پهنه‌بندي خطر و ارزيابي خسارت سيل
(مطالعه موردي محدوده رودخانه قره‌چاي در حومه شهر راميان)

معصومه غريب[١]، ابوالفضل مساعدي[٢*]، علي نجفي‌نژاد[٣] و محمدابراهيم يخكشي[۴]
[١] دانش‌آموخته كارشناسي‌ارشد آبخيزداري، دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي گرگان، ايران
[٢] دانشيار گروه مهندسي آب، دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي گرگان، ايران
[٣] استاديار گروه آبخيزداری، دانشگاه علوم كشاورزی و منابع طبيعی گرگان، ايران
[٤] مدير دفتر مطالعات شركت آب منطقه‌اي گلستان، ايران
(تاريخ دريافت: ٨٣/٨/٩، تاريخ تصويب: ٨۵/٢/٣)

چكيده
سيل يكي از پديده‌هايي است كه هر ساله در نقاط مختلف جهان و كشور خسارت‌هاي جاني و مالي به بار مي‌آورد. به‌منظور پهنـه‌بنـدي خطر سيل و تعيين پهنه‌هاي سيل‌گير اراضي اطراف رودخانه قره‌چاي واقع در حوزه آبخيز شهري راميان، پس از انجـام عمليـات ميـداني، مسيري از رودخانه به طول ٨/۵ كيلومتر انتخاب شد و بر اساس خصوصيات مورفولوژيكي و هيدروليكي بـه تعـدادي بـازه تقسـيم و ٤١ مقطع عرضي از رودخانه برداشت شد. براي انتخاب مناسب‌ترين روش تعيين ضريب مانينگ، روش كـاون بـه منزلـه مناسـب‌تـرين روش تعيين ضريب مانينگ در محدوده مورد بررسي انتخاب شد. با معرفي مشخصات جريان و مشخصات هندسي رودخانه و ضـريب مانينـگ هر مقطع در نرم‌افزار HEC-RAS پروفيل سطح آب در دوره‌هاي بازگشت معين محاسبه شد. سپس براي تعيين پهنه‌هاي خطر سـيل بـا استفاده از نرم‌افزار Autocad و مشخص بودن رقوم سطح آب در هر مقطع پهنه‌هاي خطر سيل در دوره‌هـاي بازگشـت مختلـف ترسـيم شد. پس از تعيين سطح و عمق ميانگين سيل براي مناطق در معرض خطر و با استفاده از توابع خسارت سيل، مقـادير خسـارت احتمـالي وارد به مناطق مسكوني در هر پهنه، جداگانه محاسبه و منحني‌هاي تراز-خسارت هر يك از آنها نيز به‌طور جداگانه ترسيم شد. نتايج ايـن تحقيق نشان داد كه روند افزايش خسارت تا دوره بازگشت ۵٠ سال، از شدت ملايمي دارد، ولي پـس از آن ايـن رونـد بشـدت افـزايش مي‌يابد. بنابراين دوره بازگشت ۵٠ سال به‌عنوان دوره بازگشت بحراني اين محدوده معرفي شد.

واژه‌هاي كليدي: پهنه‌بندي سيل، HEC-RAS، ضريب مانينگ، خسارت سيل و راميان.

*نويسنده مسئول: تلفن: ٠١٧١-۴۴٢۶٩۴٢ فاكس: ٠١٧١-٢٢۴۵٨٨۴ E-mail: mosaedi@yahoo.com

مقدمه

هزاران سال است كه بشر با حوادث گوناگوني چون سيل، زلزله و توفان مواجه است و هر روز كه مي‌گذرد، گامي براي شناخت و كنترل آنها برمي‌دارد، اما هنوز دانش بشري به مهار و كنترل كامل اين پديده‌ها دسترسي پيدا نكرده است. سيل به معني طغيان ناگهاني آب ناشي از برهم خوردن تعادل هيدرولوژيكي و آب و هوايي در يك منطقه است (۸). پهنه‌بندي خطر سيل، در واقع ابزاري اساسي براي مديريت كاهش خطرهاي سيل است و وسيله‌اي قانوني در دست دولت و مسئولان براي كنترل و مديريت كاربري اراضي و برنامه‌هاي توسعه همزمان با كاهش خطرهاي سيل و حفاظت محيط زيست است (۳). براي پهنه‌بندي خطر سيل روش‌هاي مختلفي وجود دارد كه عبارتند از:

الف- روش مشاهده‌اي و استفاده از داغاب سيلاب؛
ب- استفاده از عكس‌هاي هوايي و تصاوير ماهواره‌اي؛
ج- استفاده از مدل‌هاي رياضي (۲).

يكي از نرم‌افزارهايي كه به‌منظور تعيين پروفيل سطح آب به‌كار مي‌رود، نرم‌افزار HEC-RAS[۱] است. اين نرم‌افزار نسخه تكميل‌شده HEC-2 است كه به‌منظور انجام محاسبات هيدروليكي يك‌بعدي براي شبكه كاملي از كانال‌هاي طبيعي و مصنوعي طراحي شده است (۴). در اين برنامه احتمال اشتباه در وارد كردن اطلاعات به حداقل مي‌رسد و پيچيدگي تشكيل فايل ورودي HEC-2 را ندارد (۱). همچنين اين نرم‌افزار در طرح‌هاي مهندسي رودخانه از جمله تهيه پروفيل سطح آب، تعيين منحني دبي-اشل در ابتدا و انتهاي بازه‌ها در نهرهاي طبيعي و مصنوعي، بررسي وضعيت جريان و پهنه‌بندي سيل در شرايط مختلف ساماندهي رودخانه مورد به كار مي‌رود (۱۳).

جيمز[۲] و همكاران (۱۹۸۰)، ضمن بر شمردن نيازهاي مديريتي بويژه در اقليم‌هاي خشك، اقدام به پهنه‌بندي خطر سيل در ايالت يوتاي آمريكا كردند و بيان داشتند كه به‌علت تغييرات مناطق سيل‌گير از سيلي به سيل ديگر، بايد توجه داشت كه در مناطق نقشه‌بندي‌شده، خطرها خيلي زياد يا خيلي‌كم نشان داده نشوند. پلات[۳] (۲۰۰۲)، در تحقيقات خود با نام خطر سيل و مديريت آن، پهنه‌بندي خطر را به‌عنوان شيوه كاملاً مشخصي براي ساماندهي و مديريت خطرهاي ناشي از عوامل طبيعي، زيست‌محيطي يا انساني كه از بين آنها سيل نيز بسيار بارزتر است، تعريف كرد. هيالمارسون[٤] (۱۹۸۸)، براي پهنه‌بندي خطر سيل در مناطق آريزوناي غربي و شرقي با استفاده از خصوصيات هيدرولوژيكي و ژئومورفولوژيكي، به بررسي خطرهاي تهديدكننده عمليات مهندسي پرداختند. در پايان با توجه به فرسايش كناري سواحل و بستر رودخانه‌ها و ته‌نشست رسوبات در هنگام وقوع و فروكش جريان سيل، ضوابط مورد نظر در پهنه‌بندي منطقه مورد بررسي و مناطق مشابه را ارائه كردند.

