

انواع جریان‌های سیلابی رخ داده در رودخانه مادرسو (در اثنای سیلاب‌های کاتاستروفیک مرداد ماه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱)

مجتبی یمانی* - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

جمشید جداری عیوضی - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

مهناز جهادی طرقي - استادیار دانشگاه پیام نور مرکز فریمان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۶/۷/۹ تأیید مقاله: ۱۳۸۸/۳/۲

چکیده

سیلاب‌های شدید مردادماه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ حوضه رودخانه مادرسو از نظر نوع جریان با سیلاب‌های عادی تفاوت‌های زیادی داشته است، به طوری که تغییرات عمده‌ای را در ریخت‌شناسی (مورفولوژی) حوضه ایجاد کرده است. این پژوهش با استفاده از روش‌های توصیفی - تحلیلی و ابزارهایی چون عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه و اندازه‌گیری‌های حاصل از برداشت‌های میدانی و عکس‌های زمینی به بررسی و تقسیم‌بندی انواع جریان‌های سیلابی وقوع یافته در رودخانه مادرسو (جنگل گلستان) پرداخته است. تجزیه و تحلیل در قالب روش حوضه‌ای و داده‌های ایستگاه هیدرومتری با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک و سرانجام تطبیق آنها با یافته‌های روی زمین انجام پذیرفته است. نتایج نشان می‌دهد که از تعداد ۷۵ زیرحوضه واقع در حوضه‌های تنگراه و جنگل گلستان، قیزقلعه و دشت، حدود ۴۲ زیر حوضه دچار جریان‌های سیلابی معمولی شده است، در حالی که ۳ زیرحوضه با جریان‌های بسیار غلیظ و ۳۰ زیرحوضه نیز با جریان‌های مواد مواجه بوده‌اند. مسئله مهمی که مورد تأکید قرار گرفته، این است که حجم جریان‌های بسیار غلیظ، جریان‌های مواد، جریان‌های چوبی و دبی‌های آنها، بسیار بزرگ‌تر از جریان‌های سیلابی معمولی است. بدیهی است که در برنامه‌ریزی‌های آبی برای طراحی هر سازه‌ای در مسیر رودخانه، باید این مسئله پیش‌بینی شود.

کلیدواژه‌ها: رودخانه مادرسو، جنگل گلستان، سیلاب کاتاستروفیک، سیلاب معمولی، جریان مواد.

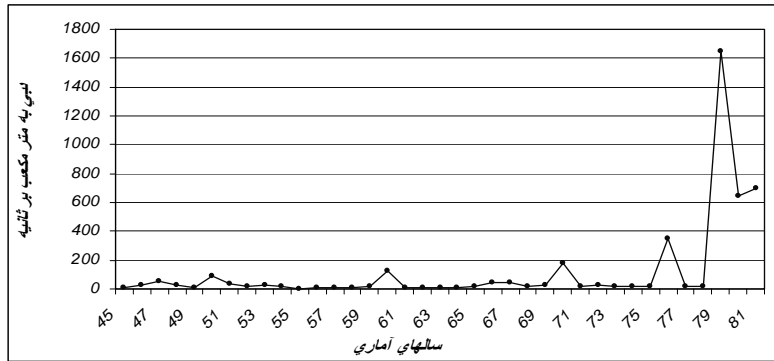
مقدمه

در مردادماه سال ۱۳۸۰ به دنبال وقوع بارشی شدید و ناگهانی، سیلابی ویرانگر و عظیم در شرق استان گلستان در بخشی از حوضه آبریز رودخانه گرگانرود (حوضه رودخانه مادرسو) رخ داد که از نظر زمان وقوع، میزان دبی و شدت عملکرد، حداقل در یکصد سال اخیر بی‌سابقه بوده است. در اثنای این سیلاب، حدود ۳۰۰ نفر از ساکنان و مسافران منطقه جان باختند و طی چند ساعت تغییرات عمده‌ای در چشم‌انداز حوضه ایجاد شد. مقادیر دبی و شدت این سیلاب در مقایسه با میانگین سیلاب‌های سالانه و همین‌طور مقادیر حداکثر دبی‌های لحظه‌ای ثبت شده ۵ دهه اخیر حوضه، بی‌سابقه بوده

است (شکل ۱). با توجه به تخریب تنها ایستگاه هیدرومتری حوضه، دبی این سیلاب براساس روش‌های مرسوم برآورد شد و حدود ۱۶۵۰ مترمکعب بر ثانیه اعلام گردید. با توجه به معیارهایی چون شدت زیاد، ناگهانی بودن پدیده سیلاب و آثار به‌جا مانده از قبیل وجود قطعات فراوان سنگ‌های با قطر بیش از یک متر در کف و کناره‌های کانال و روی برخی از مخروط‌افکنه‌ها (Zielinski, 2003, 294) آثار جراحات شدید روی تنه درختان (Baker, 2002, 3) و همین‌طور دوره برگشت طولانی آن این سیلاب را می‌توان در گروه سیلاب‌های کاتاستروفیک^۱ قرار داد. لازم به ذکر است که دوره برگشت این سیلاب، ۵۵ سال تا ۲۰۰ سال (معاونت آبخیزداری جهاد کشاورزی، ۱۳۸۱، ۲۴) برآورد شده است. سیلاب‌های شدید سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ حوضه مادرسو، باعث شکل‌گیری جریان‌های ویژه‌ای گردید که ویژگی‌انها با جریان‌های سیلابی معمولی با دبی مایع متفاوت بوده و این ویژگی موضوع اصلی این تحقیق را تشکیل داده است.

توصیف و تشریح انواع جریان‌های سیلابی، خصوصاً جریان‌های غلیظ و مواد، در دهه‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران علوم زمین و از جمله بسیاری از ژئومورفولوژیست‌ها قرار گرفته است. از جمله آنها، جانسون^۲، ۱۹۷۰؛ کوستا، ۱۹۸۴ و ۱۹۸۸؛ جانسون و ردین^۳، ۱۹۸۴؛ هونگر^۴ و همکاران، ۱۹۸۴؛ وان‌دین^۵، ۱۹۸۵؛ پیرسن^۶، ۱۹۸۶؛ بستجا^۷ و همکاران، ۱۹۸۷؛ کوستا و ویزروک^۸، ۱۹۸۸؛ کیفر^۹ و همکاران، ۱۹۸۷؛ پیرسون و کوستا، ۱۹۸۷؛ الن^{۱۰}، ۱۹۸۸؛ الن و ویزروک، ۱۹۸۸؛ گریتا و بارتولومی^{۱۱}، ۱۹۸۹؛ سووا، ۱۹۹۳؛ جردن، ۱۹۹۴؛ جاکوب و بوویس^{۱۲}، ۱۹۹۶؛ چن^{۱۳}، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۵؛ آرمانینی^{۱۴}، ۱۹۹۷؛ بوویس و جاکوب، ۱۹۹۹؛ ویزروک و ناصر^{۱۵}، ۲۰۰۰؛ جاکوب و همکاران، ۲۰۰۰؛ جاکوب و جردن، ۲۰۰۱؛ مونتگمری^{۱۶}، ۲۰۰۳؛ جاکوب، ۲۰۰۵؛ گلد، ۲۰۰۵ و افراد بسیار دیگری در سراسر دنیا، البته به موازات مطالعات شناختی پدیده جریان مواد، تلاش‌های رو به تزایدی نیز در زمینه مدل‌سازی پدیده جریان مواد و تعیین بزرگی آن صورت گرفته است. گرچه روش‌های تخمینی تکوین توسعه یافته‌اند، (Augustine & Marchi, 2001, 657-663; Franzi & Biyanko, 2001, 683-688; Ambosia et al., 2007; Genovese et al., 623-631) ولی ارزیابی بزرگی جریان مواد هنوز به‌دلیل وجود مشکلات جدی در کمی کردن عوامل مؤثر امکان‌پذیر نیست، و استفاده از فرمول‌های پیشنهادی در بسیاری از موارد، نتایج بسیار متفاوتی را به دست می‌دهد.

