



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره ۵۸
تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۱۹۱-۲۰۷

*ایرج جباری^۱
رسول قبادیان^۲
مجید احمدی ملاوردی^۳

رابطه بین شاخص LFH و پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های مختلف (مطالعه موردی: رودخانه قره سو)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۲۶

چکیده

شاخص LFH با استفاده از پارامترهای مورفومتری رودخانه، احتمال سیل‌خیزی را در مئاندرها نشان می‌دهد، در حالی که مدل HEC-RAS داده‌های هیدرولوژیک و توپوگرافیک را برای پیش‌بینی مقدار سیل برای هر قطعه‌ای از حاشیه رودخانه به کار می‌گیرد. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از میزان رابطه بین این دو روش پیش‌بینی، امکان جایگزینی روشی ساده به جای مدل HEC-RAS ارزیابی شود. از این‌رو، نخست محدوده خاک‌ریزهای طبیعی در طی بازدید میدانی با دستگاه GPS تعیین حدود شد و پلان رودخانه از روی نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۰۰۰ ترسیم گردید. سپس مقدار شاخص LFH برای ۳۱ قوس رودخانه محاسبه گردید و با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS، پهنه سیل در دوره بازگشت‌های مختلف مشخص و ارتباط آن‌ها با مقادیر شاخص LFH با استفاده از نرم‌افزار SPSS بررسی شد. نتایج نشان داد بین پهنه‌های سیل و مقادیر شاخص LFH ارتباط معناداری وجود ندارد. با جایگزین کردن پهنه‌های سیل با فواصل بین خاک‌ریزهای طبیعی در شاخص LFH و ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترها، مقادیر LFH جداگانه‌ای برای هر دوره بازگشت محاسبه گردید و ارتباط آن‌ها با شاخص LFH اندازه‌گیری شده، مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین همبستگی با LFH

E-mail: Ir_Jabbari@yahoo.com

*۱- گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه (نویسنده مسئول).

۲- گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

محاسباتی ۲ ساله وجود دارد و می‌توان پهنه سیل ۲ ساله را به‌طور غیرمستقیم با مدل رگرسیون چند جمله‌ای درجه دوم پیش‌بینی کرد.

کلید واژه‌ها: خطر سیل، رودخانه قره‌سو، شاخص GIS, HEC-RAS, LFH

مقدمه

بین ویژگی‌های زمین ریخت‌شناسی و شرایط وقوع سیل ارتباط متقابلی وجود دارد (هو و یومیتسو^۴، ۲۰۱۱: ۱۰۸۲) و به همین دلیل ویژگی‌های مورفومتری رودخانه نقش مهمی در برآورد هیدرولیکی گسترش و عبور امواج سیل دارد (شام ۱۹۶۳ و لوکزی^۵ و همکاران، ۲۰۰۹). از آن جا که داده‌های هیدرولوژیک برای همه نقاط یک رودخانه نمی‌تواند وجود داشته باشد، اغلب پژوهشگران سعی می‌کنند از ویژگی‌های مورفومتری مجرای رود (موزلی^۶، ۱۹۷۹؛ ولف و برگر^۷، ۱۹۹۴؛ شیونو^۸، ۲۰۰۴؛ تیمار و گابریز^۹، ۲۰۰۸؛ افتخاری و همکاران، ۱۳۹۰؛ مساعدی و توکلی، ۱۳۸۲). وهابی (۱۳۸۵: ۴۰) یا دشت سیلابی (لسترا^{۱۰} و همکاران ۲۰۰۸؛ جباری و خزائی، ۱۳۹۰: ۷۳) برای برآورد ویژگی‌های هیدرولوژیک آن‌ها بهره ببرند.

لوکزی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از پارامترهای مورفومتری مجرای رود شاخصی تحت عنوان خطر محلی سیل^{۱۱} را معرفی کردند و با اعتقاد به این که کاهش فاصله بین دایک‌ها عامل افزایش خطر سیل هستند احتمال وقوع سیل در مجاری مئاندری پیش‌بینی کردند که به اتکا این مدل نیز بیانی خطیبی (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) به برآورد پتانسیل خطر سیل در رودخانه‌های شور و آبی‌چای پرداخت.

نتیجه کاربردی پیش‌بینی سیلاب‌ها با استفاده از ویژگی‌ها و شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفیک اغلب به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب ظاهر می‌شود. هرچند که این بررسی‌ها از لحاظ مقیاس مطالعاتی در مقیاس ناحیه‌ای و مقیاس منطقه‌ای صورت می‌گیرد (سرحدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲)، ولی بیش‌تر نقشه‌های خطر سیل در مقیاس محلی ۱:۲۰۰۰ تا ۱:۲۰۰۰۰ تهیه می‌شود (مرز^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۳۲). تهیه این نقشه‌ها عمدتاً براساس روش‌های هیدرولوژیک و ژئومورفولوژیک صورت می‌گیرد (هو و یومیتسو، ۲۰۱۱: ۱۰۸۲). مدل‌های هیدرولوژیک گوناگونی برای پیش‌بینی جریان در مجاری ارایه شده است که مدل هیدرولیک HEC-RAS در سال‌های اخیر در سطح

4- Ho & Umitsu

5- Loczy

6- Mosely and Muto

7- Wolff and Burges

8- Shiono

9- Timar & Gabris

10- Lastra

11- Local Flood Hazard (LFH)

12- Merz

گسترده‌ای به کار گرفته شده است (از جمله: اوزال و تارن^{۱۳}، ۲۰۰۶؛ قمی اویلی و همکاران، ۱۳۸۹؛ غفاری و همکاران، ۱۳۸۶؛ غفاری و امینی، ۱۳۸۹؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۱) و بعضی از پژوهشگران سعی نموده‌اند برای افزایش دقت آن از روش‌های آماری (ماسکورا^{۱۴} و احمد، ۲۰۰۷: ۵۹۱) و GIS و سنجش از دور (فیلیپ و استفان^{۱۵}، ۱۹۹۸: ۲۹۵) استفاده کرده و فاصله بین نیمرخ‌ها را کوتاه انتخاب کنند (صادقی و همکاران، ۱۳۸۲: ۴۵). با وجود این، جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز این مدل به برداشت‌های میدانی گسترده‌ای نیاز دارد که اغلب پر هزینه و وقت‌گیر می‌باشد و کالیبره کردن زبری بستر رودخانه در مقاطع مختلف و اعمال شرایط مرزی در محاسبات اغلب به بروز خطا می‌انجامد.

از سوی دیگر، استفاده از شاخص‌هایی مانند شاخص LFH هر چند که با سرعت بیشتری به برآورد سیل‌گیری قطعات رودخانه‌ای منجر می‌شود ولی این شاخص‌ها تنها بیان بالقوه‌ای از وقوع سیل با استفاده از عواملی مانند میزان پیچش مئاندر و فاصله خاک‌ریزهای طرفین مجرا هستند و برای اهداف کاربردی پهنه را بر اساس دوره بازگشت نشان نمی‌دهند. از این‌رو، در این پژوهش سعی می‌شود نشان داده شود که شاخص LFH با کدام یک از پهنه‌های سیل با دوره بازگشت‌های مختلف که با استفاده از مدل HEC-RAS مشخص شده، تطبیق می‌کند. در این صورت می‌توان مدلی به‌دست آورد تا از شاخص LFH پهنه سیل را برای هر قوس با دوره بازگشت معین برای حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری پیش‌بینی کرد.