لانگ و موهانتي[۵] (۱۹۹۷)، با استفاده از سيستم اطلاعات جغرافيايي، در منطقه ماهاناادي واقع در اوراسياي هندوستان، اقدام به پهنه‌بندي سيل كرده و مديريت سيلاب‌ها بر اساس پهنه‌بندي را به منزله يك روش غيرسازه‌اي كنترل سيلاب معرفي و آن را بهينه كردند. كوريا[٦] و همكاران (۱۹۹۹)، با استفاده از سيستم اطلاعات جغرافيايي و مدل‌هاي هيدرولوژيكي و هيدروليكي، در دشت‌هاي سيلابي كه با توسعه شهري همراه است و در معرض خطر سيل قرار دارند، تاثير كنترل كاربري اراضي در كاهش خطر سيل را ارزيابي و در ادامه اقدام به پهنه‌بندي و آناليز سيل كردند. اسلام و سادو[۷] (۲۰۰۰)، با استفاده از داده‌هاي سنجش از دور از سيل تاريخي سال ۱۹۸۸ بنگلادش، يك نقشه خطر سيل را براي اين كشور به كمك سامانه‌هاي اطلاعات جغرافيايي (GIS) تهيه كردند. لين[۸] و همكاران (۲۰۰۰)، پهنه‌بندي حوزه آبخيز كاروليناي شمالي

۱- Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
۲-James
۳-Plate
۴-Hyalmarson
۵-Liang & Mohanty
۶-Correia
۷-Islam & Sado
۸- Lin

را به منزله BMPs[1] (مناسب‌ترين اقدام‌هاي مديريتي) بررسي و آن را به عنوان عملكردي بسيار مفيد در مديريت حوزه‌هاي آبخيز معرفي كردند. يانگ و تساي[2] (٢٠٠٠)، مدلي به نام FGIS را براي شبيه‌سازي دشت سيلابي، محاسبات خصوصيات سيل و نشان دادن خصوصيات سيل در كشور تايوان طراحي كردند. ايشان در اين مدل علاوه بر شبيه‌سازي دشت سيلابي، از منحني عمق-خسارت نيز براي تعيين مقدار خسارت استفاده كردند كه در اين سيستم ميانگين خسارات سالانه سيل را به وسيله احتمال بارندگي با دوره‌هاي بازگشت ٢، ٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ و ٢٠٠ ساله با تداوم ٢٤ ساعته مشخص كردند. استفان[3] (٢٠٠٢)، در تحقيقات خود به بررسي سيل‌هاي به‌وقوع پيوسته در سال‌هاي ١٩٩٦ و ١٩٩٧ در حوضه آبخيز رودخانه سنگ زرد واقع در ايالت مونتاناي آمريكا پرداخت. وي همچنين براي تعيين پهنه‌هاي سيل رخ داده در اين دو سال مشخصات ٢٥ مقطع را در طول يك مسير ١٨ كيلومتري برداشت و پهنه‌هاي سيل با دوره‌هاي بازگشت مختلف را تعيين كرد.

صفري (١٣٨٠)، در تحقيقات خود با نام تعيين الگوي مديريت بهينه در دشت‌هاي سيلابي، با استفاده از اطلاعات مربوط به مقاطع عرضي و دبي اوج در هر مقطع و با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS، پروفيل سطح آب براي سيل با دوره‌هاي بازگشت مختلف را محاسبه كرد و سپس با استفاده از توابع خسارت سيل و رابطه عمق-خسارت نشان داد كه روند افزايش خسارت در مقابل افزايش عمق سيل‌گيري تا عمق يك متري از شدت بيشتري برخوردار است. جلالي‌راد (١٣٨١)، در حوضه آبخيز شهري تهران با استفاده از مدل رياضي HEC-RAS اقدام به تعيين مناطق سيل‌گير كرده و نقشه پهنه‌هاي سيل‌گير براي سيل با دوره‌هاي بازگشت مختلف را ترسيم كرد و در نهايت خسارت‌هاي سيل به ازاي دوره‌هاي بازگشت مختلف را برآورد كرد.

خليلي‌زاده (١٣٨٢)، در تحقيقي با نام ارزيابي خطر و مديريت سيل در شهر گرگان با استفاده از نرم‌افزارهاي HEC-RAS و Arcview-GIS اقدام به پهنه‌بندي خطر سيل در طول ١٠/٥ كيلومتر از مسير رودخانه زيارت كرد و علاوه بر ترسيم نقشه پهنه‌هاي خطر سيل به ازاي دوره‌هاي بازگشت مختلف، مقدار خسارت ناشي از سيل را نيز برآورد كرد. وي نيز در تحقيقات خود نتيجه گرفت كه دوره بازگشت ٥٠ سال، دوره بازگشت بحراني حوزه آبخيز شهري گرگان است. در نهايت با رسم منحني‌هاي تراز- خسارت نتيجه گرفت كه با افزايش دوره بازگشت عمق متوسط سيل‌گيري، وسعت اراضي سيل‌گير و خسارت ناشي از سيل بشدت افزايش مي‌يابد.

اولين قدم در تحقيقات طرح‌هاي مديريت سيلاب، پهنه‌بندي دشت سيلابي و تهيه نقشه پهنه‌هاي خطر سيل است، به همين علت در تحقيق حاضر اقدام به پهنه‌بندي خطر سيل در بخشي از رودخانه قره‌چاي واقع در حوزه آبخيز شهري راميان شد و اهداف زير مدنظر بود:

- بررسي احتمال سيل‌گرفتگي اراضي كشاورزي، مناطق مسكوني و تجاري حاشيه رودخانه قره‌چاي در محدوده شهري و اطراف آن؛
- شناسايي نقاط با خطر سيل‌گيري زياد در محدوده مورد بررسي.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخيز قره‌چاي راميان

حوزه آبخيز قره‌چاي راميان، يكي از زيرحوزه‌هاي آبخيز گرگانرود در شرق استان گلستان است. اين حوزه با وسعت ٢٥٠ كيلومتر مربع، داراي آبراهه‌اي به طول ٣٠/٦٥

٢-Best Management Practices

٣-Yang & Tsai

٤-Stephen

كيلومتر (طويل‌ترين آبراهه) است و در محدوده جغرافيايي ۵۴°۴۵´ تا ۵۵°۱۵´ طول شرقي و ۳۶°۴۸´ تا ۳۷°۱۲´ عرض شمالي واقع شده است (شكل ۱). اين حوزه از شمال به شهرستان راميان، از جنوب به ارتفاعات جوزچال و كوه‌هاي ملچ آرام و كوه قطارچشمه، از شرق به منطقه تيل‌آباد و از غرب به كوه قلعه‌موران و منطقه سفيدچال محدود مي‌شود. پوشش جنگلي مناسب از مشخصات بارز اين منطقه است. نمونه‌اي از شاخص‌هاي فيزيوگرافي حوزه آبخيز قره‌چاي راميان در جدول ۱ ارائه شده است (۷).