1. Catastrophic
2. Johnson
3. Rodin
4. Hungr
5. Van Dine
6. Pierson
7. Beschta
8. Wiczorek
9. Keefer
10. Ellen
11. Gryta & Bartholomew
12. Bovis
13. Chen
14. Armanini
15. Naeser
16. Montgomery



شکل ۱. مقادیر حداکثرهای دبی لحظه‌ای حوضه مادرسو (ایستگاه هیدرومتری تنگراه)

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه مادرسو (دوغ) یکی از زیرحوضه‌های اصلی رودخانه گرگان‌رود است که با وسعت ۲۱۲۰ کیلومتر مربع در جنوب شرق دریای خزر قرار دارد. این منطقه بین $55^{\circ}30'30''$ تا $56^{\circ}27'41''$ طول شرقی و $37^{\circ}04'42''$ تا $37^{\circ}28'38''$ عرض شمالی قرار گرفته است و بخش‌هایی از سه استان خراسان شمالی، سمنان و گلستان را شامل می‌شود. در این تحقیق، حوضه رودخانه مادرسو به ۵ زیرحوضه کوچک‌تر به نام‌های چشمه‌خان، دشت‌شیخ، قیزقلعه، نردین و تنگراه (جنگل گلستان) تقسیم شده است (شکل ۲). البته تفاوت‌های زیادی از نظر شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی و ژئومورفولوژی بین زیرحوضه تنگراه با دیگر زیرحوضه‌های این حوضه وجود دارد.



شکل ۲. موقعیت حوضه مورد مطالعه و زیرحوضه‌های اصلی آن (معصومی، ۱۳۸۱، ص. ۹۳)

مواد و روش‌ها

طبقه‌بندی و تفکیک انواع جریان‌ها در حوضه مورد مطالعه، بر مبنای شواهد رسوب‌شناسی و ژئومورفولوژی جریان‌ها و نیز محاسبات خصوصیات هندسی مسیر و بستر آبراهه‌ها از طریق مدل‌های ریاضی و سپس شاخص پوشش گیاهی صورت گرفته است. ابزارهای مورد استفاده را عمدتاً نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ به عنوان نقشه‌های پایه و همچنین تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا (Quick Bird سال ۲۰۰۴ و IRS سال ۱۹۹۸) و ابزارهای میدانی نظیر GPS تشکیل داده‌اند. بخش عمده‌ای از داده‌ها نیز در حین کارهای میدانی و بر پایه مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها و مطالعات پیشین گردآوری شده‌اند. به منظور بررسی شرایط قبل از سیلاب، عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ سال ۱۳۳۵ و عکس‌های مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۷ (با انطباق بصری و ترسیم) و تصاویر IRS سال ۱۹۹۸ (با تحلیل و تفکیک رقومی در نرم‌افزار) به صورت تطبیقی و مقایسه‌ای بهره‌گیری شده است. برای رقومی‌سازی، انتقال داده‌ها و همین‌طور اندازه‌گیری‌های مورد نیاز، از نرم‌افزارهای ArcGIS و ArcView استفاده شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از روش‌های استدلالی و آمار استنباطی (برقراری رابطه همبستگی بین متغیرهای مختلف) انجام پذیرفته است (حافظ‌نیا، ۱۳۸۵، ۲۳۳-۲۳۱). در این تجزیه و تحلیل‌ها، لایه‌های زمین‌شناسی، گسل، شبکه آب‌ها، شیب و پهنه‌بندی لغزش‌های قدیمی به عنوان داده‌های اصلی ورودی به کار گرفته شده‌اند. در نهایت، تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش تحلیلی و با استفاده از ابزارهای اشاره شده، از طریق مقایسه دو به دو متغیرها و تأثیرگذاری آنها در رویکرد سیلاب‌های مطرح در مسئله تحقیق انجام پذیرفته است.

مبانی نظری تحقیق

انواع فرایندهای جریانی محتمل در حوضه‌های آبریز را می‌توان به جریان‌های سیلابی معمولی^۱، جریان‌های بسیار غلیظ^۲، جریان‌های مواد (Costa, 1998, 113) و همین‌طور جریان‌های چوبی^۳ تقسیم کرد.

سیلاب‌های معمولی یا سیل‌های آبی، مایعات نیوتنی^۴ هستند که با تنش برشی کمتر از ۱۰۰ دین بر سانتی‌متر مربع^۵ جاری می‌شوند. این جریان‌ها در مقایسه با دیگر انواع جریان‌ها، مقادیر رسوب نسبتاً کمتری را (کمتر از ۴۰ درصد وزن و ۲۰ درصد حجم مایع) با خود حمل می‌کنند. در اثنای این‌گونه سیلاب‌ها، رسوب و آب دو فاز مشخص و جداگانه‌اند. رسوب‌ها در نتیجه انتقال انرژی از آب در حال حرکت به ذرات رسوب به سه صورت معلق، غلطان و جهشی در امتداد کانال جابه‌جا می‌شوند (Ibid, 114).

جریان‌های بسیار غلیظ جریان‌های رودخانه‌ای حاوی مقادیر نسبتاً زیاد رسوب (۷۰-۴۰ درصد وزن و ۴۷-۲۰ درصد

1. Water floods
2. Hyperconcentrated flows
3. Debris flows
4. Woody debris
5. Newtonian fluids

حجم) و چگالی عمومی ۱/۸۰-۱/۳۳ گرم در سانتی‌متر مکعب است، که به‌عنوان مایعات تقریباً غیرنیوتنی^۱، دارای تنش برشی حدود ۴۰۰-۱۰۰ دین بر سانتی‌متر مربع‌اند. در جریان‌های بسیار غلیظ همانند سیلاب‌های عادی، مواد جامد و رسوب اجزای ترکیبی جداگانه در کانال هستند. تشخیص و تمییز رسوب‌های این‌گونه سیلاب‌ها از جریان‌های مواد به سختی انجام می‌پذیرد، زیرا آنها در حقیقت مرحله انتقالی بین سیلاب‌های معمولی‌تر و جریان‌های مواد به شمار می‌آیند و ویژگی‌ها و مشخصات هر دو را به‌طور توأم در خود دارند.

جدول ۱. ویژگی‌های ژئومورفیک و رسوب‌شناسی جریان‌های آب و رسوب در کانال رودخانه‌ها

نوع جریان	لندفرم‌ها و رسوب‌ها	ساختمان‌های رسوبی	ویژگی‌های رسوب‌شناسی
سیلاب‌های معمولی	- بارهای رسوبی - مخروط‌افکنه‌های پایکوهی - صفحات رسوبی - مخروط‌های کوچک در خروجی - دره‌های فرعی به اصلی - کانال‌های دارای نسبت بالای عرض به عمق (بیش از ۱۲)	- لایه‌بندی افقی، مایل تا توده‌ای - ایمبریکاسیون ضعیف تا قوی - ساختارهای بریدگی و پرشدگی رسوبات - طبقه‌بندی نشده تا طبقه‌بندی شده	- ضریب جورشدگی ترسک: ۱/۸-۲/۷ - معمولاً با قطعات تخریبی کروی شکل - دامنه گسترده در بافت
سیلاب‌های بسیار غلیظ	- مشابه سیلاب‌های معمولی ولی نسبت عرض به عمق ۱۰-۱۲	- لایه‌بندی ضعیف افقی تا توده‌ای - ایمبریکاسیون ضعیف - عدسی‌های ریگی ریز - طبقه‌بندی معمولی تا معکوس	- ضریب جورشدگی ترسک: ۱/۶-۱/۱ - بافت منفصل با قطعات تخریبی - غالباً ماسه درشت
جریان مواد	- خاکریزهای حاشیه‌ای - پشته‌های سخت داخل بستر در امتداد جریان رود - کانال‌های دوزنقه‌ای تا U شکل	- بدون لایه‌بندی - ایمبریکاسیون ضعیف تا هیچ - درجه‌بندی معکوس در قاعده و درجه‌بندی عادی در بالا	- ضریب جورشدگی ترسک: ۱۲/۳-۳/۶ - دارای قطعات بسیار درشت تخریبی - دامنه بسیار گسترده از نظر بافت

منبع: Costa, 1998, 118

جریان‌های مواد، جریان‌های جاذبه‌ای مخلوط خاک، سنگ و آب در کانال‌های پرشیب‌اند و به‌عنوان مایعات غیرنیوتنی^۲ دارای بازده نیروی پلاستیک زیاد، تراکم حجم (عموماً دو برابر بیشتر از آب خالص) و یک گرانشی بسیار بیشتر از آب هستند. در جریان‌های مواد، رسوب محموله بی‌نظم است و آب و ذرات جامد به صورت جزء ویسکوپلاستیک واحد^۳ با هم و در سرعت یکسان جابه‌جا می‌شوند (Costa, 1998, 116 & 118). در این‌گونه جریان‌ها، ذرات جامد حدود ۷۰-۹۰ درصد وزن و ۴۷-۷۷ درصد حجم توده جریانی را تشکیل می‌دهند و تراکم توده ۱/۸-۲/۳ گرم بر