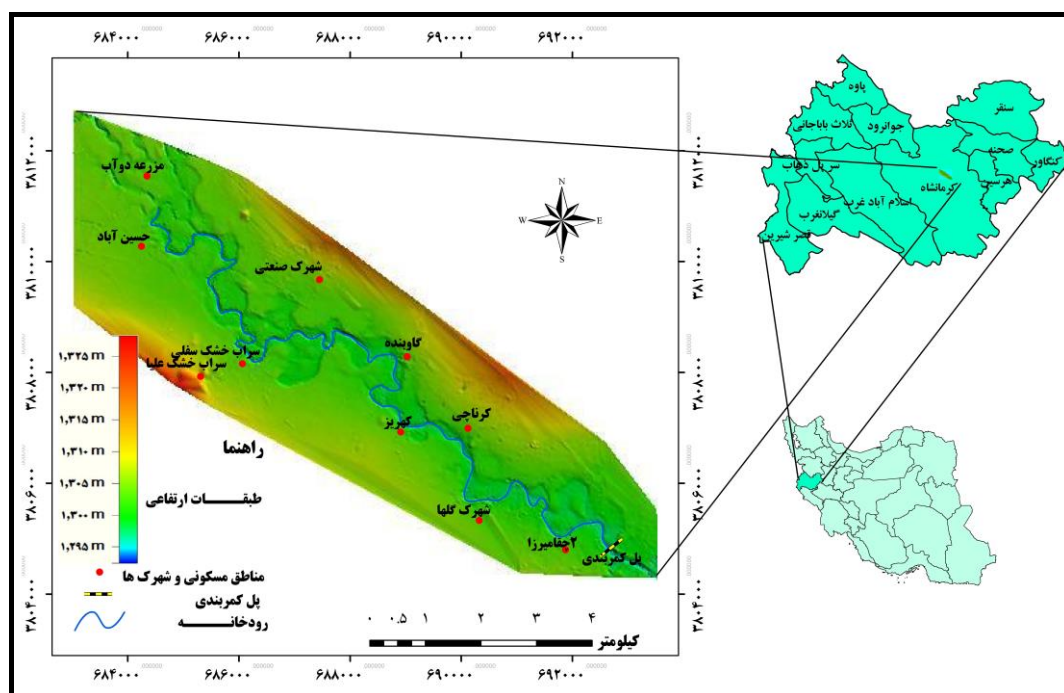
منطقه مورد مطالعه

رودخانه قره‌سو یکی از سرشاخه‌های رودخانه کرخه می‌باشد که از منطقه سراب روانسر سرچشمه گرفته و با پیوستن به رودخانه‌های مرگ و رازآور در محلی به نام دواب قزانچی رودخانه قره‌سوی بزرگ را به‌وجود می‌آورد. در ادامه، این رودخانه به موازات ناهمواری‌های زاگرس در جهت شمال‌غربی به جنوب‌شرقی جریان یافته و از شهر کرمانشاه عبور می‌کند تا سرانجام در منطقه هرسین به رودخانه گاماسیاب پیوسته و رودخانه سیمره را تشکیل می‌دهد. در این تحقیق قطعه‌ای از این رودخانه به طول ۱۸/۵ کیلومتر از دواب قزانچی تا ورودی شهر کرمانشاه (پل کمربندی امام حسین) مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). در این قطعه رود یک الگوی مئاندري را ساخته است؛ در حالی که در طی فرآیند تحول آن مجاری متروک و دریاچه‌های نعل اسبی زیادی نیز به جا مانده است که در سطح دشت سیلابی قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۲). اکنون در حواشی مجرا خاک‌ریزهای طبیعی عارضه اصلی رود به شمار می‌رود که عمدتاً از سیلت و رس تشکیل شده و با شیبی ملایم به سمت دشت سیلابی ادامه پیدا می‌کنند.

13- Usul & Turan

14- Mosquera

15- Philip & Stephen



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی ارتباط بین شاخص LFH که با استفاده از بعضی ویژگی‌های مورفومتری رودخانه به ارزیابی خطر وقوع سیل در رودخانه‌های مئاندری می‌پردازد و پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های مختلف که با مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS پیش‌بینی شده‌اند نخست میزان خطر محلی وقوع سیل (LFH) برای ۳۱ قوس رودخانه در طول بازه مورد مطالعه محاسبه شد (شکل ۳). در این رابطه، پارامترهای هندسی رودخانه که نقش مهمی در محاسبه پتانسیل سیل‌خیزی مسیرهای مئاندری دارند به کار گرفته شد. در طول یک رودخانه اندازه مسیر سیلاب‌ها را پهنای کمربند مئاندر (B) و مقطع عرضی دشت‌های سیلابی فعال، یعنی محدوده‌هایی که آخرین پشته‌ها و خاک‌ریزهای طبیعی ناشی از عبور سیلاب باقی مانده‌اند (d) کنترل می‌کند؛ بنابراین از نسبت فواصل بین پشته‌ها و خاک‌ریزهای طبیعی (d) و پهنای کمربند مئاندر (B) مسیر تقریبی فروکش سیلاب‌ها (FR)^{۱۶} تعیین می‌شود. همچنین از نسبت بین دامنه واقعی مئاندر (A_{act})^{۱۷} و بزرگ‌ترین مئاندر ممکن در مسیر رودخانه (A_{max})^{۱۸} می‌توان مرحله سازگاری مجرا (CA)^{۱۹} را محاسبه کرد. با توجه به این که محاسبه و اندازه‌گیری A_{max} بسیار دشوار است می‌توان به جای آن از d استفاده کرد و از اختلاف بین FR و CA خطر وقوع سیلاب (LFH) را در مسیر رودخانه‌های مئاندری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه نمود (لوکزی و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۰۶).

16- Floodway Reduction

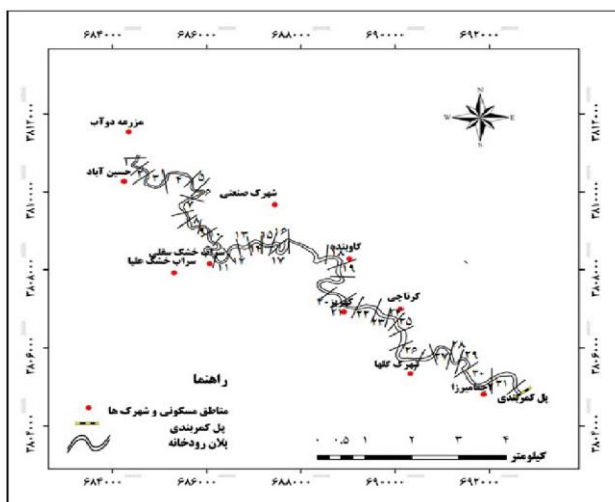
17- Actual meander Amplitude

18- The possible largest meander

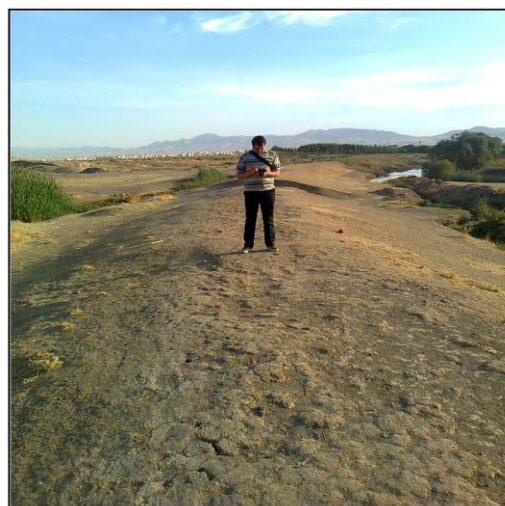
19- Channel Adjustment

$$LFH = 1 - (FR/CA) = 1 - (d/B)/(A_{act}/A_{max}) = 1 - (d^2/BA_{act}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

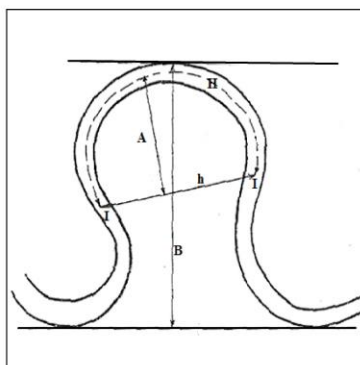
جهت محاسبه پارامترهای مورد نیاز ابتدا محدوده پشته ها و خاکریزهای طبیعی (d) با استفاده از دستگاه GPS تک فرکانسی مدل SV۵۰ به روش آنی^{۲۰} تعیین موقعیت شده (شکل ۲) و در محیط GIS بر روی نقشه های با مقیاس ۱:۲۰۰۰ منتقل گردید. استخراج پلان رودخانه قره سو از روی این نقشه ها (شکل ۳) اجازه داد تا پارامترهای هندسی مورد نظر اندازه گیری شوند. این پارامترها عبارت بودند از: نقاط عطف (I)، محور رودخانه (شکل ۴، H)؛ یعنی، طول کانال در امتداد خط مرکزی، طول دره (شکل ۴، h)؛ به عبارتی، فاصله دو نقطه عطف متوالی به خط مستقیم، پهنای کمر بند مئاندر (شکل ۴، B)؛ یعنی، حداکثر فاصله عرضی بین انحنای بیرونی دو قوس متوالی و بالاخره، دامنه واقعی مئاندر (شکل ۴، A)؛ یعنی، فاصله عمودی رأس مئاندر از محور رودخانه تا طول دره (h).