روش تحقيق

براي پهنه‌بندي خطر سيل، پس از عمليات ميداني مسيري از رودخانه به طول ۸/۵ كيلومتر از محل كارخانه فراورده‌هاي لبني راميان تا پايين‌دست پل جاده اصلي گرگان-مشهد انتخاب و اين محدوده بر اساس خصوصيات مورفولوژيكي و هيدروليكي به تعدادي بازه تقسيم شد. با انجام عمليات نقشه‌برداري، پلان رودخانه و نيمرخ‌هاي طولي و عرضي رودخانه و مشخصات هندسي آن در ۴۱ مقطع عرضي برداشت شدند. براي تعيين ضريب مانينگ، ابتدا با انجام عمليات ميداني تمامي خصوصيات بازه‌ها و مقاطع عرضي در ساحل چپ، راست و بستر اصلي رودخانه به‌طور جداگانه يادداشت و از آنها عكس و فيلم تهيه شد. با توجه به اطلاعات برداشت‌شده و جداول استاندارد مربوط به هر يك از روش‌ها، ضريب مانينگ به پنج روش كاون، سازمان حفاظت خاك آمريكا، عكس و اسلايد، چاو و سازمان برنامه و بودجه (سازمان مديريت و برنامه‌ريزي كنوني) تعيين شد. از آنجا كه در محدوده مورد بررسي يكي از مقاطع عرضي به خوبي منطبق بر ايستگاه هيدرومتري است، بنابراين براي انتخاب مناسب‌ترين روش تعيين ضريب مانينگ، تعدادي سيل كه آمار دبي-اشل آنها در اين ايستگاه و مقطع به‌طور مستقيم برداشت شده است، انتخاب شد. براي اين مقادير دبي، مقادير ارتفاع سطح آب در محل ايستگاه هيدرومتري به وسيله نرم‌افزار HEC-RAS و با توجه به ضريب مانينگ تعيين‌شده به ۵ روش محاسبه شد. سپس اين مقادير با مقادير واقعي اندازه‌گيري‌شده مقايسه و در نهايت بر اساس معيارهاي آماري، بهترين روش تعيين ضريب مانينگ مشخص شد. دو روش آماري به‌كار برده شده براي تعيين خطاي برآورد ضريب مانينگ عبارتند از:

میانگین درصد خطاي نسبي (**RME**)

در اين روش از معادلات زير استفاده مي‌شود:

$$REi = \left|\frac{ho - hc}{ho}\right| \times 100 \qquad (۱)$$

$$RME = \frac{\sum_{i=1}^{n} RE_i}{n} \qquad (۲)$$

در اين معادلات:

RME: ميانگين درصد خطاي نسبي، REi: درصد خطاي نسبي هر برآورد، ho: عمق آب مشاهده شده، hc: عمق آب برآوردشده و n: تعداد دفعات مقادير برآورد شده عمق آب است.

جذر میانگین توان دوم خطا (**RMSE**)

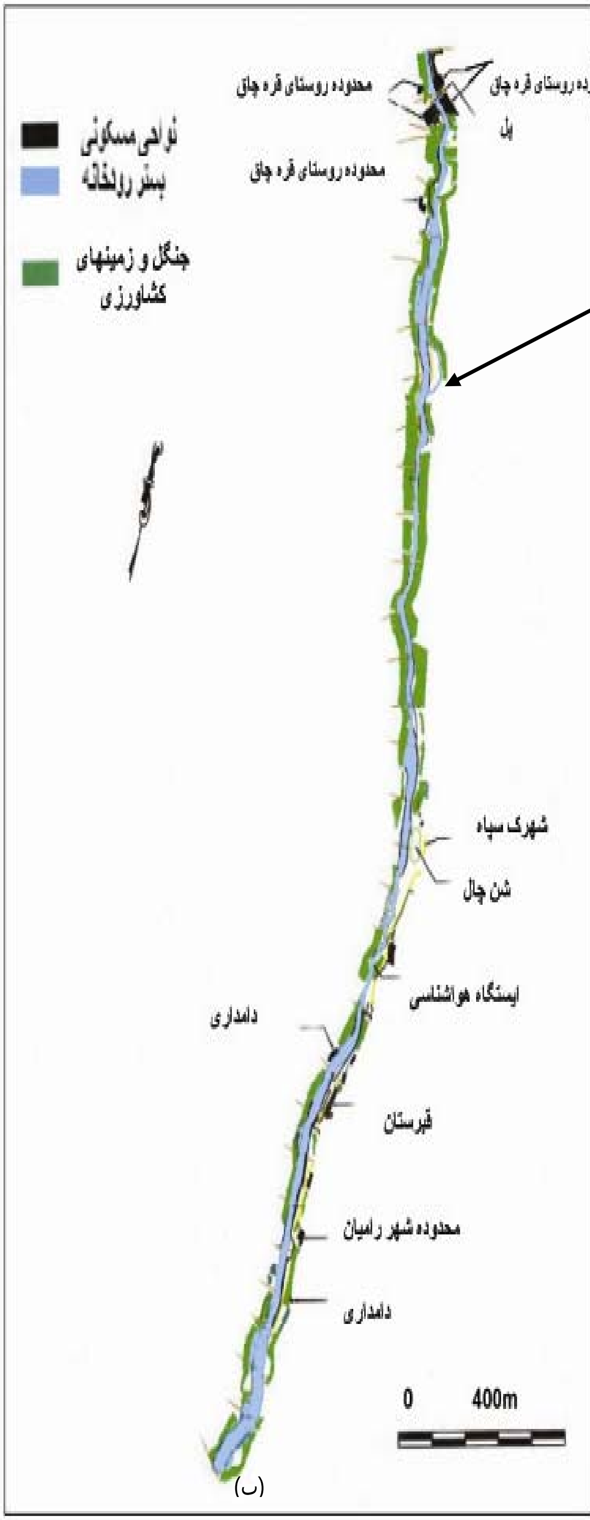
در اين روش از معادلات زير استفاده مي‌شود:

