

## تحلیل درون رگباری پاسخ هیدرو-رسوبی حوزه آبخیز معرف خامسان

محمد ایوب محمدی، مهناز زارع خورمیزی و عطااله کاویان<sup>\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۰)

### چکیده

رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز حاصل فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی فعال می‌باشد که پیش‌بینی و تخمین آن، به دلیل اثرات متقابل فرآیندهای مختلف، بسیار پیچیده است. آگاهی از رژیم‌های رسوب‌دهی و تولید رواناب، کمک مهمی در درک بهتر وضعیت فرسایشی حوضه‌ها جهت برنامه‌ریزی‌های مدیریتی می‌کند. بنابراین تعیین الگوی پاسخ هیدرو-رسوبی حوضه‌های کشور و تعیین عوامل مؤثر بر آن از اقدامات ضروری محسوب می‌شود. بدین منظور حوزه آبخیز معرف خامسان که در بالادست سد گاوشان قرار دارد، انتخاب گردید و اقدام به پایش میدانی حوضه و اندازه‌گیری آب‌نگارها و نمونه‌برداری بار رسوب معلق در طی دوره مطالعاتی ۹ ماهه شد. در نهایت نیز پس از تعیین نوع رابطه بین رواناب و رسوب، اقدام به تفسیر رخدادهای سیل گردید. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد که از مجموع ۶ سیل ثبت شده در حوضه، ۵ واقعه دارای حلقه سنجه از نوع ۸ شکل و تنها یک واقعه دارای حلقه سنجه در جهت عقربه ساعت می‌باشد، که در این میان بیشترین و کمترین حجم رواناب به ترتیب مربوط به واقعه‌های مورخ ۱۳۸۹/۸/۱۱ با ۱۵۱۴۸۸ مترمکعب و ۱۳۸۹/۱۰/۱۵ با ۱۱۷۶۴/۸ مترمکعب بود. همچنین این تحقیق نشان داد که از نظر فصلی نمی‌توان الگوی مشخصی برای نوع مخصوصی از حلقه‌ها تعیین کرد. به نحوی که ویژگی‌های بارندگی و رواناب، اثر سایر عوامل را تحت تأثیر قرار داده و تفسیر کننده روابط به دست آمده می‌باشد. نتایج به دست آمده بر اهمیت توزیع زمانی بارندگی و روند افزایش و کاهش رواناب حاصله در حوضه‌های کوچک، جهت تفسیر حلقه‌های سنجه رسوب تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: پاسخ هیدرو-رسوبی، حلقه سنجه، حوزه آبخیز خامسان، رسوب‌نگار

۱. گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.kavian@sanru.ac.ir

## مقدمه

بار رسوب حاصل از یک حوزه آبخیز به عنوان شکل خروجی فرآیندهای فرسایش است و تخمین آن به علت اثر متقابل پیچیده فرآیندهای هیدروژئولوژیکی مختلف، مشکل می‌باشد (۱۸). تخمین بار رسوب و تغییرپذیری زمانی آن برای اهداف مختلف از قبیل طراحی آبیگرها، سازه‌های کنترل فرسایش، محاسبات مورفولوژی رودخانه و همچنین مطالعات ارزیابی اثرات مختلف اعمال مدیریت اراضی، مورد نیاز می‌باشد (۱۱ و ۱۶). روابط بین غلظت رسوب معلق و دبی در زمان و همچنین در بین رگبارهای مختلف یکسان نیست (۵، ۱۲، ۱۵، ۱۷ و ۲۲)، که این عامل باعث پراکندگی جفت داده‌های دبی و غلظت رسوب معلق می‌گردد (۵). همچنین روابط بین بار رسوب و دبی، الگوهای مختلف فرسایش و عملکرد انتقال رسوب را در بالادست منعکس می‌کند و ابزار مناسبی را برای مطالعات پایه بار رسوب فراهم می‌کند (۱۳). منحنی نشان‌دهنده رابطه غلظت رسوب و دبی در طول زمان، حلقه سنجه‌می باشد (۱۷).