شکل ۳: پلان رودخانه قره سو و تعداد مئاندرهای اندازه گیری شده



شکل ۲: یکی از خاکریزهای طبیعی قره سو



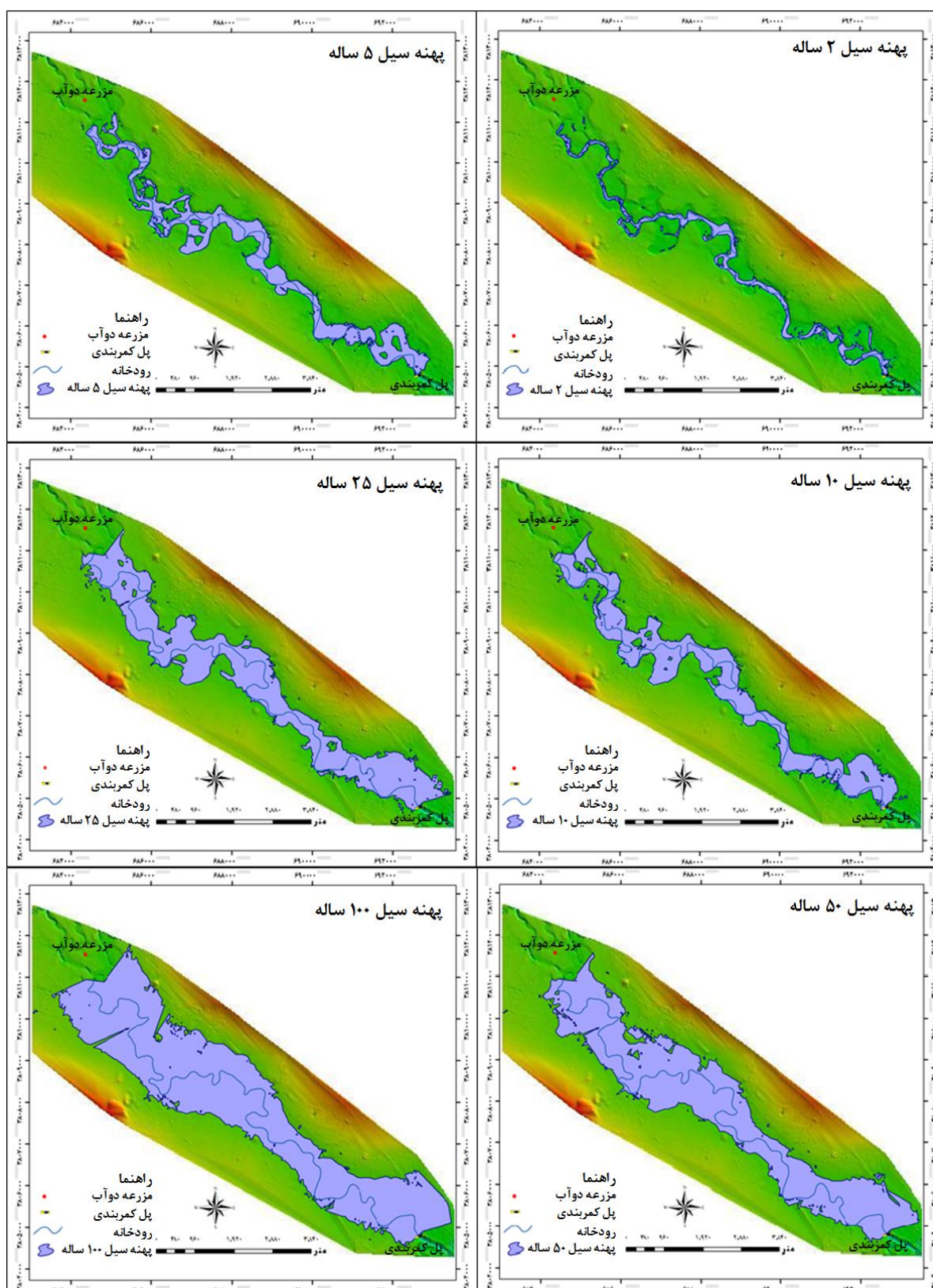
شکل ۴: پارامترهای مورفومتری رودخانه و روش اندازه گیری آنها

در مرحله بعد اقدام به تهیه نقشه پهنه سیل در دوره بازگشت‌های مختلف توسط مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS و GIS شد به این منظور ابتدا TIN منطقه مورد مطالعه از روی نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۰۰۰ که از سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه دریافت شده بود تهیه و اصلاح گردید.

از آنجا که نقشه کامل محدوده مورد مطالعه از ۲۵ برگ نقشه تشکیل شده بود در نرم‌افزار اتوکد به هم متصل شدند. در ایجاد این نقشه یکپارچه از محدوده مورد نظر به این نکته توجه شد که در تمام بخش‌های محدوده، مسیر رودخانه پهنای باندی در حدود ۴ کیلومتر داشته باشد تا در اجرای برنامه در هنگام پهنه‌بندی سیلاب مشکلی ایجاد نشود. برای انجام محاسبات و تجزیه و تحلیل جریان در نرم‌افزار HEC-RAS از مقاطع عرضی استفاده می‌گردد؛ ولی این مقاطع به دلیل این که از روی TIN استخراج می‌شوند از دقت مناسبی برای نمایش نتایج برخوردار نمی‌شوند. از این‌رو، برای افزایش دقت نتایج و به دست آوردن مقطع عرضی مناسب و نزدیک به واقعیت، نقاط مقطع عرضی با مقیاس ۱:۵۰۰ که توسط سازمان آب منطقه‌ای نقشه برداری شده بود به نقاط تشکیل دهنده TIN اضافه گردید و TIN منطقه اصلاح شد.

پس از آماده شدن TIN منطقه مورد مطالعه، برای شبیه‌سازی رودخانه و تهیه فایل ورودی به HEC-RAS از نرم‌افزار ARC GIS و الحاقیه HEC-GEORAS استفاده شد. بدین صورت که با استفاده از الحاقیه HEC-GEORAS داده‌های مورد نیاز مدل HEC-RAS از روی TIN منطقه استخراج گردید که شامل لایه‌های خط مرکزی جریان، سواحل رودخانه، مسیر جریان و مقاطع عرضی می‌باشد. سپس جهت اجرای مدل HEC-RAS ابتدا فایل داده‌های هندسی که در مرحله قبل تهیه شده بود، وارد گردید و در مرحله بعدی نیز کلیه اطلاعات هیدرولیک و جریان سیل از قبیل ضریب مانینگ، دبی، هیدروگراف‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، شیب بالادست و پایین‌دست به عنوان شرایط مرزی و غیره به مدل معرفی شد.

از آنجا که پدیده سیلاب در دسته جریان‌های غیردائمی قرار دارد از این‌رو برای پهنه‌بندی در این محدوده مطالعاتی، حالت جریان غیردائمی به مدل معرفی گردید. پس از اجرای محاسبات هیدرولیک در مدل HEC-RAS نتایج خروجی به صورت فایلی با فرمت SDF به Arc GIS ارسال گردید. این فرمت توسط الحاقیه HEC-GEORAS به فرمت XML جهت پس پردازش و ایجاد نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب تبدیل شد. در نهایت نقشه پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های مختلف در محیط GIS تهیه گردید (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه پهنه ی سیل در دوره بازگشت های مختلف

یا در مرحله آخر عرض پهنه‌های سیل در امتداد هریک از متاندرها اندازه‌گیری شد و ارتباط بین این عرض‌ها و LFH محاسباتی در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با شاخص LFH اندازه‌گیری شد و با استفاده از روش همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت بعد از این که مشخص گردید شاخص مذکور با چه دوره بازگشتی ضریب همبستگی بالایی دارد جهت به‌دست آوردن بهترین مدل پیش‌بینی، مدل‌های مختلف رگرسیون ارزیابی و مدلی که دارای بیش‌ترین ضریب تعیین (R^2) و کم‌ترین سطح معنی‌داری (sig) بود به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد.