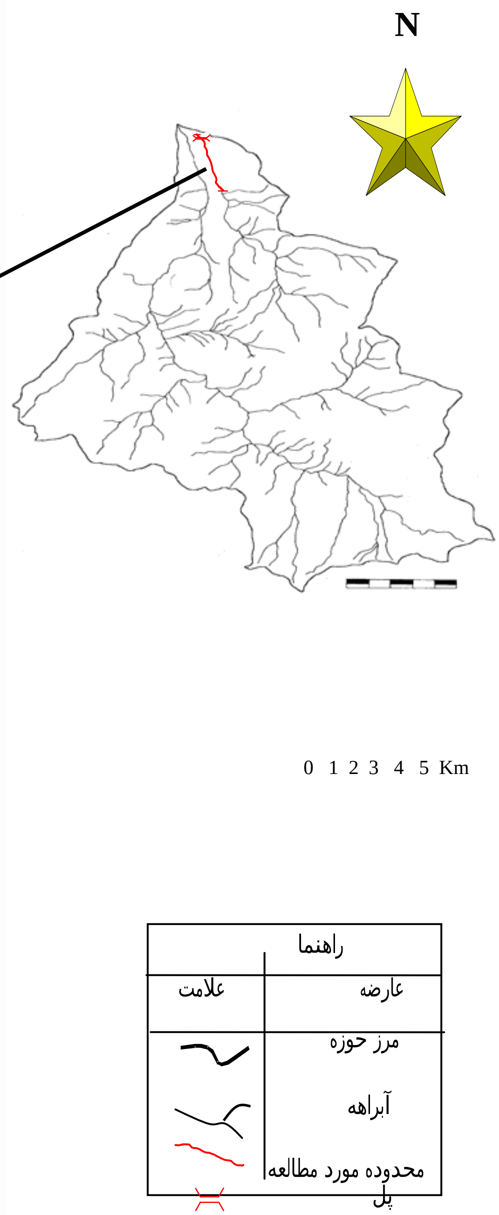
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} SEi}{n}} \qquad (۳)$$

$$SEi = (ho - hc)^2 \qquad (۴)$$

در اين معادلات:

$RMSE$: جذر ميانگين توان دوم خطا و SEi: مربع خطا در هر برآورد است. ساير پارامترها در معادلات ۲ و ۳ بيان شده‌اند (۱۱).





شكل ١- نقشه شبكه هيدروگرافي حوزه آبخيز قره-چاي راميان (الف) و مسير مورد بررسي (ب)

جدول ۱- شاخص‌هاي فيزيوگرافي حوزه آبخيز قره‌چاي راميان

مساحت (Km^2)	۲۵۰	شيب متوسط حوزه (درصد)	۱۰/۱
محيط (Km)	۸۵	ارتفاع حداکثر حوزه (m)	۲۹۷۷
طول آبراهه اصلي (Km)	۳۰/٦٥	ارتفاع حداقل حوزه (m)	۲۰۰
طول مستطيل معادل (Km)	۳۵/٤٤	ارتفاع متوسط حوزه (m)	۱۳۱۵

پس از برازش توزيع‌هاي آماري مختلف به مقادير دبي حداکثر ساليانه، مناسب‌ترين توزيع آماري برآورد شد. با معرفي مشخصات جريان و مشخصات هندسي رودخانه و ضريب مانينگ هر مقطع در نرم‌افزار HEC-RAS پروفيل سطح آب در دوره‌هاي بازگشت معين محاسبه شد. براي رسم نقشه پهنه سيلاب، با مشخص کردن محل مقاطع بر روي پلان‌هاي تهيه‌شده به مقياس ۱:۱۰۰۰، سطح آب براي هر مقطع عرضي در روي پلان مشخص شد. سپس با توجه به شيب طولي رودخانه در هر بازه و با درون‌يابي رقوم بين دو مقطع، رقوم سطح آب بر روي نقشه‌ها منتقل شد. در نهايت با توجه به رقوم تراز اصلي رودخانه پهنه‌هاي سيل براي دبي با دوره‌هاي بازگشت معين تعيين شدند. سپس موقعيت اين پهنه‌ها با استفاده از نرم‌افزار AUTOCAD ترسيم و وسعت هر يك از پهنه‌ها با استفاده از اين نرم‌افزار اندازه‌گيري شد.

با توجه به اينکه هنگام بروز سيل، عمق سيل‌گيري در هر نقطه از پهنه‌هاي سيل‌گير متفاوت است، عمق ميانگين، به‌عنوان متوسط عمق سيل‌گيري هر بازه از پهنه دشت سيلابي تعيين شد. واضح است که در شرايط طبيعي عمق متوسط سيل‌گيري هميشه از عمق ماکزيمم سيل کمتر است و فقط در کانال‌هاي مصنوعي مستطيلي، عمق متوسط جريان و عمق ماکزيمم آن برابرند. از طرف ديگر، هميشه با افزايش دوره بازگشت سيل دبي ماکزيمم و عمق ماکزيمم سيل افزايش مي‌يابند، اما ممکن است شرايط طبيعي و توپوگرافي دشت سيلابي به‌گونه‌اي باشد که با افزايش دبي، سيل در سطح دشت سيلابي پخش شود. اين مسئله ممکن است به افزايش سطح پهنه سيل و کاهش عمق ميانگين سيل منجر شود، هر چند عمق ماکزيمم سيل افزايش يافته باشد.

براي ارزيابي خسارت سيل نيز پس از تهيه نقشه پهنه‌هاي خطر سيل و تعيين وسعت پهنه‌هاي سيل‌گير در دوره‌هاي بازگشت مختلف، تعداد واحدهاي مسکوني تحت تاثير سيل در هر پهنه محاسبه و با توجه به سطح و عمق متوسط سيل‌گيري با استفاده از روابط ۵ و ٦ متوسط درصد خسارات وارده به ساختمان و اموال موجود در آنها تعيين شد. شايان ذکر است که ملك‌محمدي (۱۳۷۸)، به تحقيقاتي در زمينه ارزيابي خسارت و منحني‌هاي توابع تراز- خسارت پرداخته و توابع تراز- خسارت را براي عمق سيل‌گيري تا ۲ متر براي دو حالت واحد مسکوني يك طبقه بدون زيرزمين (رابطه ۵) و واحد مسکوني يك طبقه با زير زمين (رابطه ٦) به‌دست آورده که به‌صورت زير است:

(۵)

$$d = 1.58h^3 - 16.87h^2 + 44.74h + 0.95$$
$$\text{for } h \le 2m : (r = 0.7796)$$

(۶)

$$d = 1.58h^3 - 16.87h^2 + 44.74h + 0.95$$
$$\text{for } h \le 2m : (r = 0.7796)$$

در اين روابط:

d: مقدار خسارت بر حسب درصد و h: تراز سيل از کف رودخانه بر حسب متر، است.

در اين تحقيق ارزيابي خسارت وارد به مناطق مسکوني بر اساس فرضيات زير صورت گرفته است:

- متوسط زير بناي يك واحد مسكوني در روستاي اطراف رودخانه ۱۷۰ متر مربع است؛
- قيمت يك واحد مسكوني با اموال منقول موجود در آن (قيمت سال ۱۳۸۲) شصت ميليون ريال برآورد شده است.