حلقه‌های سنجه معمولاً در روش‌های تخمین بار رسوب به حساب نمی‌آیند. با این وجود، اثر حلقه‌های سنجه و مخصوصاً شکل آنها، شاخص مهمی در فرآیندهای مختلف تولید رواناب، محل منابع رسوب و انتقال رسوب می‌باشد (۵، ۱۰ و ۱۷). علاوه بر این حلقه‌های سنجه توسط اندازه حوضه، مقدار بارش و رطوبت خاک کنترل می‌شوند (۹ و ۱۷). حلقه‌های سنجه اطلاعات مفیدی را در رابطه با منابع رسوب معلق و نحوه انتقال رسوب ارائه می‌کنند (۸ و ۲۲). پنج نوع حلقه سنجه در جهت عقربه ساعت، خلاف جهت عقربه ساعت، هشت شکل، خطی و خطی به اضافه یک حلقه مشخص شده است (۲۱). حلقه‌های سنجه در جهت عقربه ساعت، متداول‌ترین نوع حلقه‌های سنجه هستند (۱۷). برای ایجاد این نوع حلقه‌های سنجه، بارندگی با مدت زمان طولانی (۴) و شدت کم، ارتفاع بالای رواناب و رطوبت اولیه بالای خاک نیاز می‌باشد (۵). به علاوه، هنگامی که غلظت رسوب معلق انتقال یافته در طول شاخه صعودی زیادتر

باشد، حلقه‌های سنجه در جهت عقربه ساعت ظاهر می‌شود که این حالت معمولاً به علت تخلیه سریع رسوبی که قبلاً در کانال ته‌نشست شده است، به وجود می‌آید (۹ و ۱۹). در این حالت تولید و انتقال رسوب محدود به مناطق نزدیک کانال بوده و سطوح مشارکت کننده در انتقال رسوب محدود می‌باشند (۱۷). حلقه‌های سنجه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت نیز در رگبارهای کوتاه مدت با شدت زیاد و شرایط خاک خیلی خشک تشکیل می‌شود (۵). همچنین هنگامی که اوج غلظت رسوب معلق بعد از دبی اوج اتفاق می‌افتد، حلقه‌های سنجه در خلاف جهت عقربه ساعت تشکیل می‌شود که نشان‌دهنده انتقال رسوب از منابع دورتر است (۹ و ۱۹). حلقه‌های سنجه هشت شکل، هنگامی تشکیل می‌شوند که منابع رسوب در فاصله زیادی از منطقه قرار دارد. در این حالت حلقه دومی در شاخه نزولی آب‌نگار بعد از یک حلقه در جهت عقربه ساعت یا در جهت خلاف عقربه ساعت ایجاد می‌گردد (۲۲).

بنابراین هر دو جهت حلقه‌های سنجه را شامل می‌شود و زمانی تشکیل می‌گردد که مقدار رواناب تولیدی کم، شدت بارش متوسط و رطوبت خاک نیز در حد متوسط می‌باشد (۵). شکل خطی معمولاً در شرایط بارش و دبی کم و نیز شدت کم بارش تشکیل می‌شود. در این حالت تفاوت قابل ملاحظه‌ای در غلظت رسوب معلق متناظر با شاخه صعودی و نزولی آب‌نگار وجود ندارد (۲۲). شکل رسوب‌نگارها و حلقه‌های سنجه به وسیله عوامل متعددی کنترل می‌گردد و بنابراین آگاهی از توزیع رسوب در طول سیل‌ها، بررسی تغییرات زمانی و مکانی آنها و تحلیل جداگانه رسوب‌نگارها و آب‌نگارها طی وقایع منفرد منجر به افزایش دقت مطالعات رسوب می‌شود (۱). محققین مختلفی در رابطه با حلقه‌های سنجه مطالعاتی انجام داده‌اند که می‌توان به برخی از آنها اشاره نمود.

فضلی و همکاران (۲)، به بررسی رسوب‌نگارهای ۴ واقعه رگبار در حوضه خامسان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رسوب‌نگارها از آب‌نگارها تبعیت می‌کنند. سعیدی و صادقی (۱)، با بررسی رسوب‌نگارها و حلقه‌های سنجه در

رگبارها در برخی از پژوهش‌ها و یا نبود اطلاعات دقیق و کمی از شرایط مختلف موجود در داخل حوضه باعث شده تا در این تحقیق به صورت دقیق و جزئی‌تر به برداشت اطلاعات اقدام گردد و بدین وسیله علت وقوع روابط مختلف دبی و رسوب تعیین شود.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

