاي تحقيقاتي طرح‌هاي ساماندهي رودخانه است كه با همخواني نتايج اين تحقيق با نتايج هيل (٢٠٠١) ، تري بير (٢٠٠٢) و حسين زاده (١٣٨٣)، مي‌توان بر مزاياي استفاده از HEC-GeoRAS در افزايش دقت و

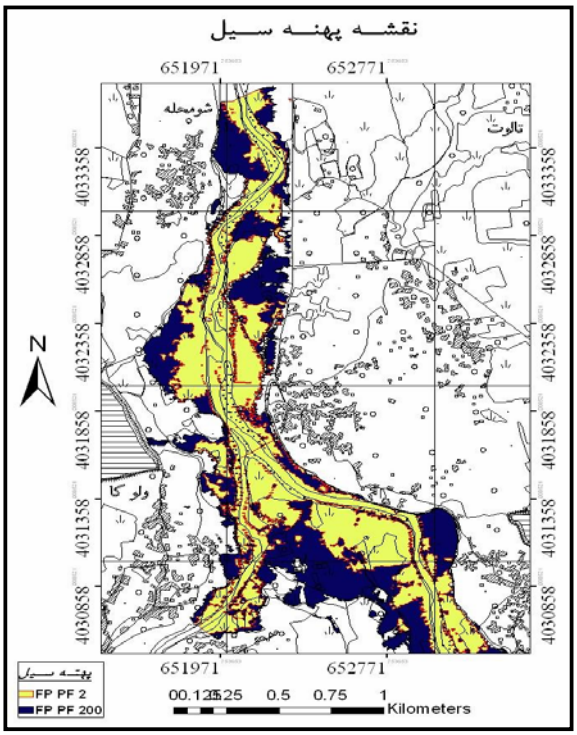
صرفه‌جـويي در هزينـه‌هـاي مهندسـي رودخانـه، بـويژه در حوزه‌هاي بزرگ، تاييد داشت.



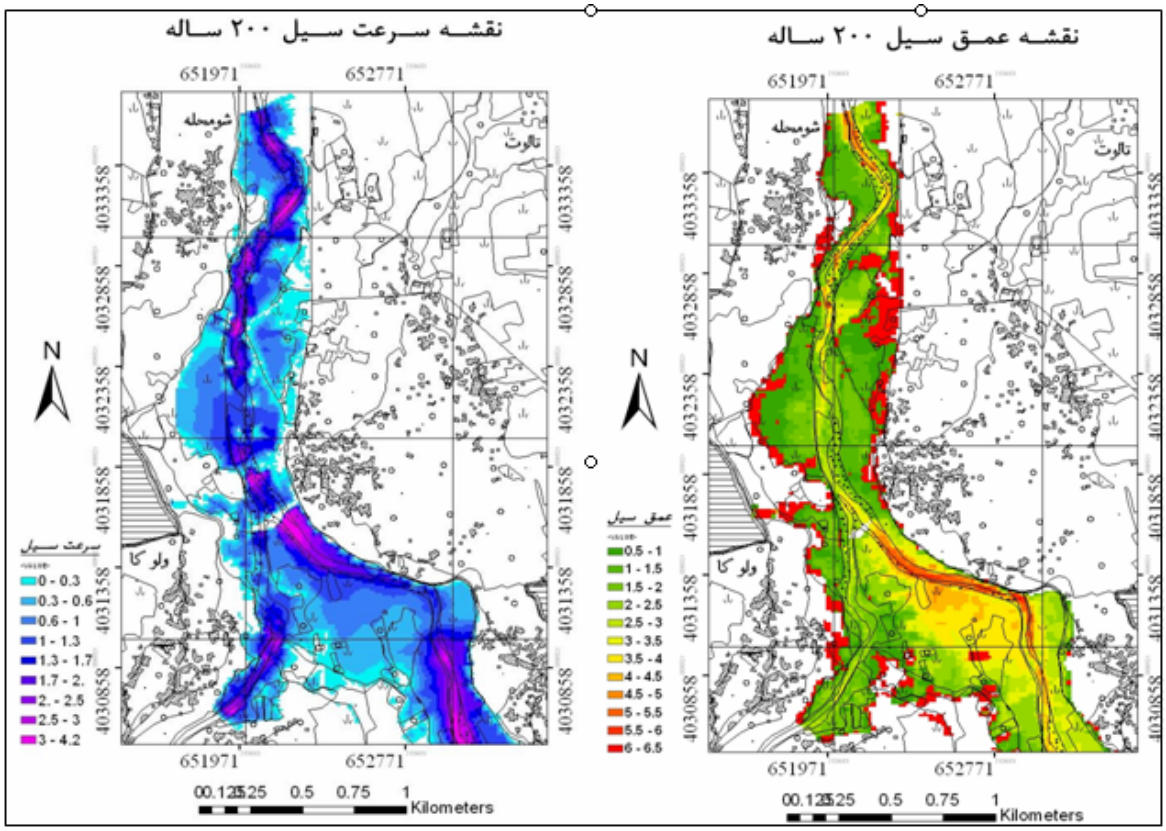
شكل ۵- نتايج حاصل از شبيه‌سازي كناره، خط مركزي جريان و مقاطع عرضي



شكل ۶- نمايش سرعت و پروفيل سطح آب در دوره‌هاي بازگشت ۵، ۲۵و ۲۰۰ سال (در فاصله ۱۶۳۱ متري از بازه بابلرود۱)



شکل ۷- نقشه پهنه‌هاي سیل‌گیر در دوره‌هاي بازگشت ۲ و ۲۰۰ سال



شکل ۸- نقشه عمق (**m**) و سرعت جریان (**m/s**) در هر نقطه از سیل ۲۰۰ ساله

منابع

١- آب منطقه‌اي استان مازندران، ١٣٧٩. گزارش مطالعات ميان دوره‌اي طرح توسعه منابع آب رودخانه‌هاي تالار، بابل،هراز، جلد سوم، مطالعات هيدرولوژيكي،٢٤صفحه.