در نهايت مقدار خسارت مستقيم نيز از حاصلضرب تعداد واحدهاي مسكوني، متوسط درصد خسارات و قيمت متوسط هر واحد مسكوني محاسبه شد. خسارت كل از مجموع خسارت‌هاي مستقيم و غيرمستقيم در هر پهنه خطر سيل به‌دست مي‌آيد. از آنجا كه مقدار خسارت غيرمستقيم به راحتي قابل برآورد نيست، بنابراين در عمل خسارت‌هاي غيرمستقيم را به‌صورت تابع خطي از خسارت‌هاي مستقيم در نظر مي‌گيرند. با توجه به اينكه در استراليا مقدار خسارت غير مستقيم را دو برابر خسارت مستقيم ارزيابي مي‌كنند (۲۰) و متاسفانه در اين زمينه در ايران تحقيقاتي صورت نگرفته، بر همين اساس در اين تحقيق نيز خسارت‌هاي غيرمستقيم دو برابر خسارت‌هاي مستقيم در نظر گرفته شده است.

نتايج

روش‌هاي مختلف تعيين ضريب مانينگ

به‌منظور انتخاب مناسب‌ترين روش تعيين ضريب مانينگ، مقادير ميانگين درصد خطاي نسبي و جذر ميانگين توان دوم خطا با استفاده از روابط ١ الي ٤ محاسبه شدند (جدول ۲). بر اساس داده‌هاي اين جدول، روش كاون در مقايسه با چهار روش ديگر تعيين ضريب مانينگ، داراي كمترين مقادير ميانگين درصد خطاي نسبي و جذر ميانگين توان دوم خطاست. اين موضوع نشان مي‌دهد كه اين روش انحراف كمتري نسبت به مقادير واقعي دارد. بنابراين روش كاون به منزله مناسب‌ترين روش تعيين ضريب زبري مانينگ براي اين بخش از رودخانه انتخاب و از آن براي ترسيم پروفيل سطح آب استفاده شد.

تعيين پهنه‌هاي سيل

با استفاده از مناسب‌ترين توزيع آماري برازش‌داده‌شده به مقادير دبي حداكثر ساليانه (توزيع لوگ پيرسون تيپ ۳)، مقادير دبي سيل در دوره‌هاي بازگشت مختلف تعيين شد. واضح است كه هرچه دوره بازگشت سيل بيشتر باشد، دبي سيل، تراز سيل و عمق ماكزيمم سيل نيز بيشتر مي‌شود. براي مثال در دوره‌هاي بازگشت ۲، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال، در محل ايستگاه هيدرومتري، دبي سيل به ترتيب برابر با ۳۳/۳۸، ۲۶۵/۰۸، ۳۸۱/۶۵ و ۴۹۶/۱۸ متر مكعب بر ثانيه و عمق ماكزيمم سيل در همين محل برابر با ۲/۶۱، ۴/۸۰، ۵/۴۸ و ۶/۰۷ متر است.

با استفاده از اطلاعات خروجي از نرم‌افزار HEC-RAS و به كمك نرم‌افزار AUTOCAD، پهنه‌هاي خطر سيل براي دوره‌هاي بازگشت مختلف (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال) ترسيم شده است. نتايج اين تحقيق نشان داد كه سيل‌هاي با دوره بازگشت ۲ سال فقط از بستر رودخانه عبوركرده و نمي‌توانند چندان پهنه سيلي ايجاد كنند، اما سيل با دوره بازگشت ۱۰ سال و بزرگ‌تر از آن، بخشي از اراضي زراعي يا مسكوني اطراف رودخانه را فرا مي‌گيرد. با ترسيم نقشه پهنه خطر دشت سيلابي و تعيين مرزهاي سيل‌گيري مربوط به هر سيلاب با دوره بازگشت معين، سطح سيل‌گيري هر سيل، محاسبه شد. براساس نقشه پهنه‌هاي خطر سيل، هيستوگرام مقادير وسعت اراضي زراعي و مسكوني كه به وسيله سيل با دوره‌هاي بازگشت مختلف پوشانده مي‌شوند، در شكل ۲ ارائه شده است.

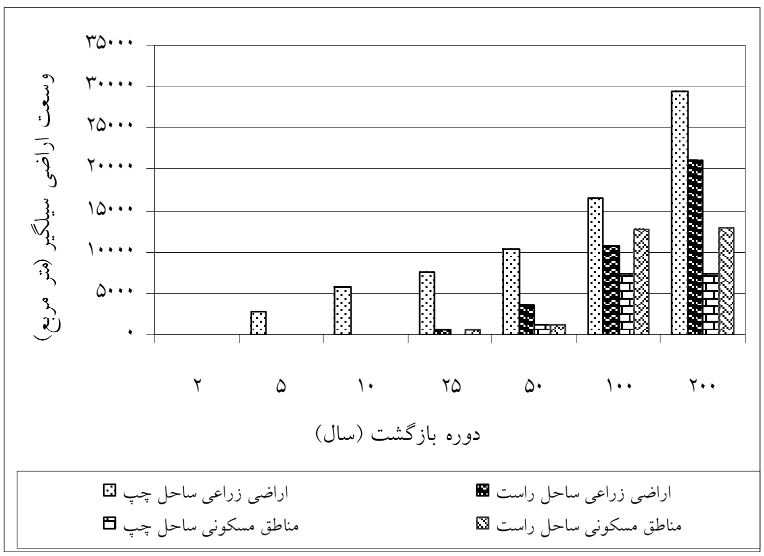
ارزيابي خسارت

براي برآورد خسارت سيل در هر دوره بازگشت، ابتدا بايد به تعيين تراز سيل با دوره‌هاي بازگشت مختلف و پهنه‌بندي خطر سيل در آن دوره بازگشت اقدام كرد. همان‌گونه كه ذكر شد، با توجه به اينكه هنگام بروز سيل، عمق سيل‌گيري در هر نقطه از پهنه‌هاي سيل‌گير متفاوت است، مقادير عمق ميانگين سيل در هر بازه، به عنوان متوسط عمق سيل‌گيري پهنه دشت سيلابي در آن بازه، محاسبه شدند. سپس بر اساس فرضيات و همچنين محاسبات انجام‌شده، مقدار خسارت‌هاي مستقيم و خسارت‌هاي كل وارد به مناطق مسكوني محاسبه شد. شايان ذكر است كه به‌منظور افزايش دقت كار، درصد

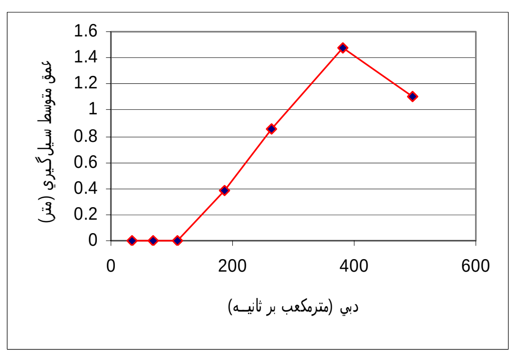
خسارات در هر بازه از ساحل چپ و راست با در نظر گرفتن وجود يا نبود زير زمين به‌طور جداگانه محاسبه و در نهايـت از آنها ميانگين گرفته شده است. منحني‌هاي تراز-خسـارت سيل در اشكال ۳ الي ۶ ارائه شده است.