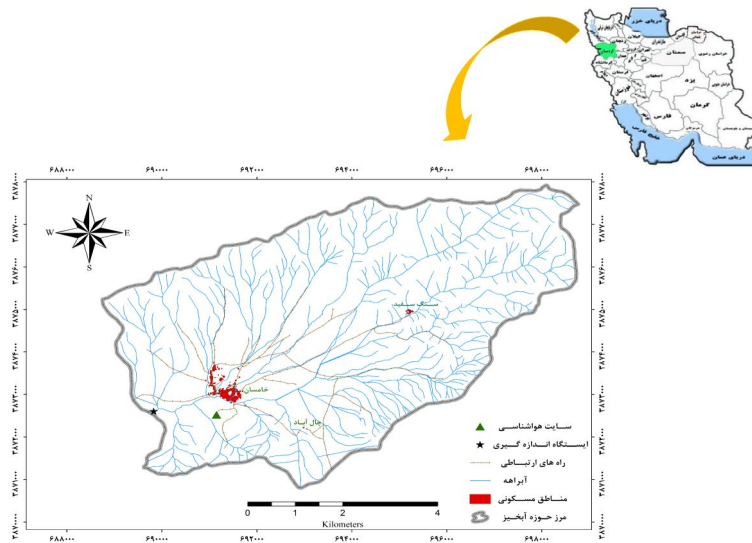
حوزه آبخیز خامسان با مساحتی بالغ بر ۴۱۹۳ هکتار در حد واسط طول‌های جغرافیایی "۴۵° ۴۷' تا "۴۴° ۱۰' شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۵۱° ۵۷' تا "۲۹° ۱۰' شمالی در استان کردستان واقع شده است (شکل ۱). شیب متوسط حوضه ۱۸ درصد و حداقل و حداکثر ارتفاع آن به ترتیب ۱۵۷۶ و ۲۳۸۵ متر بالاتر از سطح آزاد دریا است. میانگین بارندگی منطقه نیز ۴۷۳ میلی‌متر می‌باشد. قسمت اعظم پوشش کاربری حوضه به صورت مرتع می‌باشد که در برخی نواحی که در نزدیکی روستاهای حوضه و یا در کنار مسیر آب قرار گرفته، زمین‌های زراعی واقع شده است، که به صورت دیم می‌باشد. در برخی نواحی دیگر حوضه معادن برداشت سنگ و ماسه وجود دارد و در قسمت خروجی حوضه که به دریاچه سد گاوشان می‌ریزد، ایستگاه هیدرومتری حوضه قرار گرفته است که محل اندازه‌گیری رواناب و برداشت نمونه‌های رسوب در این تحقیق می‌باشد (شکل ۱).

### عملیات صحرائی و اندازه‌گیری دبی رسوب و رواناب

به منظور اندازه‌گیری مقادیر رسوب و رواناب، نقطه خروجی حوضه که مجهز به ایستگاه اندازه‌گیری رواناب می‌باشد، انتخاب گردید. تجهیزات اندازه‌گیری رواناب شامل فلوم سانتاریتا (Santa Rita) با حداکثر ظرفیت ۵۰ متر مکعب بر ثانیه و لیمنوگراف بوده است که به صورت داده‌بردار هر ۵ دقیقه یک‌بار ارتفاع رواناب را ثبت می‌کند. پس از جمع‌آوری داده‌های رواناب هر سیل، با استفاده از جدول

حوزه آبخیز آموزشی دانشگاه تربیت مدرس به این نتیجه رسیدند که رسوب‌نگارها زودتر از آب‌نگارها تشکیل می‌شود و در نتیجه حلقه‌های سنجه در جهت عقربه‌های ساعت تشکیل می‌گردد. سیگر و همکاران (۱۷) در حوزه آبخیز کوچکی در اسپانیا رابطه بین غلظت رسوب معلق و دبی را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که سه نوع حلقه سنجه در جهت عقربه ساعت، خلاف جهت عقربه ساعت و هشت شکل در حوضه مورد بررسی ایجاد شد. زابلتا و همکاران (۲۲) به بررسی عوامل کنترل‌کننده بار رسوب معلق در طی وقایع در سه حوضه کوچک در یکی از کشورهای اسپانیا پرداختند. نتایج نشان داد که برای یکی از حوضه‌ها چهار نوع حلقه سنجه از قبیل خطی، در جهت عقربه ساعت، خلاف عقربه ساعت و هشت شکل مشاهده گردید در حالی که برای دو حوضه دیگر تنها حلقه سنجه در جهت عقربه ساعت تشکیل گردید. صادقی و همکاران (۱۶) رسوب‌نگار و آب‌نگارهای حاصل از ۸ رگبار را در آبخیز کوچک جنگل‌کاری شده‌ای در ژاپن بررسی کردند. نتایج نشان داد که در واقعه منفرد حداکثر غلظت رسوب قبل از دبی اوج اتفاق افتاد و در نتیجه باعث ایجاد حلقه سنجه در جهت عقربه ساعت شد. سولر و همکاران (۱۹) رابطه بین غلظت رسوب معلق و دبی را در دو حوضه تحقیقاتی کوچک بررسی کردند. در هر دو حوضه، اغلب در هنگام فصول مرطوب که شدت بارش متوسط و سطح آب پایه بالا بوده است، حلقه‌های سنجه در جهت عقربه‌های ساعت تشکیل شدند. همچنین در حوضه بزرگ‌تر، بیشتر در تابستان، زمانی که شدت بارش زیاد و سطح آب پایه پایین است، حلقه‌های سنجه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بیشتر ایجاد شد.