1. Dynes/cm²

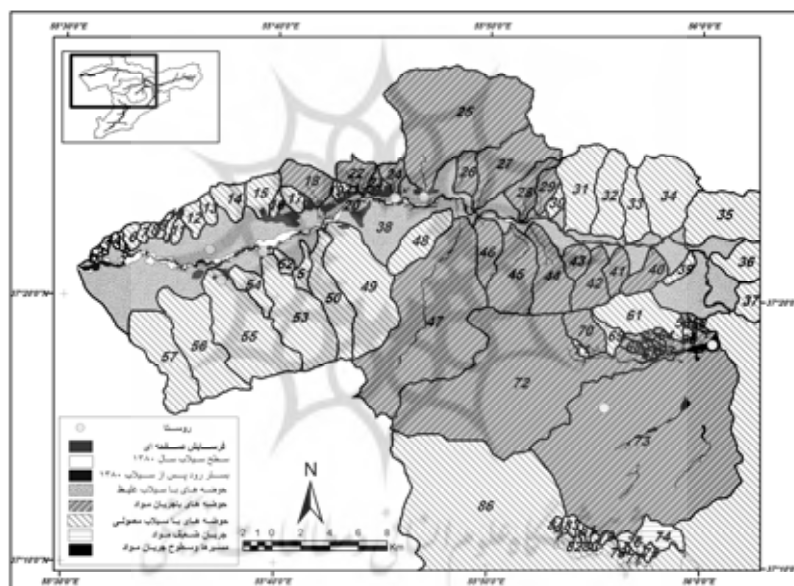
2. Approximated non-Newtonian fluids

3. Non-Newtonian fluids

سانتی‌متر مکعب و نیروی برشی آنها بزرگ‌تر از ۴۰۰ دین بر سانتی‌متر مربع است (Ibid, 120). این جریان‌ها از جریان‌های بسیار غلیظ مخرب‌ترند، زیرا دبی اوج بالاتری در قیاس با جریان‌های سیلابی معمولی دارند. (Jacob & Jordan, 2001, 426; Glade, 2005, 198) و قادر به حمل تخته‌سنگ‌های بسیار بزرگ‌تری در مقایسه با سیلاب‌های معمولی هستند.

پراکندگی و طبقه‌بندی انواع جریان‌ها در رودخانه مادرسو

در این زمینه، ابتدا نقشه محدوده‌های متأثر از جریان‌های مختلف با تأکید بر نواحی مورد هجوم جریان‌های مواد تهیه شده و این محدوده‌ها به ۷۵ زیرحوضه کوچک‌تر تقسیم‌بندی و شماره‌گذاری گردیده است. نوع جریان‌های رخ داده در این زیرحوضه‌ها بدین شرح تشخیص داده شد:



شکل ۳. نواحی متأثر از انواع جریان‌ها

- از ۷۵ زیرحوضه، ۴۲ زیرحوضه دچار جریان‌های سیلابی معمولی شده‌اند. این سیلاب‌ها در مسیرهای وقوع‌یافته (دره‌های اصلی و در محل خروجی آنها)، تغییرات ژئومورفولوژیک و اکولوژیک عمده‌ای را به‌وجود نیاورده‌اند (شکل ۳).
- ۳۳ زیرحوضه با جریان‌های بسیار غلیظ و مواد مواجه شدند، که از این تعداد ۳ زیرحوضه دچار جریان‌های بسیار غلیظ گشتند. مسیر اصلی رودخانه مادرسو (از محل تلاقی رودخانه‌های چشمه‌خان، گل‌من دره، دشت شیخ و قیزقلعه)، در بخش مرکزی از سیلاب بسیار غلیظ و جریان‌های مواد سرازیر شده از زیرحوضه‌های کوچک جنگل گلستان و قیزقلعه و در حواشی نیز از سیلاب معمولی تشکیل شده بود (شکل ۴). همچنین مسیر اصلی رودخانه دشت شیخ و دو شاخه دیگر آن (در زیرحوضه بزرگ دشت) منطبق بر جریان‌های بسیار غلیظ بوده، و مسیر اصلی رودخانه قیزقلعه نیز متأثر از جریان‌های بسیار غلیظ همراه با عناصر درشت‌دانه سرازیر شده از

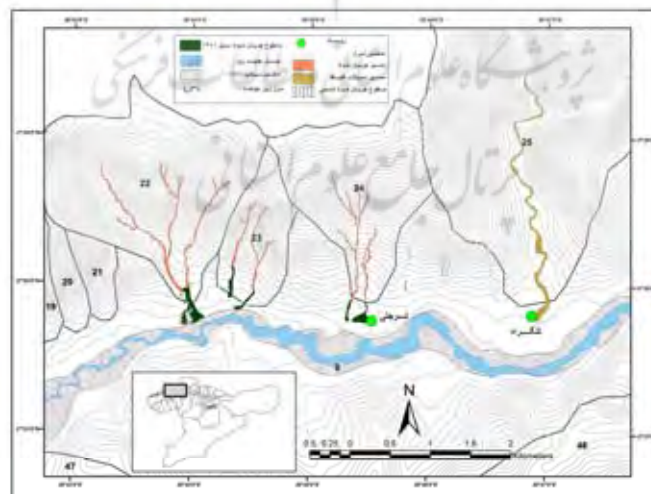
جریان‌های مواد دره‌های فرعی بوده است.

- از ۳۰ زیرحوضه از زیرحوضه‌های مورد هجوم جریان‌های مواد، ۱۹ زیرحوضه در محدوده جنگل گلستان و تنگراه قرار داشته‌اند و ۱۱ زیرحوضه نیز در محدوده حوضه قیزقلعه.

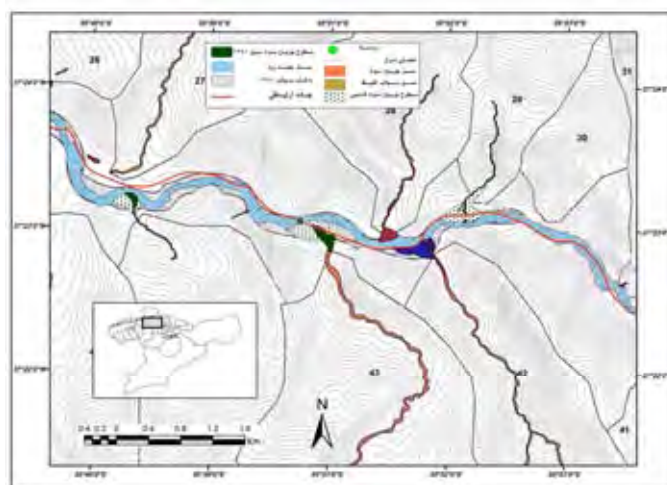


شکل ۴. در سمت چپ، تفکیک انواع جریان بستر اصلی رودخانه مادرسو در نواحی مرکزی جنگل گلستان و در سمت راست، جریان بسیار غلیظ در بستر اصلی رودخانه قیزقلعه دیده می‌شود.

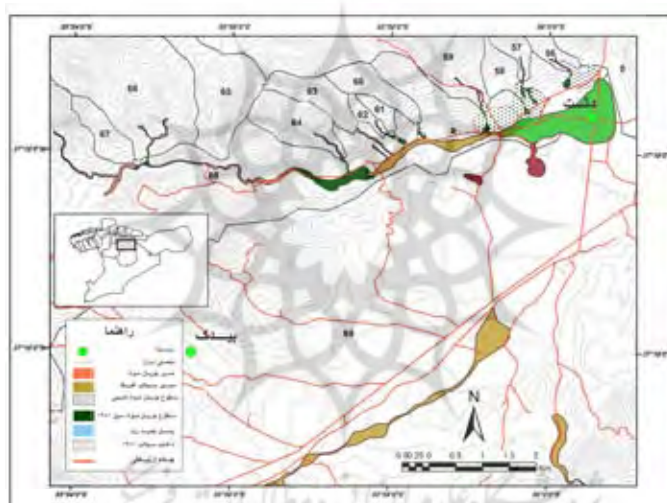
در اکثر حوضه‌های کوچک محدوده جنگل گلستان، به دلیل پوشش متراکم جنگلی غلبه با سیلاب‌های عادی است، در حالی که در ۱۹ حوضه از حوضه‌های کوچک محدوده جنگل گلستان و تنگراه، جریان مواد وقوع یافته است.