جدول ۲- مقادير ميانگين درصد خطاي نسبي و جذر ميانگين توان دوم خطا در برآورد عمق جريان با به‌كارگيري روش‌هاي مختلف تعيين ضريب زبري مانينگ

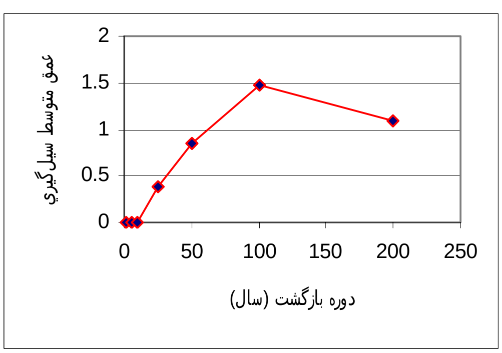
روش‌هاي برآورد	روش چاو	روش كاون	روش سازمان مديريت و برنامه‌ريزي	روش سازمان حفاظت خاك آمريكا	روش عكس و اسلايد
ميانگين درصد خطاي نسبي	۵۴/۶۴	۴۶/۸۰	۵۲/۹۶	۴۹/۶۰	۵۶/۳۲
جذر ميانگين توان دوم	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۶



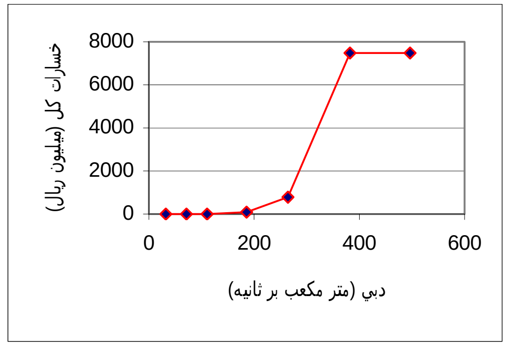
شكل ۲- هيستوگرام وسعت اراضي سيل‌گير كشاورزي و مسكوني در دوره‌هاي بازگشت مختلف



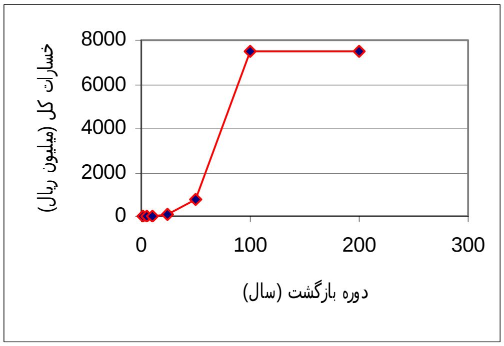
شكل ۳- رابطه بين دبي و عمق متوسط سيل‌گيري در مناطق مسكوني



شكل ۴- رابطه بين دوره بازگشت و عمق متوسط سيل‌گيري در مناطق مسكوني



شكل ۵- رابطه بين دبي و خسارت‌هاي كل مربوط به مناطق مسكوني



شكل ۶- رابطه بين دوره بازگشت و خسارت‌هاي كل مربوط به مناطق مسكوني

بحث

بررسي نتايج حاصل از مناسب‌ترين روش تعيين ضريب مانينگ

با بررسي جدول ۲ مي‌توان نتيجه گرفت كه روش كاون نسبت به چهار روش ديگر (چاو، سازمان مديريت و برنامه‌ريزي، سازمان حفاظت خاك آمريكا و عكس و اسلايد) داراي كمترين مقادير ميانگين درصد خطاي نسبي (RME) و همچنين جذر ميانگين توان دوم خطا (RMSE) است. در نتيجه استفاده از اين روش براي تعيين ضريب مانينگ در مسير مورد بررسي از كارايي و دقت بيشتري برخوردار است و از اين روش در تعيين ضريب مانينگ رودخانه به‌منظور محاسبه پروفيل سطح آب و پهنه‌بندي خطر سيل و ساير محاسبات هيدروليكي استفاده شده است. نتايج اين بخش از تحقيق با پيشنهادهاي ابوالقاسمي و شريفي‌منش (۱۳۷۰) همخواني دارد.

ارزيابي نتايج پهنه‌بندي خطر سيل

نتايج حاصل از پهنه‌بندي خطر سيل نشان مي‌دهد كه سيل‌هاي تا دوره بازگشت ۱۰ سال به مناطق مسكوني خسارتي وارد نمي‌كند، ولي سيل با دوره بازگشت ۲۵ سال به بخشي از مناطق مسكوني خسارت وارد مي‌سازد. در عين حال سيل‌هاي با دوره بازگشت بيشتر از ۵۰ سال (۱۰۰ و ۲۰۰ سال) بخشي از مناطق مسكوني را تحت تاثير قرار مي‌دهند (شكل ۲). خوشبختانه در بيشتر بازه‌ها، احتمال سيل‌گيري اراضي حاشيه رودخانه به‌نسبت كم است. اين مسئله حتي در سيل‌هاي با دوره‌هاي بازگشت بالا نيز مشاهده مي‌شود. علت آن را مي‌توان به عريض بودن بستر رودخانه و شيب به‌نسبت زياد آن (و در نتيجه قابليت زياد انتقال جريان) نسبت داد. در عين حال با توجه به شرايط ذكرشده توان فرسايشي رودخانه به‌نسبت زياد است، ازاين‌رو عمليات مهار سيل و تثبيت كناره‌ها براي جلوگيري از خسارت‌هاي سيلاب و فرسايش در طول مسير آن ضروري به نظر مي‌رسد.

با توجه به اينكه تعدادي از بناهاي مسكوني به‌طور دقيق در كنار رودخانه واقع شده‌اند، امكان خطر سيل براي اين ابنيه در سيلاب‌هاي با دوره بازگشت بالا وجود دارد. همچنين با توجه به شكل ۲، سيل با همه دوره‌هاي بازگشت بجز دوره بازگشت ۲ سال، بخشي از اراضي زراعي اطراف بعضي از بازه‌ها (نه‌همه آنها) را مي‌پوشاند. در عين حال در تمامي اراضي زراعي اطراف رودخانه، با توجه با وضعيت زمين‌شناسي منطقه و نفوذ آب، خطر فرسايش و نشست نيز وجود دارد.