بررسی سوابق تحقیق، نشان‌دهنده تنوع زیاد اثر عوامل مختلف در رابطه دبی رسوب و رواناب می‌باشد، که در هر حوضه بسته به شرایط آن، انواع مختلفی از حلقه‌ها مشاهده می‌شود. از طرفی اگرچه در داخل کشور و حتی در حوضه مورد مطالعه تحقیقاتی صورت گرفته است اما به دلیل تعداد کم



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### برداشت و ترسیم نمودار داده‌های بارش

از آنجایی که بارش از مؤلفه‌های کنترلی مهم در تولید رسوب و رواناب می‌باشد، بنابراین داده‌های بارندگی هر رگبار از ایستگاه هواشناسی مستقر در زیرحوضه نمونه که هر ده دقیقه یکبار ثبت می‌شود، جمع‌آوری گردید. سپس برای هر رگبار، برخی مشخصه‌های رگبار و نمودار توزیع زمانی مقدار بارندگی در طول مدت بارش ترسیم شد. به‌منظور در نظر گرفتن اثر بارندگی‌های قبلی، از داده‌های رطوبت خاک که در ایستگاه مذکور اندازه‌گیری می‌شود، استفاده گردید.

### حلقه‌های رواناب و رسوب

پس از جمع‌آوری داده‌های دبی رواناب و رسوب، اقدام به ترسیم آب‌نگار و رسوب‌نگار برای هر واقعه سیل گردید. سپس نمودار رابطه بین دبی رسوب و رواناب نیز در محیط نرم‌افزار Excel ترسیم شد و به‌این ترتیب حلقه‌های رسوب و رواناب برای هر رگبار به‌صورت مجزا به‌دست آمد. در نهایت، با توجه به شرایط درونی حوضه در هر رگبار و نیز با در نظر گرفتن توزیع زمانی مقدار بارندگی در طول هر رخداد، اقدام به تفسیر حلقه‌های مشاهداتی گردید.

استاندارد مربوط به طراحی فلوم که حاوی مشخصات فلوم و مقادیر متناظر ارتفاع و دبی رواناب می‌باشد، برای هر داده ارتفاعی رواناب ثبت شده در ایستگاه، مقدار دبی متناظر محاسبه و استخراج گردید. بدین ترتیب آب‌نگار واقعه بارش تهیه شد (۱۶). همچنین با توجه به نبودن داده‌های رسوب معلق در منطقه مورد مطالعه، مبادرت به برداشت نمونه‌ها از محل فلوم در طی واقعه‌های بارش-رواناب گردید. برای این کار، نمونه‌های آب گل آلود با فواصل زمانی ۳۰ دقیقه توسط ظروف یک لیتری برداشت گردید. انتخاب فاصله زمانی ۳۰ دقیقه به‌منظور نمایش دادن تغییرات رسوب در شاخه صعودی و نزولی آب‌نگار بود. نمونه‌برداری‌ها نیز طی دوره آماری ۹ ماهه (فصل بارش) از مهرماه ۱۳۸۹ تا اواخر تیر ۱۳۹۰ انجام گرفت. برای اندازه‌گیری مقدار رسوب معلق، از روش صاف کردن (Filtration) استفاده گردید (۷) و با تعیین مقدار رسوب در هر نمونه یک لیتری، کل با رسوب معلق برای دبی رواناب متناظر حساب شد. به‌این ترتیب رسوب‌نگار وقایع سیل به‌دست آمد. همزمان با برداشت نمونه‌ها، با پایش میدانی از حوضه درصد پوشش گیاهی نیز ثبت گردید.