شکل ۵. جریان‌های مواد بسیار غلیظ وقوع یافته در زیرحوضه‌های فرعی حوضه تنگراه و محدوده جنگل گلستان



شکل ۶. جریان‌های مواد و بسیار غلیظ وقوع یافته در زیرحوضه‌های فرعی حوضه تنگراه و محدوده جنگل گلستان



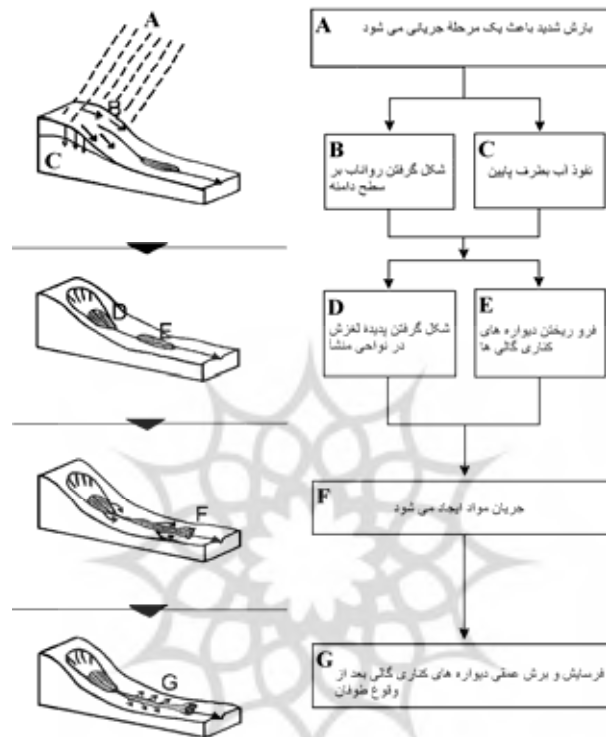
شکل ۷. جریان‌های مواد و بسیار غلیظ وقوع یافته در زیرحوضه قیزقلعه

سازوکار ایجاد جریان‌های مواد و بسیار غلیظ

وقوع بارش‌های سنگین، آن هم در یکی از خشک‌ترین ماه‌های حوضه مادرسو (مرداد ماه سال‌های ۱۳۸۰ . ۱۳۸۱)، باعث افزایش حجم آب و فشار منفذی و ایجاد شکست‌های مقدماتی در دامنه‌های مستعد نواحی جنگلی تنگراه و محدوده پارک ملی گلستان گردید. این امر باعث به حرکت درآمدن حجم زیادی از مواد لغزشی قدیمی از نواحی منشأ و تجاوز از آستانه بحرانی شده، توده لغزشی به جریان مواد تبدیل گشته، و از آن به بعد قادر به حمل قطعات بزرگ سنگ‌ها و تنه‌های درختان بوسیله خاصیت شناوری شده است (شکل ۸). از این رو می‌توان گفت که نوع جریان مواد وقوع یافته در این محدوده از نوع جریان مواد دامنه‌ای بوده است.

در محدوده نیمه‌خشک حوضه، یعنی زیرحوضه‌های کوچک واقع در حوضه‌های قیزقلعه و دشت، گستردگی واحدهای نئوزن به‌ویژه واحدهای مارنی و کنگلومرایی باعث شده است که گالی‌ها فراوانی و توسعه زیادی داشته باشند. از

این رو، بارش‌های شدید مرداد ماه سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ باعث ایجاد جریان‌های مواد در این زیرحوضه‌های کوچک و پرشیب شده است. جریان‌های مواد این نواحی، عمدتاً از نوع جریان‌های مواد گالی است و رسوب حمل شده به وسیله آنها، هم از نهشته‌های دامنه‌ای تأمین شده است و هم از طریق فرسایش دیواره‌ها و کف دره‌های آنها (شکل ۹).



شکل ۸. مقطع شماتیک چگونگی ایجاد جریان‌های مواد

(چن، ۲۰۰۵، ص. ۱۲)



شکل ۹. سمت چپ حوضه قیزقلعه و سمت راست حوضه نردین را نشان می‌دهد. فراوانی گالی‌ها و نقش آنها در تأمین مواد برای جریان‌های مواد و بسیار غلیظ دیده می‌شود.

تأثیرات ژئومورفیک جریان‌های مواد و بسیار غلیظ

سیلاب‌های کاتاستروفیک اخیر حوضه مادرسو تأثیرات ژئومورفیک زیادی در این حوضه برجای گذاشته‌اند. یکی از این تأثیرات کاوش شدید بستر اصلی رودخانه مادرسو بوده است. برای تعیین میزان عمیق‌شدگی بستر، در نقاط متعددی از آن، میزان حفرشدگی از طریق ترسیم، پروفیل، اندازه‌گیری و با وضعیت قبل از سیلاب مقایسه شده است. در نیمرخ‌های عرضی اندازه‌گیری‌شده، میزان حفرشدگی بستر حداقل ۳ متر و حداکثر ۱۲ متر به دست آمده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. حداکثر فرسایش کاوشی بستر در محل قوس کاو پیچان رودها بوده است (محدوده جنگل گلستان و تنگراه)

وقوع سیلاب بسیار غلیظ توأم با جریان مواد در قسمت اعظم بستر اصلی رودخانه سواحل پرتگاه مانندی را ایجاد کرده است (شکل ۱۰). با مقایسه دوره‌ای عرض بستر طی کارهای میدانی و اندازه‌گیری داغ سیلاب، تأثیرات ژئومورفیک سیلاب‌های شدید سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ حوضه، نشانگر عریض‌شدگی کاتاستروفیک کانال اصلی رودخانه مادرسو و نواحی دشت سیلابی آن بوده است. به‌منظور تجزیه و تحلیل تغییرات عرضی، تعداد ۵۷ پروفیل عرضی به فواصل تقریباً مساوی (حدود ۳۰۰ متر) در امتداد کانال اصلی (در محدوده جنگل گلستان) در روی نقشه‌های توپوگرافی تعیین گردید، با دستگاه GPS در روی مسیر بستر بازیابی شد و اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان داد که قبل از سیلاب‌های یاد شده، میانگین عرض بستر در محدوده جنگل گلستان، ۶/۶۷ متر، حداقل عرض آن ۶ متر و حداکثر آن ۴۵ متر بوده است. بعد از وقوع سیلاب‌های کاتاستروفیک سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۰ (و همینطور ۱۳۸۴) افزایش زیادی در عرض بستر و خصوصاً دشت سیلابی نواحی پائین‌دست حوضه اتفاق افتاد، به‌طوری که میانگین عرض بستر به ۱۴۶ متر، حداقل عرض ۶۸ متر و حداکثر آن به ۲۹۰ متر افزایش یافته است (شکل ۱۲). نتایج به‌دست آمده مؤید این است که کمترین عریض‌شدگی بستر در مسیرهای مستقیم جریان^۱ و نواحی واقع در سنگ بستر اتفاق افتاده، در صورتی که بیشترین عریض‌شدگی در مناطقی چون دشت‌های سیلابی وسیع پایین‌دست حوضه، مخروط‌های انتهایی زیرحوضه‌های کوچک جنگلی، دو طرف سازه‌های عرضی (پل‌ها و آبگذرها) و همین‌طور در قسمت کاو پیچان رودها رخ داده است (شکل ۱۱).

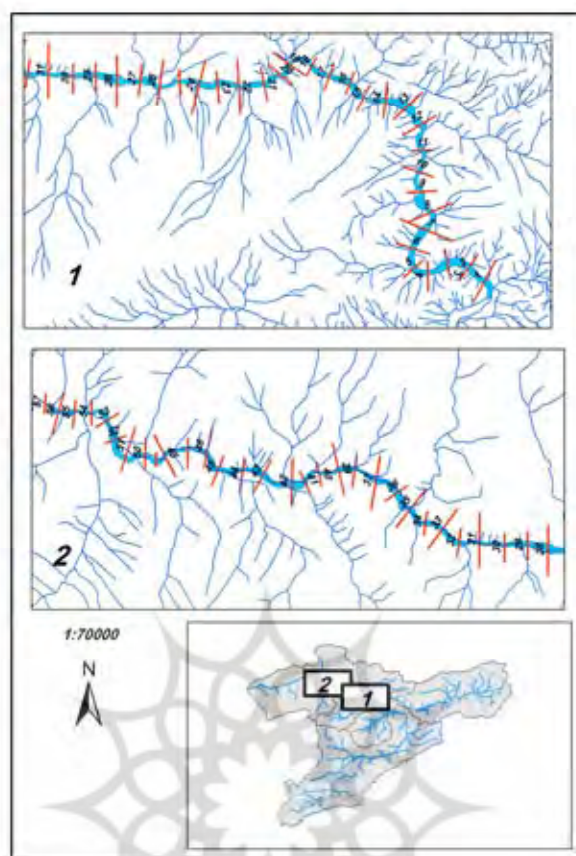


شکل ۱۱. حداکثر فرسایش جانبی و عریض‌شدگی بستر در محل قوس پیمان رودها روی داده است (قسمت میانی کانال اصلی مادرسو، جنگل گلستان).