با افزايش دوره بازگشت، تعداد بازه‌هاي تحت‌تاثير سيل و وسعت اراضي سيل‌گير افزايش مي‌يابد. نتايج نشان مي‌دهد كه عمق متوسط سيل‌گيري در مناطق مسكوني براي سيل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال بيشتر از عمق متوسط سيل‌گيري در مناطق مسكوني براي سيل با دوره بازگشت

۲۰۰ سال است (شكل ۴)، ولي وسعت مناطق سيل‌گير مسكوني براي سيل با دوره بازگشت ۲۰۰ سال و تعداد بازه‌هاي تحت‌تاثير سيل بيشتر از سيل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال است. دليل اين مسئله اين است كه در سيل با دوره بازگشت ۲۰۰ سال با در نظر گرفتن رقوم جريان، رقوم اراضي كشاورزي و رقوم مناطق مسكوني بخش عمده‌اي از سيل به سمت اراضي كشاورزي سرازير شده و در دشت سيلابي پخش مي‌شود به‌طوري‌كه وسعت اراضي سيل‌گير زراعي در دوره بازگشت ۲۰۰ سال دو برابر وسعت اراضي سيل‌گير زراعي در دوره بازگشت ۱۰۰ سال است (شكل ۲). در ضمن بخشي از اراضي كه سيل ۲۰۰ ساله آنها را تحت‌تاثير قرار مي‌دهد و در سيل ۱۰۰ ساله مصون از خطر سيل هستند، شيب بسيار كم است. اين مسئله موجب مي‌شود كه سيل در سطح وسيع ولي به عمق كم در دشت سيلابي گسترش يابد. در نتيجه عمق ميانگين سيل‌گيري در دوره بازگشت ۲۰۰ سال كمتر از ۱۰۰ سال مي‌شود.

در مسير مورد بررسي، رودخانه در بعضي از بازه‌ها عريض و عميق بوده و داراي ديواره‌هاي مرتفع است كه همين عامل موجب شده است تا محدوده سيل‌گير در اطراف اين بازه‌ها بسيار كم باشد، ولي در بعضي از بازه‌هاي ديگر رودخانه كم عمق است و اراضي زراعي در ارتفاع خيلي كم و بسيار نزديك به رودخانه قرار دارند كه در نتيجه احتمال سيل‌گيري اين اراضي بسيار زياد است. در بعضي از بازه‌ها مانند ساحل راست بالادست شهر راميان، به‌علت عميق بودن رودخانه و وجود ديواره بتني مرتفع، سطح اراضي سيل‌گير بسيار كم است، ولي همين ديواره تحت‌تأثير زيرشويي قرار گرفته كه ممكن است در اثر پديده كنش مانند بعضي از ديواره‌هاي ديگر تخريب شود.

بررسي نقشه‌هاي پهنه‌بندي سيل و همچنين موقعيت بازه‌ها نشان مي‌دهد كه پهنه‌هاي سيل بيشترين سطح را در ساحل چپ و راست بالادست پل اصلي به خود اختصاص مي‌دهند. بنابراين، اين بازه‌ها از حساسيت بيشتري نسبت به سيل در مقايسه با ساير بازه‌ها برخوردارند. مقطع اين پل كه بر روي رودخانه قره‌چاي و جاده اصلي و ارتباطي گرگان ـ مشهد واقع شده، به‌صورت قوسي است و ابعاد پل براي عبور سيل‌هاي با دوره بازگشت بيشتر از ۵۰ سال كافي نيست. در سيل‌هاي با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ سال، پل كاملاً مستغرق مي‌شود و احتمال سيل‌گيري اراضي بالادست را افزايش مي‌دهد. بنابراين اين پل فقط توانايي و ظرفيت انتقال دبي سيل تا دوره بازگشت ۵۰ سال را دارد.

برآورد خسارت‌هاي سيل

در مرحله بعد، اقدام به برآورد خسارت سيل در دوره‌هاي بازگشت مختلف شده است. با بررسي رابطه بين دوره بازگشت و تعداد بازه‌هاي مسكوني تحت‌تاثير سيل، مشخص شد كه با افزايش دوره بازگشت، تعداد بازه‌هاي تحت‌تاثير سيل نيز افزايش مي‌يابد. متاسفانه مشاهده مي‌شود كه سيل با دوره بازگشت ۲۵ سال، ۳۳ ميليون ريال به اراضي مسكوني خسارت مستقيم وارد مي‌سازد (شكل ۶) كه در صورت اضافه كردن خسارات غيرمستقيم اين مقدار به حدود ۹۸ ميليون ريال افزايش خواهد يافت. از علل خسارت‌هاي زياد سيل تجاوز به حريم رودخانه، عدم رعايت كاربري اراضي و ساخت و ساز غيراصولي بويژه در محدوده پل اصلي است.

منحني‌هاي تراز- خسارت سيل نشان مي‌دهد كه روند افزايش خسارت به مناطق مسكوني تا دوره بازگشت ۵۰ سال از شدت ملايمي برخوردار بوده، ولي در دوره‌هاي بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ سال بسيار زياد است (شكل ۶). مقدار خسارت به مناطق مسكوني در دوره‌هاي بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ سال تقريباً ۱۰ برابر خسارت ناشي از سيل با دوره بازگشت ۵۰ سال است (شكل ۶). بنابراين، مي‌توان دوره بازگشت ۵۰ ساله را به عنوان دوره بازگشت بحراني معرفي كرد كه نتايج حاصل از اين تحقيق با تحقيقات صفري (۱۳۸۰) در حوزه نكارود و خليلي‌زاده (۱۳۸۲) در حوزه شهري گرگان تقريبا همسوست.

از علل اساسي خسارت‌هاي سيل در محدوده مورد بررسي تجاوز به حريم رودخانه، ساخت و سازهاي غيرمجاز و در نتيجه كاهش عرض بستر رودخانه است كه اين عوامل سبب افزايش وسعت پهنه‌هاي سيل‌گير، عمق سيل‌گيري و

خسارت‌ها مي‌شوند. از اين نظر نيز نتـايج ايـن تحقيـق بـا تحقيقـات خليلـي‌زاده (١٣٨٢) كـه در محـدوده شـهري رودخانه زيارت در گرگان انجام شده، همسوست.

منحني‌هاي تراز- خسارت سـيل نشـان مـي‌دهـد كـه بـا افزايش دوره بازگشت سيل، وسعت اراضي سيل‌گير، مقـدار خسارت و همچنين تعداد بازه‌هاي تحت‌تاثير سيل افـزايش مي‌يابد كه نتايج اين بخـش از تحقيـق بـا نتـايج تحقيقـات صـفري (١٣٨٠) در حـوزه نكـارود، جلالـي‌راد (١٣٨١) در حوزه شهري تهران و خليلي‌زاده (١٣٨٢) در حـوزه شـهري گرگان مشابهت دارد.