جدول ۱. تاریخ و برخی مشخصه‌های رگبارها

| ردیف | تاریخ وقوع | زمان شروع بارش | مدت تا اوج شدت<br>(درصد) | مدت بارش<br>(ساعت) | شرایط رطوبتی خاک<br>(درصد) | پوشش گیاهی<br>(درصد) | مقدار بارش<br>(میلی‌متر) | چارک‌های مختلف بارندگی |      |      |       |
|------|------------|----------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|------|------|-------|
|      |            |                |                          |                    |                            |                      |                          | اول                    | دوم  | سوم  | چهارم |
| ۱    | ۱۳۸۹/۸/۱۱  | ۰۱:۴۰          | ۳۷/۸۷۸۷                  | ۱۱                 | ۱۵/۸                       | ۴۲/۲۷                | ۲۳                       | ۰/۶                    | ۸/۱  | ۸/۷  | ۵/۶   |
| ۲    | ۱۳۸۹/۹/۲۱  | ۱۰:۳۰          | ۳۵/۳۳                    | ۲۵                 | ۱۴/۲                       | ۴۰/۵                 | ۴۹/۷                     | ۵/۰۵                   | ۱۱/۷ | ۱۱/۹ | ۲۰/۹  |
| ۳    | ۱۳۸۹/۱۰/۱۵ | ۱۵:۱۰          | ۹۵/۵۰۵                   | ۱۴/۸۳              | ۲۲/۴                       | ۳۸/۰۵                | ۱۱/۵                     | ۱/۸                    | ۱/۹  | ۱/۴  | ۶/۴   |
| ۴    | ۱۳۸۹/۱۲/۱۷ | ۱۴:۲۰          | ۱۷/۴۶                    | ۱۰/۵               | ۲۲/۷                       | ۴۷/۷۷                | ۱۰/۵                     | ۶/۵                    | ۱    | ۱/۰۲ | ۱/۹۷  |
| ۵    | ۱۳۸۹/۱۲/۱۸ | ۱۳:۳۰          | ۶۲/۱                     | ۱۵/۸۳              | ۲۲/۷                       | ۴۷/۷۷                | ۱۴/۸                     | ۸/۵                    | ۰/۶  | ۲/۷  | ۳     |
| ۶    | ۱۳۹۰/۲/۱۰  | ۰۹:۵۰          | ۸۳/۸۷                    | ۲۰/۶۶              | ۲۶/۱                       | ۷۵/۸۳                | ۲۷/۸                     | ۵/۵                    | ۰/۸  | ۳/۲  | ۱۸/۳  |

## نتایج

تحقیق حاضر به منظور بررسی عوامل کنترل کننده پاسخ هیدرو-رسوبی حوضه معرف خامسان انجام گرفت. به این منظور نتایج حاصل از محاسبه و اندازه‌گیری برخی متغیرهای زمینی حوضه و نیز مشخصه‌های رگبار در جدول ۱ نشان داده شده است.