همراهی جریان‌های مواد سرازیر شده از کانال‌های فرعی پرشیب و جریان‌های بسیار غلیظ آبراهه اصلی، علاوه بر افزایش شدید و بی‌سابقه عرض بستر اصلی، کاهش طول رودخانه مادرسو را نیز موجب گردیده است. قبل از وقوع سیلاب‌های اخیر، طول مسیر رودخانه از محل پیوستن شاخه‌های چشمه‌خان، دشت‌شیخ، قیزقلعه ۴۴/۸۶ کیلومتر بوده که از این مقدار ۳۹/۴ کیلومتر آن ماندری و مشتمل بر ۲۱۹ قوس بوده، در حالی که ۵/۵ کیلومتر از مسیر جریان را مسیرهای مستقیم تشکیل می‌داده است.

در این زمینه، حداکثر طول قوس اندازه‌گیری شده ۶۸۸ متر، حداقل طول قوس ۳۱ متر، و میانگین طول قوس‌ها ۱۸۰ متر به دست آمده است. همچنین حداقل و حداکثر و میانگین ضرایب خمیدگی ماندرها به ترتیب ۱، ۵/۵ و ۱/۵۸ محاسبه شده است. تحلیل فراوانی ضرایب خمیدگی پیچ‌ها نشان می‌دهد که در حدود ۶۰ درصد موارد، ضرایب خمیدگی بین ۱/۵ تا ۱ بوده است.

بعد از وقوع سیلاب‌های شدید اخیر، طول مسیر رودخانه از حدود ۴۵ کیلومتر در دشت سیلابی به ۳۵ کیلومتر کاهش یافت، که از این مقدار ۳۳/۲۵ کیلومتر آن ماندری است و بقیه، مسیرهای تقریباً مستقیم است. تعداد پیچان رودها نیز از ۲۱۹ پیچ به ۱۲۸ پیچ کاهش یافته، و بدین ترتیب ۹۱ پیچ از مسیر رود حذف گردیده است.

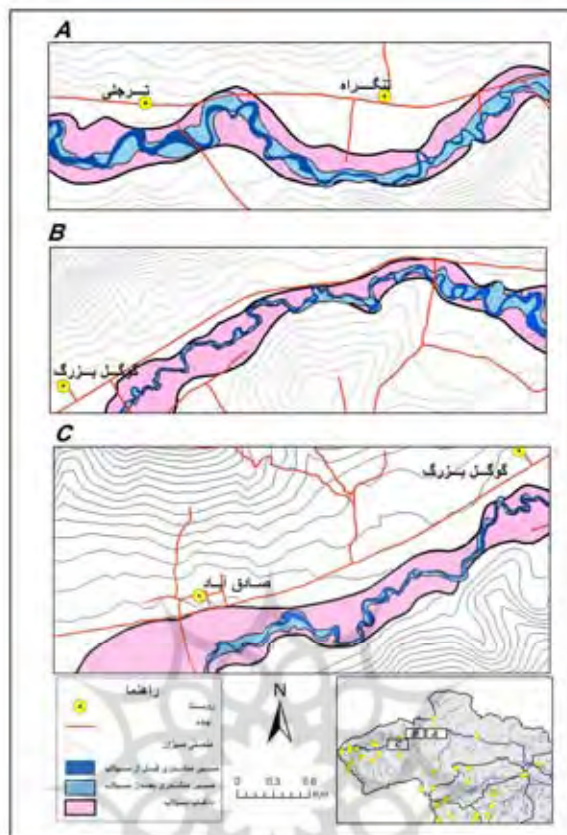


شکل ۱۲. نیمرخ‌های عرضی اندازه‌گیری شده در امتداد بستر اصلی رودخانه مادرسو (زیرحوضه تنگراه)

حداکثر طول قوس ماندرها ۲۱۸۵/۴ متر، حداقل طول ۳۷/۸ متر، و میانگین آنها ۲۵۹/۵ متر به دست آمده است. این در حالی است که حداقل ضرایب خمیدگی ۰/۸۴، حداکثر ضرایب خمیدگی ۹/۴ و میانگین ضرایب خمیدگی پیچ‌ها ۱/۴۳ به دست آمده، و ضرایب خمیدگی ۱-۱/۵ نیز از ۶۰ درصد فراوانی به حدود ۷۸ درصد رسیده است (جدول ۲ و شکل ۱۳). نتیجه اینکه تأثیرات کاوشی شدید جریان‌های بسیار غلیظ و مواد (به دلیل حمل مقادیر فراوان بار بستری بسیار درشت دانه) به کاهش تعداد پیچ ماندرها - و در نتیجه، مستقیم شدن بیشتر مسیر جریان در دشت سیلابی - منتهی شده است.

جدول ۲. فراوانی ضرایب انحنا در ماندراهای واقع در دشت سیلابی، قبل و بعد از وقوع سیلاب‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱

قبل از سیلاب		بعد از سیلاب		
ضریب خمیدگی	تعداد	درصد	تعداد	درصد
۱-۱/۵	۱۳۰	۵۹/۴	۱۰۰	۷۸/۱
۱/۵-۲	۵۰	۲۲/۸	۱۸	۱۴/۱
۲-۲/۵	۲۰	۱۹/۱	۶	۴/۷
۲/۵-۳	۱۰	۴/۵۶	۲	۱/۵۶
۳-۴	۵	۲/۲۲	۰	۰
۴-۵	۲	۰/۹	۱	۰/۷۸
۵ به بالا	۲	۰/۹	۱	۰/۷۸



شکل ۱۳. تغییرات عرض بستر آبراهه اصلی مادرسو (دشت سیلابی قسمت‌های میانی حوضه تنگراه)

جریان مواد در حوضه‌های جنگلی کوچک و پرشیب حوضه تنگراه و جنگل گلستان، با حمل قطعات سنگ با قطر بیش از یک متر و تنه‌های تنومند درختان (همراهی جریان‌های چوبی) در تغییر شکل مقاطع عرضی دره رودخانه نقش مهمی داشته است. از طرف دیگر، بر جا گذاشته شدن تخته‌سنگ‌ها و تنه‌های درختان، باعث افزایش ضریب زبری کانال‌ها نیز شده است (شکل ۱۴).

لازم به ذکر است که در اثنای سیلاب کاتاستروفیک سال ۱۳۸۰، حدود ۳۵ هزار اصله درخت نیز از ۵۰۰ هکتار از جنگل‌های کناری رودخانه مادرسو (به طول ۲۵ کیلومتر و عرض ۲۰۰ متر) ریشه‌کن گردید. بنابراین، حجم زیادی از تنه‌ها و شاخه‌های درختان در فرسایش کانال اصلی رودخانه و شکل دادن آن به صورت فعلی با جریان‌های مواد و بسیار غلیظ همکاری مؤثر داشته‌اند. از تأثیرات تخریبی جریان مواد بر تأسیسات انسانی می‌توان به برخورد به بافت مسکونی روستای ترجنلی و کشته شدن ۳ نفر از اهالی آن (شکل ۱۵)، تخریب بسیاری از پل‌های ارتباطی، بندهای خاکی و قسمت زیادی از اراضی زراعی منطقه اشاره کرد.



شکل ۱۴. سمت چپ، تغییر مقاطع عرضی کانال‌های مورد هجوم جریان مواد (زیرحوضه‌های فرعی جنگل گلستان) و سمت راست، بزرگی و ابعاد تخته‌سنگ‌های حمل شده به وسیله جریان‌های مواد (خروجی یکی از شاخه‌های فرعی تنگراه و جنگل گلستان).



شکل ۱۵. انتقال جریان‌های مواد مهاجم به روستای ترجلی (در نواحی پایین دست زیرحوضه تنگراه) که به کشته شدن ۳ نفر از اهالی منجر شد (سمت راست، موقعیت روستا را بر روی تصویر Quick bird سال ۲۰۰۴ نشان می‌دهد).