نتايج اين تحقيقات نشان داد كه روش عمق متوسط سيل‌گيري براي تعيين مقدار خسارت سيل ممكن است نتايج كمتر قابل اعتمادي را به‌وجود آورد، بنابراين پيشنهاد مي‌شود تحقيقاتي در زمينه انتخاب معيارهاي مناسب‌تر براي برآورد خسارت سيل صورت گيرد.

منابع

١- ابوالقاسمي، منصور و حسين شريفي‌منش، ١٣٧٨. مقدمه‌اي بر راهنمـاي اسـتفاده از مـدل HEC-RAS، گـروه مهندسـي رودخانه، مركز تحقيقات آب، وزارت نيرو. ١٠٣ص.

٢- برخوردار، مهرداد و سيد علي چاوشيان، ١٣٧٩. پهنه‌بندي سيلاب، نخستين كارگاه فني روش‌هاي غيرسازه‌اي مهار سيلاب، ص ١٢٤-١٣١.

٣- تلوري، عبدالرسول، ١٣٧٦. مديريت مهار سيلاب (كاهش خسارت سيل)، كارگاه آموزشي-تخصصي مهار سيلاب رودخانه‌ها، انجمن هيدروليك ايران. ص ٩٦-١٠٣.

٤- جبلي‌فرد، سعيد، آرش، اميدوار و عطا ا... نجفي جيلايي، ١٣٨١. سيستم تحليل رودخانه (HEC-RAS)، انتشارات جهـاد دانشگاهي دانشگاه صنعتي اميركبير، ٣٧١ ص.

٥- جلالـي‌راد، رامـين، ١٣٨١. پهنـه‌بنـدي سـيل در بخشـي از حـوزه آبخيـز شـهري تهـران بـا اسـتفاده از GIS، پايـان‌نامـه كارشناسي‌ارشد دانشگاه تربيت مدرس، ١١۴ص.

٦- خليلي‌زاده، مجتبي، ١٣٨٢. ارزيابي خطر و مديريت سيل در شهر گرگان، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي گرگان، ١٣١ص.

٧- شركت مهندسين مشاور گلستان، ١٣٨٠. مطالعات اجرايي- توجيهي حوزه آبخيز رودخانه قره‌چاي راميان، ٢۵٨ص.

٨- صدقي، حسين، ١٣٧٣. هيدرولوژي سيلاب، مجله عمران. شماره ١٣. ص ٢١-١۴.

٩- صفري، عليرضا، ١٣٨٠. تعيين الگوي مديريت بهينه در دشتهاي سيلابي (مطالعه موردي حوزه آبخيـز نكـارود)، پايـان‌نامـه كارشناسي‌ارشد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ١٠٠ص.

١٠- ملك محمدي فردانبه، بهرام، ١٣٧٨. ارائه يك روش مناسب براي تعيين بيمه سيلاب در محدوده مناطق شهري، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد، دانشكده مهندسي عمران دانشگاه صنعتي شريف، ٩٨ص.

11- Caissie, D. and E. J. Nassir. 1991. A Stochastic Study of Flood in Canada, Canadian Journal of Civil Engineering. PP.76-102.

12- Correia, E. N., M. G. Saraiva, F. N. Silva and I. Romos. 1999. Floodplain Management in Urban Development Area. Part II. GIS-Based Flood Analysis and Urban Growth Modeling. Water Resources Management, (13), PP.23-37.

13- Hoggan, Daniel H. “Computer Assisted, Floodplain Hydrology and Hydraulics” second Edition, 1997, MacGraw-Hill, PP. 323-344.

14- Hyalmarson, H. W. 1988. “Flood Hazard Zonation in Aridland.” Wesley Publishers.

15- Islam, M. D., and Kimitero Sado, 2000. Development of Flood Hazard Maps of Bangladesh Using NOAA- AVHRR Images with GIS. Hydrological Sciences Journal, 45(3). PP.42-48.

16- James, M. D. Larsen, M. D. and Glover, T. F., 1980. Floodplain Management Needs Precuiler to Arid Climates. Water Resources Bulletin 16 (6): PP.1020-1029.

17- 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), PP.11-20.

18- Lin, J. Y., S. L. Yu, and T. C. Lee, 2000. Managing Taiwan's Reservoir Watersheds By the Zoning Approach. Journal of American Water Resources Association 36(5): PP 989-1001.

19- Plate, E. J. 2002. Flood Risk and Flood Management, Journal of Hydrology 267, P.P.2-11.

20- Sargent, 1992. D. M., "Flood Management in Rockhampton, Australia, Floods and Flood Management Prepared by A. J. Saul, Kluwer Acadamic Publishers, 1992.

21- Stephen, R. 2002. Hydrologic Investigation by the U.S. Geological Survey Following the 1996 and 1997 Flood in the Upper Yellowstone River, Montana. American Water Resources Association 19th Annual Montana Section Metting, Section One, PP.1-18.

22- Yang, C.R. and C.T. Tsai. 2000. Development of a GIS-Based Flood Information System for Floodplain Management and Damage Calculation. Journal of the American Water Resources Association, 36(3), PP.567-577.

Flood Hazard Zonation and Assessment (case study- Ramian suburbs-Iran)

M. Gharib[1], A. Mosaedi[2] , A. Najafinejad[3], M. E. Yakhkeshi[4]

[1] Former M. Sc. Student of Gorgan, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I.R. Iran

[2] Associate prof, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I.R. Iran

[3] Assistant prof, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I.R. Iran

[4] Water Authority of Golestan province, I.R. Iran

(Received 2004 Oct 30 Accepted 2006 April 23)

Abstract

Flood is a natural phenomenon that inflicts damages and casualties throughout the world every year. For flood hazard zonation and determining the lands on the bank of the Gharachay River, located in the Ramian watershed, that may face flooding, a section of the river with a length of 8.5 km was selected. This length was divided into subsections with respect to morphological and hydraulogical characteristics, and 41 cross sections were chosen. Then, the Cowen method was adopted as the best method to determine the Manning's coefficient. In the next step, flow characteristics and geometrical specifications and the Manning coefficient for each cross section were inputted into the HEC-RAS software program and the water level profile for each return period was computed. Then, the AutoCad software program was employed to draw the flooding hazard zones and determine the flooding area and average depth of floods for all cross sections in various return periods. After determining the average area and depth of flood for hazardous areas, and by using flood damages functions, the amounts of damages in urban and agricultural regions were determined separately. Results of the research show that the amount of damages up to the 50-year return has a mild increasing trend, but after that the rate of damage increases sharply. Therefore, the 50-year return period has been interpreted to be the critical return period for this area.

Key words: Flood Zonation, HEC-RAS, Manning's Coefficient, Flood Damages, Ramian

* Corresponding author: Tel: 0171-4426942 , Fax: 0171-2245884 E-mail: mosaedi@yahoo.com