یافته‌ها و بحث

بررسی خطر وقوع سیل رودخانه قره‌سو در بازه مورد بررسی با استفاده از پارامترهای مورد نیاز نشان می‌دهد که تقریباً ۵۰ درصد از قوس‌ها میزان سیل‌خیزی پایین (مقدار LFH کم‌تر از ۰/۴)، ۲۰ درصد سیل‌خیزی متوسط (مقدار LFH بین ۰/۴ تا ۰/۸) و ۳۰ درصد سیل‌خیزی زیاد (مقدار LFH بیش از ۰/۸) دارند. با این توضیح که ضرایب حاصل از شاخص مذکور هرچه به عدد یک نزدیک باشد خطر وقوع سیل زیاد و هرچه کم‌تر و یا منفی باشد خطر وقوع سیل کم است و امکان آب‌گرفتگی در طرف دیگر پشته‌ها و خاک‌ریزهای طبیعی (d) کاهش می‌یابد (جدول ۱).

جدول ۱- پارامترهای مورفومتریک برای محاسبه شاخص LFH

شماره	B	Aact	d	LFH
۱	۲۷۰/۹۸	۱۱۲/۸۲	۴۰/۱۴	۰/۹۴۷
۲	۲۲۹/۱۲	۹۴/۷۴	۱۵۶/۹۸	-۰/۱۳۵
۳	۴۳۸/۱۸	۱۹۴/۲۷	۱۰۵/۴۱	۰/۸۶۹
۴	۴۲۷/۵۱	۱۹۵/۶	۷۷/۵۳	۰/۹۲۸
۵	۱۸۶/۱۹	۷۶/۴۵	۱۳۲/۱۵	-۰/۲۲۷
۶	۳۱۴/۰۹	۱۱۵/۳۶	۲۸۲/۵۱	-۱/۲۰۳
۷	۳۲۳/۶۲	۱۴۸/۴۱	۱۱۹/۷۶	۰/۷۰۱
۸	۲۲۱/۳۸	۹۱/۳۱	۱۱۲/۳۱	۰/۳۷۶
۹	۲۴۸/۴۴	۱۰۹/۱۶	۱۱۱/۶۲	۰/۵۴۱
۱۰	۱۵۵/۱۱	۶۱/۵۷	۱۱۰/۵۸	-۰/۲۸
۱۱	۳۶۴/۱۲	۱۷۰/۰۴	۹۴/۴۴	۰/۸۵۶
۱۲	۲۲۴/۰۳	۹۷/۱۲	۱۴۸/۹	-۰/۰۱۹
۱۳	۱۲۸/۸۶	۴۹/۹۶	۸۶/۴۵	-۰/۱۶۱
۱۴	۱۶۸/۲۹	۷۰/۶۴	۱۱۲/۱۳	-۰/۰۵۸
۱۵	۱۲۳/۵۶	۴۸/۲۸	۱۴۴/۱۶	-۲/۴۸۴
۱۶	۲۱۱/۴۱	۹۵/۳۴	۵۰/۳۷	۰/۸۷۴
۱۷	۳۳۱/۹۹	۱۳۵/۰۴	۱۳۶/۹۲	۰/۵۸۲

ادامه جدول ۱- پارامترهای مورفومتریک برای محاسبه شاخص LFH

۱۸	۳۷۱/۲۴	۱۶۲/۰۷	۱۱۵/۸۴	۰/۷۷۷
۱۹	۱۲۶/۱۵	۴۹/۶۳	۹۵/۷۶	-۰/۴۶۵
۲۰	۱۷۸/۲۲	۷۳/۲۱	۱۳۴/۸۸	-۰/۳۹۴
۲۱	۲۵۲/۳۵	۱۱۳/۲	۱۰۹/۹۲	۰/۵۷۷
۲۲	۲۰۹/۹	۹۲/۳۵	۹۵/۳۲	۰/۵۳۱
۲۳	۱۲۰/۰۴	۴۶/۴۵	۱۶۱/۰۴	-۳/۶۵۱
۲۴	۱۵۱/۱۸	۶۳/۵۹	۱۳۸/۰۹	-۰/۹۸۴
۲۵	۸۸/۲۷	۳۰/۵۷	۹۸/۵۵	-۲/۵۹۹
۲۶	۷۷۷/۵۹	۳۵۷/۲۹	۱۳۷/۶۱	۰/۹۳۲
۲۷	۴۲۷/۹۳	۱۹۵/۵۴	۶۴/۵۳	۰/۹۵
۲۸	۲۴۴/۲۹	۹۸/۸۴	۲۰۰/۳۵	-۰/۶۶۲
۲۹	۲۸۲/۲۶	۱۱۱/۲۸	۵۵/۷۴	۰/۹۰۱
۳۰	۵۵۳/۵۷	۲۶۵/۸	۱۲۴/۳۴	۰/۸۹۵
۳۱	۵۱۴/۷۸	۲۱۵/۰۱	۱۳۱/۲۱	۰/۸۴۴

همبستگی بین شاخص LFH با فاصله بین پشته ها و خاک ریزهای طبیعی (d) و پهنه های سیل در دوره بازگشت های مختلف نشان می دهد که بین شاخص LFH و فاصله بین خاک ریزها رابطه معناداری وجود دارد ($r = -0.44$, $P < 0.05$)؛ اما بین شاخص LFH و پهنه های سیل در دوره بازگشت های مختلف رابطه معنادار نیست (جدول ۳).

جدول ۲- عرض پهنه های سیل برحسب متر در دوره بازگشت های مختلف. w100yr, w50yr, w25yr, w10yr, w5yr, w2yr به ترتیب عرض پهنه های سیل در دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله هستند

شماره	w2yr	w5yr	w10yr	w25yr	w50yr	w100yr
۱	۵۶/۹۲	۳۶۲/۲۱	۹۲۳/۳۷	۱۱۱۴/۷۷	۱۲۹۲/۷	۲۲۱۴/۶۸
۲	۸۸/۷۲	۹۵/۰۸	۳۱۸/۱۳	۱۱۰۷/۳۷	۱۲۵۷/۹	۲۱۹۷/۵۶
۳	۶۲/۷۲	۱۴۱/۸۶	۴۳۶/۹۸	۱۲۸۷/۱۵	۲۰۰۷/۶۹	۲۲۸۳/۹۸
۴	۵۴/۲	۱۸۷/۹۷	۳۳۰/۰۶	۱۲۷۴/۳۳	۱۵۳۰/۰۹	۲۴۷۶/۳
۵	۸۵/۳۸	۳۹۴/۱۹	۴۲۱/۱۸	۱۰۸۶/۴۹	۱۳۷۶/۴۵	۱۹۱۹/۴۹
۶	۷۷/۶۹	۲۷۹/۷	۳۳۸/۲۹	۹۱۸/۷۱	۱۰۶۳/۹۴	۱۹۹۶/۷۸
۷	۱۲۳/۳	۱۵۲/۹۴	۶۴۱/۱۳	۷۷۰/۹۲	۷۷۷/۲۶	۷۹۶/۳۸
۸	۷۱/۷۴	۱۰۸/۰۵	۸۰۳/۳۲	۸۶۱/۱۱	۱۱۴۸/۷۳	۱۷۸۴/۶۳
۹	۹۹/۹۲	۱۴۳/۸۶	۵۹۵/۲	۶۵۳/۷۷	۷۴۸/۸۵	۱۴۶۲/۰۸
۱۰	۱۱۲/۴۷	۴۲۳/۹	۵۰۴/۱۱	۶۱۴/۵۲	۶۷۸/۰۱	۱۶۵۲/۸۲
۱۱	۴۴/۳۷	۶۴/۸۸	۲۹۶/۴۱	۳۶۹/۲۲	۳۸۶/۳۵	۴۳۵/۴۹
۱۲	۱۰۱/۰۸	۱۲۸/۶۷	۱۷۲/۴۱	۳۶۸/۹۵	۱۳۸۵/۳۵	۱۸۵۵/۶
۱۳	۷۹/۲۱	۳۶۴/۷۷	۱۰۶۷/۳۷	۱۴۷۵/۹۵	۱۷۳۶/۶۵	۲۳۷۳/۲۹