تجزیه و تحلیل نقش متغیرهای مورفومتری و مورفولوژی در ایجاد جریان‌های مواد و جریان‌های بسیار غلیظ

برای مشخص ساختن عوامل مؤثر در وقوع جریان‌های ویژه، خصوصاً جریان‌های مواد در حوضه‌های متأثر، طول مسیر جریان و همین‌طور مساحت مخروط نهشته شده در انتهای آنها اندازه‌گیری شد. سپس با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای Quick bird سال ۲۰۰۴ و تطبیق و تلفیق آنها با توپوگرافی، گسل، زمین‌شناسی، شبکه آب‌ها و شیب، مشخصات و ویژگی‌های حوضه‌ها (مساحت، شکل، جنس سنگ‌ها، شیب متوسط وزنی، درجه شیب آبراهه اصلی، طول آبراهه اصلی، مجموع طول خطوط گسلی حوضه‌ها، وسعت نواحی لغزشی قدیمی و جدید)، اندازه‌گیری شد (جدول ۲). در این زمینه، فراوانی هر یک از متغیرها مورد توجه و محاسبه قرار گرفت:

- مساحت حوضه‌ها از ۰/۲۱ کیلومترمربع تا بیش از ۹۵ کیلومترمربع در زیرحوضه‌های اصلی (قیزقلعه) متغیر بوده است. بررسی فراوانی سطح حوضه‌های دارای جریان مواد نشان داد که در ۵۶ درصد جریان‌های وقوع یافته، وسعت حوضه‌ها کمتر از ۵ کیلومتر مربع بوده است. ۲۸ درصد حوضه‌ها وسعت ۵ تا ۲۰ کیلومترمربع و ۹ درصد

- مساحتی بیش از ۲۰ کیلومتر مربع داشته‌اند. نتیجه اینکه در حوضه مورد مطالعه، حوضه‌های کوچک‌تر از ۵ کیلومتر مربع فراوانی وقوع بیشتری داشته‌اند.
- تحلیل فراوانی ضرایب شکل حوضه‌ها نشان داد که در ۶۰ درصد موارد، حوضه‌ها دارای ضرایب شکل ۱/۵۰ تا ۱/۲۵ بوده‌اند،
در حالی که ضرایب شکل ۱/۲۵ تا ۱، ۳۰ درصد و بیش از ۱/۵، ۱۰ درصد موارد را شامل شده‌اند. نتیجه اینکه در شرایط مساوی، حوضه‌های نسبتاً کشیده و دارای ضرایب شکل ۱/۵ تا ۱/۲۵ در حوضه مورد مطالعه، احتمال بیشتری برای وقوع جریان مواد داشته‌اند (درست است که محرک اولیه ایجاد این جریان‌ها بارش‌های شدید و ناگهانی در حوضه است، ولی امروزه جریان‌های مواد بیشتر به عنوان جریان‌های دامنه‌ای مطرح‌اند تا جریان‌های رودخانه‌ای).
 - با مشاهده دقیق نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه می‌توان دریافت که ۱۰ حوضه از ۱۹ حوضه یعنی ۵۲ درصد حوضه‌های پرشیب متأثر از جریان مواد در محدوده جنگل گلستان و تنگراه، از سنگ‌های آهکی مزدوران و ۴۷ درصد آنها از سازند چمن بید تشکیل شده‌اند. این سازندها (به خصوص سازند آهکی مزدوران) مقاومت نسبی زیادی دارند و این باعث شده است که در ۶۸/۵ درصد موارد شیب حوضه‌ها بالاتر از ۳۰ درجه باشد. در زیر حوضه قیزقلعه نیز تمام جریان‌های مواد وقوع یافته در سمت چپ حوضه و در مجاورت جنگل‌های گلستان قرار داشته، و وجود سازندهای آهکی و پرشیب مزدوران در سرچشمه آنها باعث افزایش شیب متوسط این زیرحوضه‌های کوچک گردیده است. در مجموع در ۸۶/۵ درصد موارد، نواحی منشأ جریان‌های مواد حوضه قیزقلعه بر سازند مزدوران و در ۱۳ درصد موارد نیز بر واحدهای مارنی نئوژن انطباق داشته‌اند (خصوصاً زیرحوضه اصلی قیزقلعه و دشت).
 - به‌منظور دستیابی به تأثیر میزان شیب متوسط حوضه در احتمال وقوع جریان‌های مواد، تحلیل فراوانی درجات شیب متوسط وزنی ۳۲ حوضه انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده مؤید آن است که کمترین میزان شیب این حوضه‌ها حدود ۱۴ و بیشترین شیب متوسط وزنی آنها حدود ۳۶ درجه بوده است. شیب‌های ۲۰-۳۰ درجه با ۱۵ مورد فراوانی حدود ۴۷ درصد کل موارد و شیب‌های ۳۶-۳۰ درجه، ۴۴ درصد موارد را شامل شده‌اند. در مجموع شیب‌های متوسط وزنی ۲۰-۳۵ درجه، ۹۰ درصد وقوع را داشته‌اند و می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط مساوی، حوضه‌های پرشیب‌تر احتمال وقوع بالاتری دارند.
 - تحلیل فراوانی درجات شیب آبراهه‌های حوضه‌های متأثر از جریان ویژه، نشان داد که میان شیب آنها از حدود ۲۳/۵ تا ۴/۶ درجه متغیر بوده است. شیب‌های بیشتر به حوضه‌های کوچک‌تر تعلق داشتند، در حالی که شیب‌های کمتر متعلق به حوضه‌های بزرگ‌تر بودند که عمدتاً با جریان‌های بسیار غلیظ در اثنای سیلاب مواجه شده‌اند. شیب‌های ۱۵ تا ۱۰ درجه با ۱۱ مورد فراوانی ۴۴ درصد و شیب‌های ۲۰ تا ۱۵ درجه با ۵ مورد، ۲۰ درصد وقوع را شامل شده‌اند. نتیجه اینکه در مجموع شیب‌های ۲۰ تا ۱۰ درجه با فراوانی ۶۴ درصد استعداد بیشتری برای وقوع جریان‌های مواد داشته‌اند.
 - برای مشخص ساختن نقش رتبه و میزان تکامل آبراهه‌ها در شکل‌گیری جریان‌های مواد و بسیار غلیظ،

رتبه‌های آبراهه‌ها در خروجی زیرحوضه‌ها تعیین گردید و مورد تحلیل قرار گرفت. نتیجه به‌دست آمده مؤید آن بود که در ۴۳ درصد موارد (۱۳ مورد فراوانی) آبراهه‌های زیرحوضه‌ها از نوع رتبه سوم، در ۳۳ درصد (۱۰ مورد فراوانی) از نوع رتبه دوم بوده‌اند؛ در حالی که رتبه‌های چهارم و پنجم هر یک با ۳ مورد فراوانی، ۱۰ درصد موارد را در بر می‌گرفتند و تنها در یک مورد آبراهه از نوع رتبه اول بوده‌اند.

- با مشاهده دقیق به نقشه زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه، مشخص می‌گردد که بسیاری از مسیرهای جریان مواد منطبق بر گسل‌های موازی با جریان بوده است. نتیجه اینکه طول مسیر جریان مواد، خصوصاً وسعت نهشته‌شدگی مواد می‌تواند با طول خطوط گسلی حوضه و به‌ویژه طول گسل‌های موازی جریان ارتباط زیادی داشته باشد.

لازم به ذکر است که شاخه‌های اصلی حوضه شماره ۱۸، شاخه اصلی و اکثر شاخه‌های فرعی حوضه شماره ۲۵، حوضه‌های شماره ۲۶، ۲۷، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷ و بسیاری از شاخه‌های فرعی آن، قسمتی از آبراهه شماره ۷۰، قسمت وسیعی از حوضه بزرگ شماره ۷۲ و ۷۳ (زیرحوضه دشت) که در اثنای سیلاب‌های کاتاستروفیک سال‌های ۱۳۸۰ و ۸۱ و ۸۴ دچار جریان‌های مواد و بسیار غلیظ شده‌اند، منطبق بر خطوط گسلی بوده‌اند. علاوه بر آن، قسمت اعظم مسیر رودخانه مدارسو نیز بر گسل طولی و بزرگ گلستان انطباق دارد (جدول ۳).

قسمت‌های وسیعی از نواحی علیای زیرحوضه‌های جنگلی تنگراه و محدوده گلستان، محدوده‌های لغزشی قدیمی‌اند که به‌وسیله پوشش انبوه جنگلی پوشانیده شده‌اند. از جمله، قسمت اعظم زیرحوضه شماره ۲۵، تقریباً تمام زیرحوضه شماره ۲۶، قسمت اعظم زیرحوضه شماره ۲۷، حدود یک سوم زیرحوضه شماره ۲۸، نیمی از زیرحوضه شماره ۲۹ دارای محدوده‌های لغزشی وسیع هستند. در زیرحوضه‌های شماره ۴۱، ۴۲، ۴۳ نیز آثار لغزش‌های قدیمی را به فراوانی می‌توان مشاهده کرد.