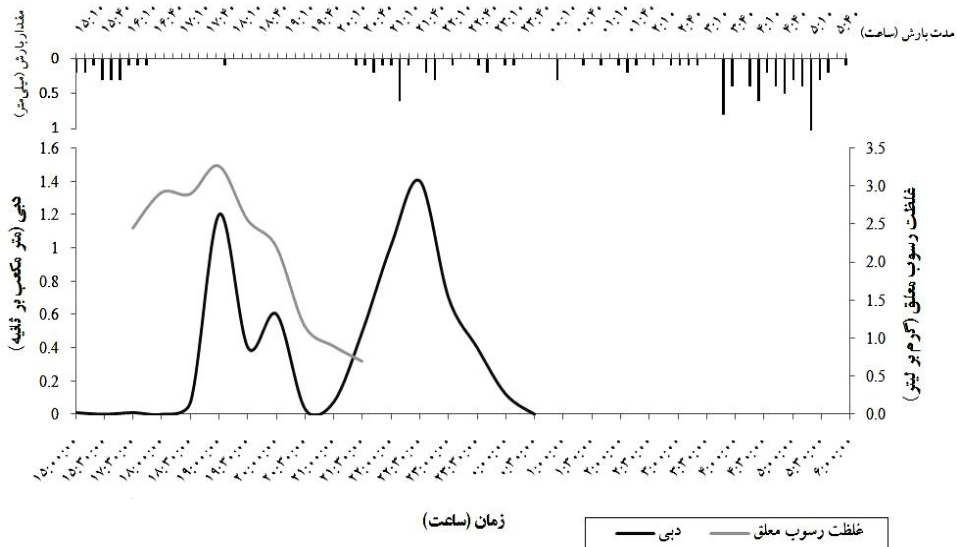
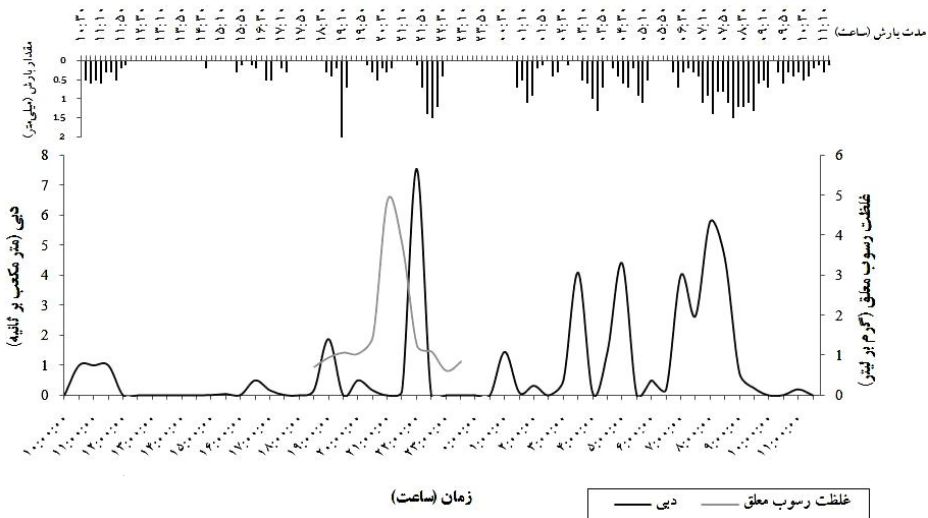
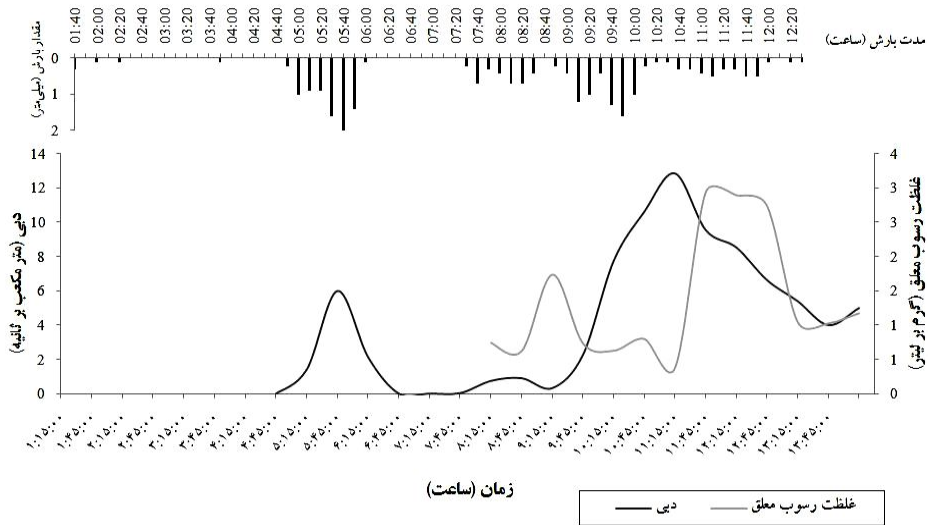
اندازه‌گیری پارامترهای بارش، رواناب و رسوب در این قسمت ارائه می‌گردد. بنابراین، نتایج حاصل از اندازه‌گیری آب‌نگارها و رسوب‌نگارهای مربوط به سیلاب‌ها و مقدار بارندگی در طول مدت رگبار هر رخداد (توزیع زمانی مقدار بارندگی) در اشکال ۲-۷ آمده است.

نتایج حاصل از تعیین انواع حلقه‌های سنج رسوب ناشی از وقایع سیل در شکل ۸ نشان داده شده است.