جدول ۲- عرض پهنه‌های سیل برحسب متر در دوره بازگشت‌های مختلف. w2yr, w5yr, w10yr, w25yr, w50yr, w100yr به‌ترتیب عرض پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله هستند

۱۴	۱۰۳/۹۳	۱۶۳/۳	۱۰۵۲/۲۸	۱۱۴۸/۰۸	۱۷۷۴/۴۴	۱۹۳۹/۴۵
۱۵	۱۴۲/۳۹	۳۱۴/۰۱	۹۴۷/۱۸	۹۷۹/۸۶	۱۵۳۵/۳۵	۱۷۹۶/۳۲
۱۶	۱۲۳/۴	۶۳۵/۲	۶۹۰/۴۶	۱۵۳۱/۵۵	۱۷۳۳/۴۳	۱۸۹۵/۶۶
۱۷	۱۹۵/۰۶	۵۴۷/۳۴	۵۷۹/۳۴	۶۷۷/۷۹	۱۲۸۴/۸۱	۱۶۹۴/۸۱
۱۸	۱۴۲/۱۸	۳۵۴/۳۳	۴۴۵/۵۵	۱۰۱۹/۸۵	۱۲۵۴/۵۹	۱۴۳۲/۲۶
۱۹	۱۱۵/۹	۲۸۴/۳۱	۵۱۱/۱۴	۸۹۶/۶۵	۱۳۵۸/۲۶	۱۶۴۷/۴
۲۰	۹۷/۲۹	۲۰۱/۳۴	۳۱۷/۱۶	۶۳۶/۸۷	۷۷۱/۴۶	۸۷۸/۷۷
۲۱	۱۰۷/۲۲	۴۸۵/۲۲	۵۸۳/۴۵	۷۷۸/۴۷	۱۰۰۱/۰۵	۱۱۱۹/۶۱
۲۲	۱۰۲/۵۵	۲۰۹/۰۴	۳۵۵/۶۱	۳۰۹/۸۶	۵۲۵/۰۵	۸۳۳/۳۴
۲۳	۱۵۹/۵۶	۱۹۸/۲	۳۵۷/۳۴	۴۱۵/۷۴	۵۷۱/۲۱	۸۱۷/۷۳
۲۴	۱۱۶/۳۸	۱۴۰/۷۸	۶۸۷/۶۴	۴۷۰/۹	۶۱۳/۰۶	۷۷۷/۴۲
۲۵	۱۰۰/۳۳	۱۶۲/۷	۱۰۵/۰۷	۳۵۱/۹۹	۶۲۸/۳	۷۶۱/۵۹
۲۶	۱۵۹/۸۶	۴۴۹/۶۷	۵۸۳/۴۷	۹۴۹/۴۴	۱۰۰۴/۶۵	۱۰۸۱/۸۶
۲۷	۲۲۷/۰۶	۵۲۱/۹۴	۵۲۶/۱۶	۵۹۹/۴۶	۸۵۲/۵۶	۱۱۰۱/۷۵
۲۸	۲۳۱/۷۳	۳۴۰/۹۱	۴۲۳/۱۷	۶۷۹/۲۱	۸۸۶/۷۹	۱۰۶۶/۵
۲۹	۳۹/۴۱	۳۶۱/۰۸	۵۲۷/۸۲	۸۴۵/۲۴	۹۶۳/۲۲	۱۱۴۴/۵۱
۳۰	۱۳۱/۱	۱۷۹/۰۱	۱۱۱۶/۴۲	۱۱۷۵/۰۹	۱۲۵۷/۹	۱۳۴۲/۱۶
۳۱	۱۴۱/۸۷	۳۶۲/۷۶	۶۷۵/۲۵	۸۵۳/۹۵	۱۲۵۴	۱۵۳۷/۹۸

جدول ۳- همبستگی بین شاخص LFH با فاصله بین خاک‌ریزهای طبیعی و پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های مختلف

		LFH	d	w2yr	w5yr	w10yr	w25yr	w50yr	w100yr
LFH	همبستگی پیرسون	۱	-.۴۵۶**	-.۱۵۸	.۲۱۳	.۱۵۸	.۳۳۰	.۲۲۷	.۱۷۷
	معناداری (دو طرفه)		.۰۱۰	.۳۹۷	.۲۵۰	.۳۹۶	.۰۷۰	.۲۲۰	.۳۴۰
	تعداد داده	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱
**همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنادار است (دو طرفه)									

همان‌طور که قبلاً اشاره شد شاخص LFH حاصل بیان بین پارامترهای مختلف است یکی از این پارامترها فاصله بین خاک‌ریزهای طبیعی است که نشان‌دهنده عبور موج سیلاب می‌باشد. شاخص مذکور احتمال آب‌گرفتگی در طرف دیگر خاک‌ریزها به دلیل ناکافی بودن ظرفیت انتقال آب بین آن‌ها را هنگام وقوع سیل نشان می‌دهد از این‌رو جهت بررسی ارتباط پهنه سیل با شاخص LFH به‌طور غیرمستقیم، پهنه سیل اندازه‌گیری شده در دوره بازگشت‌های مختلف (جدول ۲) جایگزین فاصله بین خاک‌ریزها در شاخص LFH شد و در نتیجه برای هر دوره بازگشت شاخص LFH به‌صورت جداگانه محاسبه گردید و ارتباط آن با LFH اندازه‌گیری شده، مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴).

جدول ۴- شاخص LFH محاسباتی برای دوره بازگشت های مختلف. LFH2yr، LFH5yr، LFH10yr، LFH25yr، LFH50yr، LFH100yr به ترتیب LFH محاسباتی برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله می باشد.