با توجه به تحولات اقلیمی کواترنری، شاید بتوان گفت که آنها احتمالاً متعلق به دوره‌های سردتر و مرطوب‌تر قبل از پیدایش و توسعه جنگل‌ها بوده‌اند. در دوره‌های یاد شده و در اثنای برخی از فصول، احتمالاً آب سطحی بیشتری برای نفوذ به داخل خاک و درز و شکاف‌های سنگ‌ها در دسترس بوده است و از این رو شرایط برای وقوع لغزش‌های وسیع فراهم‌تر بوده است، به طوری که قسمت‌های وسیعی از بعضی زیرحوضه‌ها را در بر گرفته است. بنابراین با توجه به این نکته که زمان حال در واقع کلید گذشته است، می‌توان نتیجه گرفت که مخروط‌های بزرگ و کوچک متعددی که در انتهای بسیاری از حوضه‌های پرشیب محدوده جنگل گلستان و تنگراه در محل پیوستن به رودخانه اصلی مدارسو قرار داشته‌اند و با جنگل‌های انبوه پوشیده شده‌اند، و همین‌طور مخروط‌های متعدد دیگر در انتهای حوضه‌های کوچک و پرشیب حوضه قیزقلعه و همچنین حوضه وسیع نردین، در حقیقت همان نهشته‌های حاصل از هجوم جریان مواد هستند.

جدول ۳. مشخصات حوضه‌های دارای جریان مواد در منطقه مورد مطالعه

شماره حوضه	مساحت حوضه (km ²)	ضریب شکل	رتبه آبراهه در محل خروجی	شیب متوسط وزنی (درجه)	شیب آبراهه اصلی (درجه)	طول آبراهه اصلی (m)	طول گسل‌های حوضه (m)	طول مسیر جریان مواد (m)	مساحت مخروط نهشته شده (km ²)
۱۸	۷/۲۱	۱/۲۱	۳	۳۲/۶	۱۱/۴	۳۸۳۳	-	۲۲۹۳	-
۲۲	۴/۴۱	۱/۲۳	۳	۳۴/۲۹	۱۶/۳	۲۷۰۲	۱۰۴۲/۴	۶۱۰۶	۰/۰۴۱
۲۳	۰/۵۴	۱/۶۷	۲	۳۵/۷۴	۲۳/۵	۱۳۳۸	۲۸۸/۰	۱۱۷۰	۰/۰۱۴
۲۳	۰/۶۸	۱/۲۹	۲	۳۵/۰	۲۱/۹۸	۱۴۱۸	-	۱۶۴۴	۰/۰۰۹
۲۴	۱/۵۲	۱/۳۵	۲	۳۳/۰	۱۹/۰۵	۲۲۱۲	۱۱۹۸/۰	۳۱۷۴	۰/۰۰۷
۲۴	۱/۲۸	۱/۴۸	۲	۲۸/۰	۱۸/۱۵	۲۳۴۸	۶۳۶	۱۴۰۸	۰/۰۲۲
۲۵	۵۴	۱/۲۶	۵	۳۱/۷۲	۶/۰	۱۲۲۲۱	۲۵۳۵۸	۳۹۵۹	۰/۱۲
۲۶	۴/۲۱	۱/۲۱	۲	۲۳/۴	۱۱/۳۵	۲۸۱۰	۲۷۶۰	۱۹۵۷	۰/۰۰۳
۲۷	۱۶/۶۴	۱/۴۱	۴	۳۰/۷	۱۰/۸	۷۸۱۵	۶۱۵۴	۲۹۲۲	۰/۰۶۲
۲۸	۵/۷۹	۱/۵۵	۳	۳۰/۷۶	۱۳/۸	۵۵۶۵	-	۲۴۲۹	۰/۰۶۳
۲۹	۳/۵۳	۱/۲۹	۳	۳۲/۵۳	۱۸/۴	۳۵۹۱	-	۱۵۷۱	۰/۰۰۸
۴۰	۵/۵	۱/۲۵	۳	۲۷/۰۵	۱۳/۴۳	۳۹۸۰	۱۹۷۷	۴۱۰	۰/۰۱۳
۴۱	۴/۱۷	۱/۲۱	۲	۳۵/۸۸	۱۲/۵۸	۲۶۴۰	-	۸۸۲	۰/۰۱۲
۴۲	۷/۶۲	۱/۳۰	۳	۳۴/۸۳	۱۶/۰۲	۴۸۷۲	-	۱۸۹۵	۰/۰۰۹
۴۳	۳/۷۵	۱/۰۹	۳	۲۶/۵	۱۴/۰	۲۴۰۰	-	۲۱۷	۰/۰۱
۴۴	۱۲/۶۷	۱/۳۸	۴	۳۴/۳	۹/۸۵	۷۶۵۰	۳۶۰۳	۳۹۵۵	۰/۰۱۷
۴۵	۱۵/۵	۱/۲۱	۳	۳۱/۰۱	۹/۴۰	۷۵۸۳	۴۹۸۷	۴۳۳۱	۰/۰۴۳
۴۶	۶/۷۵	۱/۳	۳	۲۸/۳۲	۱۰/۳	۴۹۲۷	۲۹۶۴	۸۱۸	۰/۰۱۹
۴۷	۶۳/۳۳	۱/۵	۵	۲۶/۰	۴/۶	۱۷۱۰۰	۴۵۱۴۴	۱۴۵۸۰	۰/۰۰۳
۵۸	۰/۷۶	۱/۴۴	۳	۲۲/۰	۱۱/۸۲	۱۹۲۱	-	۶۴۰	۰/۰۲
۵۹	۰/۷۱	۱/۴۴	۳	۳۲/۲	۱۳/۵۲	۱۷۷۹	-	۵۳۶	۰/۰۳۳
۶۱	۱۲/۹۷	۱/۳۸	۴	۲۱/۵۰	۴/۴۶	۷۲۷۱	۱۷۵۴۱	۱۲۲۱	۰/۰۲۲
۶۲	۰/۲۶	۱/۶۵	۲	۱۶/۲۸	۹/۲	-	۳۲۴	-	۰/۰۰۲۱
۶۴	۰/۷۸	۱/۴۵	۲	۲۲/۴۳	۱۱/۹۲	-	۱۳۸۴	-	۰/۰۱۳
۶۵	۰/۲۳	۱/۳۵	۲	۳۳/۱۲	۱۶/۳	-	۵۵۷	-	۰/۰۰۸
۶۶	۰/۲۱	۱/۴۶	۱	۲۵/۴۸	۱۵/۰	۹۶۷	۴۰۵	۴۴۳	۰/۰۱۰
۶۷	۰/۸۵	۱/۴۶	۲	۲۵/۲۷	۱۲/۱۸	-	۱۲۸۸	۱۷۰۷	-
۶۸	۱/۲۶	۱/۲۴	۳	۳۰/۲۴	۱۱/۳۶	۲۳۰۰	۲۶۶۹	۸۳۸	۰/۰۰۹
۷۰	۶/۲۵	۱/۲۰	۳	۲۵/۰۷	۸/۷۵	۳۳۰۶	۷۹۳۴	۱۳۷۵	۰/۰۱
۷۲	۹۵/۳۱	۱/۹۶	۵	۲۴/۵۳	۱/۷۹	۲۶۱۹۵	۱۰۴۸۱۰	۷۸۱۹	۰/۲۴

نتیجه گیری

روابط حاکم بر هیدرولوژی حوضه‌های آبریز و خصوصیات فیزیوگرافی ممکن است در مورد سیلاب‌های معمولی با دبی مایع نیز صدق کنند؛ اما در ایجاد جریان‌های مواد، پارامترهای دیگری چون خصوصیات رسوب‌شناسی، حرکات دامنه‌ای، شرایط تکتونیکی، زمان سپری شده از آخرین جریان وقوع یافته قبلی و نظایر اینها را می‌توان به عنوان عوامل مؤثرتر در نظر گرفت. تجزیه و تحلیل سیل‌های رخ داده در محدوده تحت بررسی، نشان داد که بین شکل حوضه و شدت جریان،

رابطه متفاوت از جریان‌های سیلابی معمولی وجود داشته است. بارش‌های شدید در نواحی بالادست حوضه‌ها توانسته‌اند از عوامل مهم و محرک ایجاد جریان‌های مواد باشند. از طرفی منابع تأمین‌کننده رسوب در زیرحوضه‌ها به دلایل ذکر شده وجود داشته است و تفاوت‌های موجود در دبی مواد زیرحوضه‌ها این را به خوبی نشان می‌دهد؛ زیرا چنانچه، منابع تأمین‌کننده رسوب در حوضه وجود نداشته باشد، بارش شدید ممکن است فقط باعث ایجاد جریان‌های بسیار غلیظی شود که قدرت تخریبی کمتری در قیاس با جریان‌های مواد دارند. بنابراین، نهشته‌های منفصل دوران چه‌ارم (رودخانه‌ای و دامنه‌ای)، مواد حاصل از هوازدگی سنگ‌های دامنه‌ها، رسوب‌های سست و منفصل نئوژن (واحد‌های مارنی و کنگلومرایبی و جز آن)، منابع اصلی تولید رسوب برای استفاده جریان‌های مواد و بسیار غلیظ به‌شمار می‌رفته‌اند. ناگفته نماند که در محدوده جنگل گلستان و تنگراه، جریان‌های مواد از نوع جریان‌های مواد دامنه‌ای است. وجود عناصر لغزشی وسیع قدیمی و نیز جدید، سازندهای نفوذپذیر آهکی مزدوران و چمن بید، دره‌های عمیق گسلی و فراوانی عناصر ریزشی انباشته شده در پای پرتگاه‌های عمدتاً گسلی، از عوامل اصلی تأمین مواد و رسوب برای وقوع جریان‌های مواد هستند و شیب زیاد حوضه، شیب زیاد کانال اصلی و کانال‌های فرعی از عوامل مهم و مؤثر حمل آنها تا نواحی دورتر به‌شمار می‌آیند.