٢- حسين زاده، علي،١٣٨٣،، پهنه‌بندي سيل با استفاده ازHEC-RAS در محيط سيستم اطلاعات جغرافيايي (رودخانه لاين‌سو)، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد گروه آبياري دانشكده علوم كشاورزي ساري، ١١٥صفحه.

٣ـ شريفي‌منش، حسين و منصور ابوالقاسمي، ١٣٧٨. راهنماي استفاده از نرم‌افزار HEC -RAS ، مركز تحقيقات آب، ١١٥ صفحه.

٤-كميته ملي آبياري و زهكشي ايران و كميته ملي كاهش اثرات بلاياي طبيعي، ١٣٧٩. راهنماي روشهاي غيرسازه‌اي مديريت سيلاب، نشريه شماره ٤٠.

٥- مخترع، ع. ١٣٧٨. تعيين خسارات سيل و انتخاب گزينه غيرسازه‌اي مناسب مهار سيلاب در مناطق شهري، پايان‌نامه كارشناسي ارشد، دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه صنعتي شريف، ١٥٢صفحه.

٦- مهدوي، م. ١٣٨٠. هيدرولوژي عمومي، انتشارات موسسه فرهنگي و انتشاراتي آيه، جلد اول، ٢٥٢ صفحه.

٧ـ نجمايي، م. ١٣٦٩. هيدرولوژي مهندسي. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ايران، جلد دوم، ص ٥٦٥-٤٩٥.

8-Hill, M.2001.FloodPlainDelineationUsingtheHEC-GeoRas Extension for ArcView. Brigham Young University. CeEn 514.Winter.

9-Hydrologi Engineering Center (2002)“HEC-GeoRAS , User”s Manual, Ver.3.1.1, Army Cropes of Engineers.

10-Liang, S., and C.R.C. Mohanty, 1997. Optimization of GIS-Based Flood Hazard Zoning-A Case Study at the Mahanady Command Area in Cuttack District, Orrisa, India. Journal of Chinese Soil and Water Conservation 28 (1), P. P.11-20.

11-Tate,E. C. 1998. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS. Masters Thesis.Department of Civil Engineering. University of Texas at Austin. 137.P.

12-Terry Barr,2002.Application of Tools for Hydraulic Power Point Presentation. Gotvand Hydroelectric Power Project Feasibility Study

13-U.S.Army Corps of Engineers.2002.HEC-RAS River Analysis System: User’s Manual Version 3.1. Hydrologic Engineering Center. Davis. CA. 285.P.

Flood Hazard Zoning and Damage Assessment Using HEC-GeoRAS (Case Study: Babolrood River)

G. Ghaffari[*1], K. Solaiani[2], A. Mosaedi[3]
[1] Instractor, College of Agriculture, Azad University of Sanandaj, I.R. Iran
[2] Associated Professor, Faculty of Natural Resources, University of Mazandaran, I.R. Iran
[3] Associated Professor, Agriculture & Natural Resources University of Gorgan, I.R. Iran
(Received 6 November 2004, Accepted 24 April 2006)

Abstract

In this research, the HEC-RAS model and its extension HEC-GeoRAS and their applications and capacities, as well as combination with the ArcView software, and introduced and flood zoning concerning the flood plain of Babolrood River was studied and damage to the plain as the result of floods was assessed. For this purpose, maps with 1:1000 scales were prepared and the study began in 103 sections within 5.5 km along the river. Hydrological data were collected and based on the Cawen method the roughness coefficient was determined in ten areas with approximate 500 meter distances between the points. Employing certain methods and operations, maps of the area, depth and velocity of floods in seven flood occurrences in 2, 5, 25, 50, 100 and 200 years ago were prepared, and damage to adjacent rice fields was assessed and related damage curves were drawn. The results had shown that about 89.53% of the flood area over past 200 years is prone to flooding according to the patterns in last 25 years. The damage curve shows that the rate of damage increases with the increase in the flooding depth up to the medium depth (2.82 m) while the damage rate decreases in medium depths more than 2.28 m. among Babolrood section 1, Babolrood section 2 and Sajjadrood, the highest depth of flooding is found in the Babolrood and the velocity of flooding in sections 1 and 2 of Babolrood is higher than the velocity in the Sajjadrood section.

Key words: Flood Hazzard Zonation, HEC-GeoRAS, Babolrood River autumn, spiring, winter, and summer.

* Corresponding author: Tel: 0871-3736609 , Fax: 0871-3288662 E-mail: ghaffari58@yahoo.com