شماره	LFH2yr	LFH5yr	LFH10yr	LFH25yr	LFH50yr	LFH100yr
۱	۰/۹۲۵	۰/۵۲۴	-۰/۲۱۲	-۰/۴۶	-۰/۶۹۷	-۱/۹۰۸
۲	۰/۳۱۲	۰/۳۵۸	-۱/۳۰۱	-۷/۰۱	-۸/۰۹۷	-۱۴/۸۹۲
۳	۰/۹۲۲	۰/۸۲۴	۰/۴۵۹	-۰/۵۹	-۱/۴۸۶	-۱/۸۲۸
۴	۰/۹۵	۰/۸۲۶	۰/۶۹۴	-۰/۱۸	-۰/۴۱۹	-۱/۲۹۶
۵	۰/۲۰۷	-۲/۶۶	-۲/۹۱	-۹/۰۹	-۱۱/۷۷۹	-۱۶/۸۲
۶	۰/۳۹۴	-۱/۱۸۱	-۱/۶۳۸	-۶/۱۶	-۷/۲۹۵	-۱۴/۵۶۹
۷	۰/۶۹۳	۰/۶۱۹	-۰/۵۹۹	-۰/۹۲	-۰/۹۳۸	-۰/۹۸۶
۸	۰/۶۰۱	۰/۴	-۳/۴۶۳	-۳/۷۸	-۵/۳۸۲	-۸/۹۱۵
۹	۰/۵۸۹	۰/۴۰۸	-۱/۴۵	-۱/۶۹	-۲/۰۸۲	-۵/۰۱۸
۱۰	-۰/۳۰۲	-۳/۹۰۸	-۴/۸۳۷	-۶/۱۲	-۶/۸۵۱	-۱۸/۱۳۸
۱۱	۰/۹۳۲	۰/۹۰۱	۰/۵۴۸	۰/۴۴	۰/۴۱۱	۰/۳۳۶
۱۲	۰/۳۰۸	۰/۱۱۹	-۰/۱۸	-۱/۵۲	-۸/۴۸۱	-۱۱/۶۹۹
۱۳	-۰/۰۶۴	-۳/۸۹۸	-۱۳/۳۳۳	-۱۸/۸۲	-۲۲/۳۲	-۳۰/۸۷
۱۴	۰/۰۲	-۰/۵۴	-۸/۹۲۵	-۹/۸۳	-۱۵/۷۳۷	-۱۷/۲۹۳
۱۵	-۲/۴۴۱	-۶/۵۸۸	-۲۱/۸۸۹	-۲۲/۶۸	-۳۶/۱۰۳	-۴۲/۴۰۹
۱۶	۰/۶۹۲	-۰/۵۸۷	-۰/۷۲۵	-۲/۸۳	-۳/۳۳۲	-۳/۷۳۷
۱۷	۰/۴۰۴	-۰/۶۶۹	-۰/۷۶۹	-۱/۰۷	-۲/۹۲۴	-۴/۱۷۶
۱۸	۰/۷۲۶	۰/۳۱۸	۰/۱۴۲	-۰/۹۶	-۱/۴۱۵	-۱/۷۵۸
۱۹	-۰/۷۷۳	-۳/۳۴۹	-۶/۸۱۸	-۱۲/۷۱	-۱۹/۷۷۵	-۲۴/۱۹۷
۲۰	-۰/۰۰۶	-۱/۰۸۱	-۲/۲۷۹	-۵/۵۸	-۶/۹۷۵	-۸/۰۸۴
۲۱	۰/۵۸۷	-۰/۸۶۷	۰/۵۱۷	-۲	-۲/۸۵۲	-۳/۳۰۸
۲۲	۰/۴۹۶	-۰/۰۲۸	-۰/۷۴۹	-۰/۵۲	-۱/۵۸۲	-۳/۰۹۸
۲۳	-۳/۶۰۸	-۴/۷۲۴	-۹/۳۲۱	-۱۱/۰۱	-۱۵/۴۹۷	-۲۲/۶۱۷
۲۴	-۰/۶۷۲	-۱/۰۲۲	-۸/۸۷۷	-۵/۷۶	-۷/۸۰۶	-۱۰/۱۶۷
۲۵	-۲/۶۶۴	-۴/۹۴۲	-۲/۸۳۷	-۱۱/۸۶	-۲۱/۹۴۶	-۲۶/۸۱۴
۲۶	۰/۹۲۱	۰/۷۷۷	۰/۷۱۱	۰/۵۳	۰/۵۰۲	۰/۴۶۴
۲۷	۰/۸۲۵	۰/۵۹۷	۰/۵۹۴	۰/۵۴	۰/۳۴۳	۰/۱۵
۲۸	-۰/۹۲۳	-۱/۸۲۹	-۲/۵۱۱	-۴/۶۴	-۶/۳۵۸	-۷/۸۴۹
۲۹	۰/۹۳	۰/۳۵۹	۰/۰۶۳	-۰/۵	-۰/۷۰۹	-۱/۰۳۱
۳۰	۰/۸۸۹	۰/۸۴۹	۰/۰۵۷	۰/۰۱	-۰/۰۶۳	-۰/۱۳۴
۳۱	۰/۸۳۲	۰/۵۷	۰/۲	-۰/۰۱	-۰/۴۸۷	-۰/۸۲۳

نتایج حاصل از این همبستگی نشان می‌دهد که بین شاخص LFH اندازه‌گیری شده (جدول ۱) و LFH محاسباتی^{۲۱} در دوره بازگشت‌های مختلف (جدول ۴) ارتباط معناداری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد، ولی میزان این ارتباط با دوره بازگشت‌های مختلف متفاوت است (جدول ۵). به این صورت که بیش‌ترین ارتباط با دوره بازگشت ۲ ساله (۰/۹۹۵) $r =$ و کم‌ترین ارتباط با دوره بازگشت ۱۰ ساله ($r = ۰/۶۶۴$) وجود دارد. نکته‌ای که در همبستگی بین داده‌های مذکور وجود دارد این است که میزان همبستگی تا دوره بازگشت ۱۰ ساله سیر نزولی دارد ولی در دوره بازگشت‌های بالاتر (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله) میزان همبستگی سیر صعودی پیدا می‌کند و شدت ارتباط رو به افزایش می‌گذارد.

جدول ۵- همبستگی بین شاخص LFH واقعی و LFH محاسباتی در دوره بازگشت‌های مختلف

	LFH	LFH ^۲ yr	LFH ^۵ yr	LFH ^{۱۰} yr	LFH ^{۲۵} yr	LFH ^{۵۰} yr	LFH ^{۱۰۰} yr
همبستگی پیرسون	۱	/۹۹۵**	/۸۳۶**	/۶۶۴**	/۷۴۱**	/۷۷۰**	/۷۹۳**
LFH معناداری (دوطرفه)		/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰
تعداد داده	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنادار است (دوطرفه)

با توجه به این که بیش‌ترین ارتباط بین خطر محلی سیل (LFH اندازه‌گیری شده) به‌عنوان متغیر مستقل و خطر وقوع سیل دوساله (LFH محاسباتی دوساله) به‌عنوان متغیر وابسته وجود دارد می‌توان با پیش‌بینی خطر سیل دوساله، به‌طور غیرمستقیم پهنه سیل در دوره بازگشت دوساله را برآورد کرد؛ بنابراین از تحلیل رگرسیون استفاده شد و جهت به‌دست آوردن بهترین مدل پیش‌بینی، مدل‌های مختلف رگرسیون ازجمله خطی، لگاریتمی، نمایی، توانی، چند جمله‌ای درجه دوم، درجه سوم، معکوس و لجستیک مورد بررسی قرار گرفت. در بین مدل‌های یاد شده مدل‌های چندجمله‌ای درجه سوم، درجه دوم و خطی مدل‌های مناسبی نشان دادند (شکل ۶) ولی مدلی که دارای بیش‌ترین ضریب تعیین (R^2) و کم‌ترین سطح معنی‌داری (sig) بود به‌عنوان بهترین مدل پیش‌بینی انتخاب شد؛ بنابراین مدل چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تعیین ۰/۹۹۷ و سطح معنی‌داری نزدیک به صفر به‌عنوان بهترین مدل انتخاب گردید (جدول ۶) که معادله آن به‌صورت رابطه (۲) زیر می‌باشد:

$$\text{LFH}_{2\text{yr}} = 0.145 + 0.838\text{LFH} - 0.058\text{LFH}^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

همان‌طور که قبلاً اشاره شد در محاسبه خطر سیل ۲ ساله، پهنه سیل ۲ ساله ($w_{2\text{yr}}$) جایگزین فاصله بین پشته‌ها و خاک‌ریزها در شاخص LFH گردید (رابطه ۳):

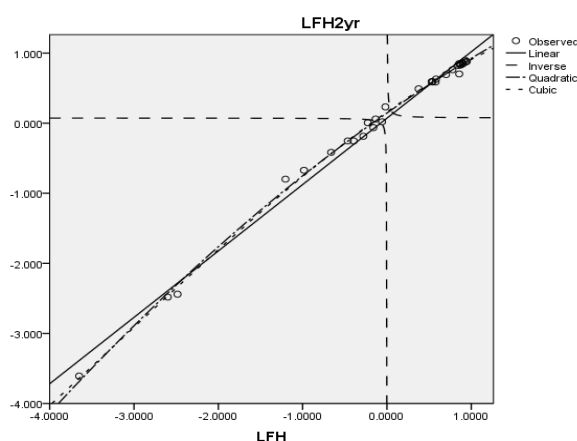
۲۰- منظور از LFH اندازه‌گیری شده، همان شاخص LFH می‌باشد که فاصله بین خاکریزهای طبیعی (d) در آن قرار گرفته ولی منظور از LFH محاسباتی، شاخصی است که پهنه‌های سیل به جای فاصله بین خاک‌ریزهای طبیعی به کار رفته است.

$$LFH2yr = 1 - \frac{W2yr}{B} \quad \text{رابطه (۳)}$$

بنابراین جهت استخراج پهنه سیل ۲ ساله (w2yr) برای هریک از قوس های رودخانه ابتدا از معادله رگرسیون چندجمله ای درجه دوم، خطر سیل ۲ ساله (yrLFH) پیش بینی می شود رابطه (۲). سپس با توجه به رابطه (۳) پهنه سیل ۲ ساله به صورت رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$W2yr = [1 - LFH2yr] B \quad \text{رابطه (۴)}$$

لازم به ذکر است که متغیر (LFH2yr) در رابطه (۴) مقدار خطر سیل ۲ ساله است که از مدل رگرسیون چند جمله ای درجه دوم در رابطه (۲) پیش بینی می شود.