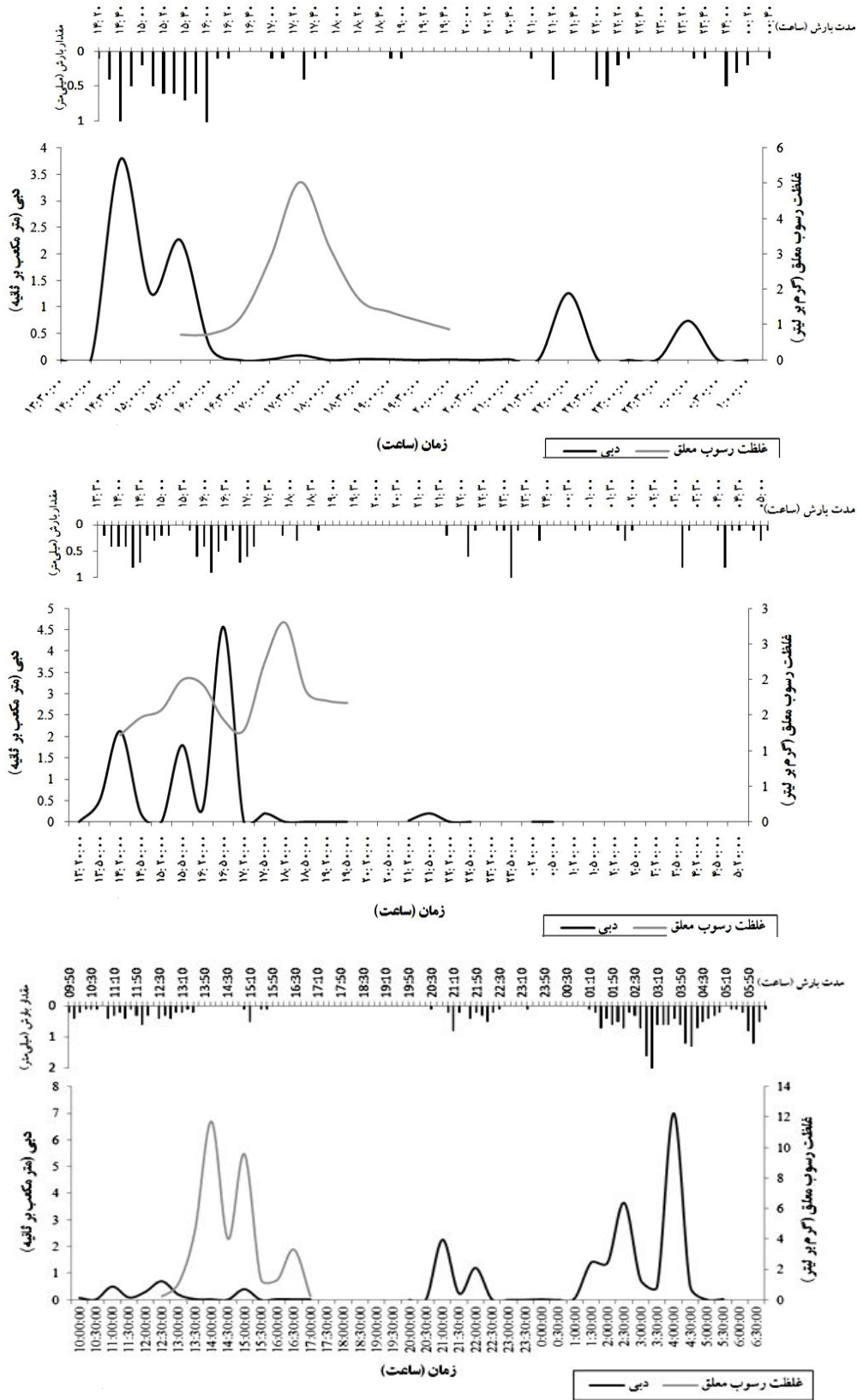
## بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر سعی شد انواع حلقه‌های سنج رسوب در ارتباط با مهم‌ترین متغیرهای هیدرولوژیکی تأثیرگذار بررسی شود و در نهایت با توجه به شرایط وقوع آن‌ها مؤثرترین عامل، تعیین و جدا گردد. با توجه به تحقیقات قبلی که در این حوضه