مقایسه تطبیقی ژئومورفولوژی سطوح دامنه‌ها در محدوده نیمه‌خشک حوضه - یعنی در زیرحوضه‌های دشت شیخ، قیزقلعه و نردین - نشانگر آن است که جریان‌های مواد عمدتاً از نوع جریان‌های مواد حاصل از فرسایش گالی‌هاست، زیرا واحدهای نئوژن و به‌ویژه واحدهای مارنی و کنگلومرایبی گسترش بسیار زیادتری دارند. علاوه بر این، شیب زیاد حوضه، انجام نشدن جدی طرح‌های آبخیزداری (که مانع ایجاد و توسعه گالی‌ها در منطقه شود) نیز از عوامل دیگری هستند که در ایجاد این جریان‌ها نقش داشته‌اند.

حجم زیاد بار بستری درشت‌دانه آزاد شده از جریان‌های توده‌ای و برداشته شده از کف و دیواره‌های دره‌ها به عنوان ابزار ساینده مهم مورد استفاده جریان‌های مواد قرار گرفته، تغییرات بزرگ مقیاس و وسیعی چون عریض‌شدگی کاتاستروفیک، تغییرات طول آبراهه اصلی در نتیجه کم شدن تعداد پیچان رودها و در نتیجه مستقیم شدن بیشتر مسیر رودخانه به‌ویژه در دشت سیلابی پایین دست حوضه را موجب شده‌اند.

حجم جریان‌های بسیار غلیظ، جریان‌های مواد و همین‌طور دبی‌های آنها بسیار بزرگ‌تر از جریان‌های سیلابی معمولی است که عموماً در طراحی سازه‌های رودخانه‌ای در نظر گرفته می‌شود. عدم شناخت کافی و در نظر نگرفتن ویژگی‌ها و بزرگی این جریان‌ها از اصلی‌ترین دلایل شکست طرح‌های کنترل سیلاب و یا هرگونه کارهای عمرانی در مسیر رودخانه اصلی مادر سو به‌شمار می‌روند. برنامه‌ریزی‌ها برای احداث سازه‌های هیدرولیکی، طرح‌های کنترل سیلاب و تهیه نقشه‌های رسک (نواحی در معرض خطر) در کشور و همچنین منطقه مورد مطالعه باید براساس حداکثر مقداری محتمل سیلاب و استعداد نواحی برای وقوع جریان‌های ویژه (جریان‌های مواد و بسیار غلیظ) انجام گیرد. در این زمینه لازم است از آثار سیلاب‌های کاتاستروفیک جدید، تاریخی^۱ و همین‌طور پالئوفاکسها (Thondycraft et al., 2005, 4-5) در برآورد میزان خطر استفاده شود.

1. As a single viscoplastic body

منابع

- Agustino V.D., Marchi, L., 2001, **Debris Flow Magnitude in the Eastern Italian Alps: Data Collection and Analysis**, *Phy. Chem. Earth (PERGAMON)*, Vol. 26, No. 9, 657- 663.
- Armed Forces Geographical Organization ,2001, **Topographical maps of Robate Gharabil** , Cheshme khan, Tangrah, Nardin, Agh Ghemish, Sefid Dali, Galikesh, Douzin & Kashidar sheets (scale 1:50000).
- Armed Forces Geographical Organization, 2004, **Satellite Image** (IRS Sensor).
- Baker, V.R., 2002, **High Energy Mega Floods Planetary Setting and Sedimentary Dynamics**, *Sediment* 32, 3-15.
- Coe, J.A, Cannon, S.H., Santi, P.M., 200, **Introduction to the Special Issue on Debris Flows Initiated by Runoff Erosion, and Sediment Entrainment in Western North America**, *Geomorphology*, (Accepted Manuscript).
- Costa, J.E. 1988, **Rheologic, Geomorphic and Sediment logic Differentiation of Water floods**, *Hyper Concentrated Flow and Debris Flow, Flood Geomorphology*, John willey and sons, PP. 611-620.
- Emmanuel, J.G, Bookter, A. 2007, **A Morphometric Analysis of Gullies Scoured by Post-fire Progressively Bulked Debris Flows in Southwest Montana, USA**, *Geomorphology*, (Accepted Manuscript).
- Franzi, L., Bianco, G., 2001, **A Statistical Method to Predict Debris Flow Deposited Volumes on a Debris Fan** , Vol. 26 , No 9 , 683- 688.
- Genevois, R., Galgaro, A., Tecca, P.R., 2001, **Image Analysis for Debris Flow Properties Estimation**, *Phys. Chem. Earth* 26, 623-631.
- Geographical Organization Armed Forces, 1956, **Aerial Photos** (scale 1:55000 & 1:20000).
- Geological Organization of Iran, 1998, **Geological Maps of Koorkhoud (scale 1:250000) and Robot- E- Gharbil and Doozin** (scale 1:100000).
- Ghilardi, P., Ntale, L. and Savi, F., .2001, **Modelling Debris Flow Propagation Respective and Deposition**, *Pergamon No 9, Vol 26, PP 651-656*.
- Glade, 2005. **Linking Debris flow Hazard Assessments with Geomorphology**, *Geomorphology No. 66, PP. 189-218*.
- Hafiznia, M.R., 2006, **Method of Research**, Study and Editing Humanity Books of Universities Organization (SAMT).
- Islami, H., 1999, **Chemistry –Physic1, (for Chemistry course)**, Payam Noor University Publisher.
- Jacob, M. and Jordan, P, 2001, **Design Flood Estimates in Mountain Streams**, The Need for a Gomorphic Approach, *Can. J. Civ. Eng*, Vol. 28, PP. 425-439.
- JICA (Japan International Cooperation Agency), 2006, **The Study on Flood and Debris Flow in the Coastal Area Focusing on the Flood**, hit Region in Golestan Province.
- Masoumi, A. & Bani Habib, M.E., 2002, **Review the Problems of Cross River Bridges in Gilan Province (from the review of flood)**, Golestan Province governors, The total papers International Conference of reduce and prevent flooding.

- Meteorological Organization, 1976 -2006, **Kalpoush Plian**, Soud oghlan and Nardin climatologic stations data.
- Miller, D. J., Burnett, K.M., 2007, **A probabilistic of Debris- Flow Delivery to Stream Channels Demonstrated for the Coast Range of Oregon, USA**, *Geomorphology* xx, pp: xxx-xxx (Article in press).
- Ministry of Energy, Water Resources Research Organization (Tmab), 1981 -2001, **Daily Discharge Data and Maximum Instantaneous Discharge of Hydrometric Stations of the Gorganrood River Branches**, Including Tangrah, Tamar, Galikesh and Gonbad Stations.
- Perez, F. L., 2001, **Matrix Granulometry of Catastrophic Debris Flows (December 1999) in Central Coastal Venezuela**. *Catena* 45, 163-183.
- Saint-Laurent, Diane, 2004, **Palaeo Flood Hydrology an Emerging Science**, *Progress in Physical Geography* 28/4. 531-543.
- Thondycraft, V.R., Benito, G., Liasat, C. & Barriedos, M., 2003, **Palaeo Floods, Historical Data & Climatic Variability Applications in Flood Risk Assessment**, in: PHEFRA international workshop, Barcelona, 16-19th October, 2002.
- Zielinski, T., 2003, **Ccatastrophic Flood Effects in Alpine/Foothill Fluvial System (A case study from the Sedates Mts SW Poland)**, *Geomorphology*, No. 54, PP. 293-306.