شکل ۶: پراکنش داده های LFH اندازه گیری و محاسباتی ۲ ساله

جدول ۶- خلاصه نتایج مدل های رگرسیونی

Equation		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	R Square	R
		B	Std. Error	Beta				
Linear	LFH	/۹۴۷	/۰۱۸	/۹۹۵	۵۲/۸۲۴	/۰۰۰	/۹۹	/۹۹۵
	(Constant)	/۰۷۱	/۰۲۰		۳/۵۰۴	/۰۰۲		
Inverse	۱ / LFH	/۰۰۵	/۰۲۰	/۰۴۷	/۲۵۶	/۸۰۰	/۰۰۲	/۰۴۷
	(Constant)	/۰۷۴	/۲۰۷		/۳۵۸	/۷۲۳		
Quadratic	LFH	/۸۳۸	/۰۱۷	/۸۸۰	۴۹/۳۷۰	/۰۰۰	/۹۹۷	/۹۹۸
	LFH ** ۲	-/۰۵۸	/۰۰۷	-/۱۴۳	-۷/۹۸۲	/۰۰۰		
	(Constant)	/۱۴۵	/۰۱۵		۹/۸۵۹	/۰۰۰		
Cubic	LFH	/۸۴۵	/۰۱۷	/۸۸۷	۴۸/۹۶۰	/۰۰۰	/۹۹۷	/۹۹۹
	LFH ** ۲	-/۰۸۷	/۰۲۱	-/۲۱۵	-۴/۰۸۵	/۰۰۰		
	LFH ** ۳	-/۰۰۹	/۰۰۶	-/۰۷۹	-۱/۴۵۹	/۱۵۶		
	(Constant)	/۱۶۱	/۰۱۸		۸/۹۴۵	/۰۰۰		

در این تحقیق شاخص LFH محاسبه و نشان داده شد که حدود ۷۰ درصد از قوس‌های رودخانه سیل‌خیزی متوسط تا کمی دارند، ولی ارتباط ضعیف و معکوسی ($r = -0.456$) بین مقدار شاخص LFH و فاصله بین پشته‌ها و خاک‌ریزهای طبیعی وجود دارد و این از نظر منطقی درست به نظر می‌رسد؛ زیرا، هر اندازه فاصله پشته‌ها افزایش می‌یابد سیل‌گیری آن به فاصله برگشت بیشتری نیاز پیدا می‌کند و همچنین شاخص LFH غیر از عامل یادشده به عوامل دیگری نیز ارتباط دارد و این میزان اثرگذاری فاصله خاک‌ریزها در پیش‌بینی سیل رقم صحیحی است که نشان‌گر اندازه‌گیری‌های دقیق حاصل از دستگاه GPS تک فرکانسی و دقت محاسبات می‌باشد. از سوی دیگر لوکزی و همکاران (۲۰۰۹) نیز به این نکته رسیدند که هر اندازه فاصله بین خاک‌ریزهای طبیعی کم باشد میزان سیل‌خیزی هریک از مئاندرها افزایش می‌یابد؛ ولی عدم ارتباط شاخص LFH با پهنه‌های سیل حاصل از مدل HEC-RAS به عوامل بنیادی دیگری بستگی دارد که برای اهداف کاربردی نیاز به تغییرات در شاخص LFH را ضروری می‌گرداند. شاخص LFH در رودخانه‌های مئاندری کاربرد دارد از این‌رو در رودخانه‌هایی که دارای الگوی مستقیم هستند نمی‌توان از آن استفاده کرد (لوکزی و همکاران) در حالی که مدل HEC-RAS در رودخانه‌های با الگوی متفاوت به کار گرفته می‌شود. شاخص مذکور با استفاده از خصوصیات هندسی رودخانه پتانسیل سیل‌خیزی هر قوس را به‌صورت مجزا نشان می‌دهد که از مزیت کاربرد این شاخص در حوضه‌های فاقد داده‌های هیدرولوژیک محسوب می‌شود؛ بنابراین می‌توان با استفاده از آن، هریک از قوس‌های رودخانه را در بخش‌های مختلف به‌دلخواه انتخاب و میزان سیل‌خیز بودن آن را مشخص کرد؛ به عبارت دیگر لزومی ندارد که در بازه‌ای از رودخانه قوس‌های متوالی انتخاب شود. در حالی که مدل HEC-RAS با استفاده از خصوصیات هیدرولیک جریان پهنه سیل در تمام بخش‌های رودخانه را به‌صورت ممتد نشان می‌دهد. از طرفی مدل مذکور پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌ها مختلف را با دقت بالایی پیش‌بینی می‌کند؛ ولی شاخص LFH احتمال آب‌گرفتگی در طرف دیگر موانع طولی کنار رودخانه مانند پشته‌ها و خاک‌ریزهای طبیعی به دلیل ناکافی بودن ظرفیت انتقال آب بین آن‌ها را هنگام وقوع سیل نشان می‌دهد. باوجود این، در این شاخص معلوم نیست وقوع سیل با چه دوره بازگشتی آب از خاک‌ریزها بیرون می‌زند. از این‌رو اگر فاصله بین پشته‌ها و خاک‌ریزهای حاشیه رودخانه در شاخص LFH که نشان دهنده عبور موج سیلاب است به‌جای پهنه‌های مختلف سیل که توسط مدل HEC-RAS به‌دست آمده فرض شود به‌نوعی می‌توان گفت شاخص LFH مانند مدل HEC-RAS حداقل پیش‌بینی کننده یک پهنه سیل می‌باشد. بنابراین، شاخص LFH در واقع بیان بالقوه سیل‌گیری هر قوسی از مئاندر براساس ویژگی‌های مورفومتریک هر قوس می‌باشد در حالی که در مدل HEC-RAS ظرفیت تحمل سیل هر بخشی از ناحیه بر اساس ویژگی‌های توپوگرافیک و هیدرولیک پیش‌بینی می‌شود. بنابراین، جهت استفاده از شاخص LFH به‌جای مدل HEC-RAS نخست باید تغییراتی در عوامل شاخص LFH به کار گرفته شود و سپس به جستجوی عوامل مورفومتریکی باید بود تا پیش‌بینی را حتی در مجاری مستقیم نیز انجام دهد. در این تحقیق با جایگزین کردن پهنه‌های سیل با فواصل بین پشته‌ها و خاک‌ریزهای طبیعی (d) در شاخص LFH و ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترها (پهنای کمربند مئاندر (B)، دامنه واقعی مئاندر (A_{act}) و بزرگ‌ترین مئاندر

ممکن در مسیر رودخانه (A_{max}) سعی شد LFH محاسباتی برای هر دوره بازگشت به دست آید (جدول ۴). نتایج نشان داد که ارتباط معنی داری بین LFH های واقعی و LFH های محاسباتی وجود دارد ولی این روابط در دوره های بازگشت مختلف به طور متفاوت ظاهر می شود که برای اهداف پیش بینی تنها پهنه های سیل ۲ ساله با مدل رگرسیون چند جمله ای درجه سوم قابل پیش بینی می گردد ($r = 0.958$, $p < 0.01$) و این از نظر منطقی درست به نظر می رسند؛ زیرا، محدوده پهنه سیل در دوره بازگشت ۲ ساله همگون است و مطابقت بیشتری با محل پشته ها و خاکریزهای طبیعی دارد؛ به عبارتی، سیلاب های با دوره بازگشت ۲ ساله به وسیله خاکریزهای کنار رودخانه محدود شده و اراضی حاشیه رودخانه را در بر نمی گیرد. از سوی دیگر پارامترهای به کار رفته در شاخص LFH، خطر سیل در مقیاس محلی یعنی در قوس ها و اراضی حاشیه رودخانه را نشان می دهد نه محدوده های خارج از دشت سیلابی فعال را. از این رو، منطقی است که LFH واقعی با LFH محاسباتی ۲ ساله بیشترین همبستگی را داشته باشد. ولی در دوره بازگشت های بالاتر اراضی خارج از محدوده خاکریزهای طبیعی نیز دچار آب گرفتگی می شوند. این آب گرفتگی به دلیل شیب ناچیز دشت سیلابی در سطح وسیع تر صورت می گیرد که به موازات مجرا در حواشی نزدیک به بستر گستره ناهمگونی پیدا می کند ولی در دورتر از مجرا این گستره کمی یکنواخت تر رخ می دهد؛ زیرا، تحول و تغییرات بستر رودخانه مانند جابه جایی مئاندرها و ایجاد دریاچه های نعل اسبی در نزدیک مجرای فعلی توپوگرافی ناهمواری را به جا گذاشته است که عامل جریان ناهمگون آب به موازات مجرا در سیلاب های با دوره بازگشت ۵ تا ۱۰ ساله و از این رو تأثیر آن در رابطه ضعیف LFH واقعی با LFH محاسباتی ۵ و ۱۰ ساله می باشد. در حالی که هموار شدن دشت سیلابی در فواصل دورتر از مجرا باعث می شود این اراضی تقریباً به صورت یکنواخت زیر پوشش سیل بروند و روند افزایش همبستگی LFH اندازه گیری شده با LFH محاسباتی ۲۵ ساله و بالاتر را توجیه کنند (شکل ۵).

نتیجه گیری

در این پژوهش دو نتیجه مهم به دست آمد: نخست این که شاخص مورفومتری رودخانه ها مانند پهنای کمربند مئاندر، دامنه واقعی مئاندر، عرض دشت سیلابی فعال در حد فاصل بین پشته ها و خاکریزهای طبیعی و میزان تحول رودخانه نقش مهمی در برآورد هیدرولیک گسترش و عبور امواج سیل دارد؛ نتایجی که محققان زیادی نیز به آن تأکید کرده اند (مانند شام ۱۹۶۳؛ لوکزی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ۲۰۰؛ تیمار و گابریز، ۲۰۰۸؛ ۲۵۰؛ لسترا و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۲۷۷). دوم این که این امکان وجود دارد تا براساس داده های حاصل از مورفومتری رودخانه ها پیش بینی را حتی تا سطح مدل های پیشرفته و پیچیده ای مانند HEC-RAS انجام داد و ممکن است این امکان نیز وجود داشته باشد تا فراتر از مورفومتری مجاری با جایگزینی مورفومتری دشت های سیلابی که جباری و خزائی (۱۳۹۰: ۷۳) نیز براساس آن پیش بینی انجام داده اند، شاخص جدیدی تعریف شود تا آن شاخص جایگزینی برای مدل های پیچیده ای که به پهنه آب گرفتگی با دوره های برگشت مختلف می پردازند، باشد.

منابع

- افتخاری، ا؛ سلاجقه، ع؛ حسینی، س (۱۳۹۰)، «ارزیابی پهنه‌بندی سیل با تغییرات ضریب زبری (مطالعه موردی: رودخانه اترک)»، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، شماره ۱۲، صص ۹۱-۱۰۶.
- بیاتی‌خطیبی، م (۱۳۹۰)، «بررسی پتانسیل وقوع سیل در مسیر رودخانه‌های مائندری با استفاده از شاخص LFH (مطالعه موردی: رودخانه شور واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند)»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۷۵، صص ۱-۱۶.
- بیاتی‌خطیبی، م (۱۳۹۱)، «بررسی و برآورد سیلاب‌های مسیر رودخانه‌های مائندری با استناد به تغییرات قوس خمیدگی مسیر رود (مطالعه موردی: رود آجی چای در شمال غرب ایران)»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره ۳، صص ۳۹-۵۶.
- جباری، ا؛ خزائی، ع (۱۳۹۰)، «پیش‌بینی آب‌گرفتگی دشت کرمانشاه با استفاده از نقشه‌های زمین‌ریخت‌شناسی»، *جغرافیا و توسعه*، شماره ۲۲، صص ۷۳-۸۸.
- سرحدی، ع؛ سلطانی، س؛ مدرس، ر (۱۳۸۷)، «تحلیل خطر سیل گرفتگی با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی-HEC-RAS و HEC-GeoRAS در منطقه جیرفت»، *مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز*، صص ۱-۹.
- صادقی، س؛ جلالی‌راد، ر؛ علی‌محمدی سراب، ع (۱۳۸۲)، «پهنه‌بندی سیل با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی حوضه آبخیز شهری داراباد تهران)»، *پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر*، شماره ۲، صص ۳۴-۴۷.
- غفاری، گ؛ امینی، ع (۱۳۸۹)، «مدیریت دشت‌های سیلابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی رودخانه قزل اوزن)»، *فصلنامه فضای جغرافیایی*، شماره ۳۲، صص ۱۱۷-۱۳۴.
- غفاری، گ؛ سلیمانی، ک؛ مساعدی، ا (۱۳۸۶)، «پهنه‌بندی خطر و ارزیابی خسارت سیل با استفاده از HEC-GeoRAS (مطالعه موردی رودخانه بابلرود)»، *نشریه منابع طبیعی ایران*، شماره ۶۰، صص ۴۳۹-۴۵۱.
- قمی‌اوایی، ف؛ صادقیان، م؛ جاوید، ا؛ میرباقری، س (۱۳۸۹)، «شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز)»، *فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی*، شماره ۱، صص ۱۰۵-۱۱۵.
- مساعدی، ا؛ توکلی، م (۱۳۸۲)، «بررسی مناسب‌ترین روش تعیین ضریب مانینگ و پهنه‌بندی خطر سیل در بخشی از اترک میانی (مراوه)»، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۴، صص ۱۵۳-۱۶۰.
- وهابی، ج (۱۳۸۵)، «پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: طالقان رود)»، *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، شماره ۷۱، صص ۳۳-۴۰.

- یمانی، م؛ تورانی، م؛ چزغه، س (۱۳۹۱)، «تعیین پهنه های سیل گیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی:

بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته)»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره ۱، صص ۱۵-۱.

- Ho, T. K., Umitsu, M., (2011), "Micro-landform classification and flood hazard assessment of the Thu Bon alluvial plain, central Vietnam via an integrated method utilizing remotely sensed data" *Applied Geography*, 31: 1082-1093.

- Loczy, D., Kis, E., Schweitzer, F., (2009), "Local flood hazards assessed from channel morphometry along the Tiza River in Hungary", *Geomorphology*, 113: 200-209.

- Lastra, J., Fernandez, E., Diez-Herrero, A., Marquinez, J., (2008), "Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian peninsula", *Nat Hazards*, 45: 277-293.

- Merz, B., Thielen, A. H., Gocht, M., (2007), "Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges", In: S. Begum et al. (eds.), *Flood Risk Management in Europe*, Springer, 231-251.

- Mosely, M. P., (1979), "Prediction of hydrologic variables from channel morphology, South Island Rivers", *Nal of Hyrology*, 18 (2): 109-120.

- Mosquera-Machado, S., Ahmad, S., (2007), "Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia", *Water Resource Manage*, 21: 591-609.

- Philip, A. T., Stephen, J. W., (1998) "Modeling flood plain inundation using an integrated GIS with radar and optical remote sensing", *Geomorphology*, 21: 295-312.

- Schumm, S. A., (1963), "Sinuosity off alluvial channels on the Great Plains", *Geological Society of America Bulletin*, 74: 1089-1100.

- Shiono, K., Muto, Y., (1998), "Complex flow mechanisms in compound meandering channels with overbank flow", *Journal of Fluid Mechanic, Cambridge University Press*, 376, 221-261.

- Timar, G., Gabris, G., (2008), "Estimation of water conductivity of natural flood channels on the Tisza flood-plain, the Great Hungarian Plain", *Geomorphology*, 98: 250-261.

- Usul, N., Turan, B., (2006), "Flood forecasting and analysis within the Ulus Basin, Turkey, using geographic information systems", *Nat Hazard*, 39: 213-229.

- Wolff, G. G., Burges, S. J., (1994), "An analysis of the influence of river channel properties on flood frequency", *Journal of Hydrology*, 154: 317-337.