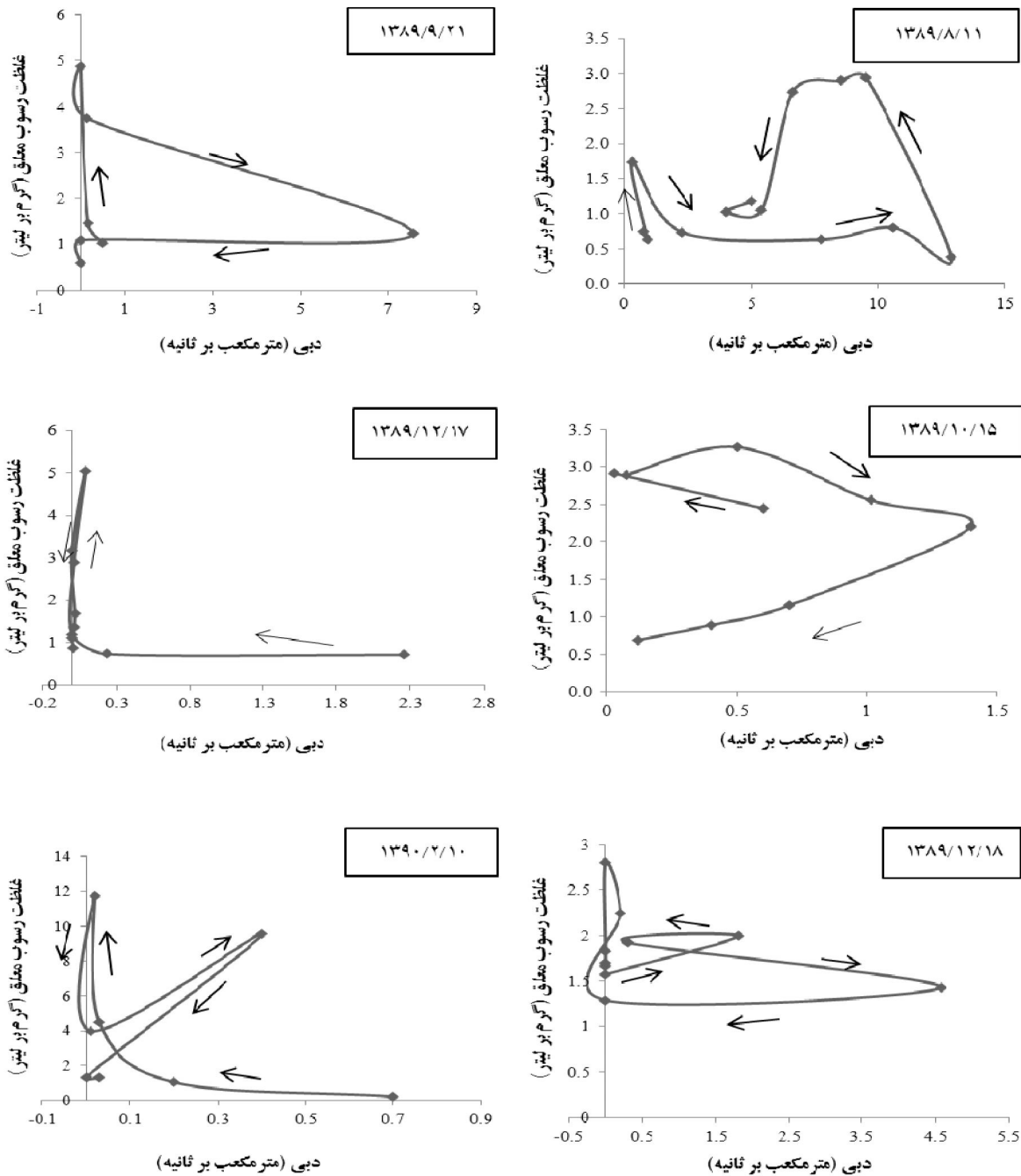
در مقیاس‌های مختلف انجام گرفته بود (۲ و ۳)، با این فرض که بارندگی (نه تنها مقدار، بلکه توزیع زمانی مقدار بارش و در نتیجه شدت رگبار در طی زمان رخدادها) و رواناب مؤثرترین فاکتور در ایجاد فرسایش و تولید رسوب می‌باشد، جمع‌آوری داده‌ها شروع شد. از سویی با توجه به این‌که تغییرات شدت و مقدار بارندگی بر آب‌نگار و تولید رسوب در مقیاس‌های مختلف توسط محققین تأکید شده بود، لذا سعی گردید حلقه‌های ایجاد شده در ارتباط ویژه با این پدیده بررسی شود. در طول دوره پایش از مهر ۱۳۸۹ تا تیر ۱۳۹۰، در مجموع ۲۵ واقعه بارش به وقوع پیوست. با ذکر این نکته که هر واقعه بارندگی در هر مقیاسی (زمانی و مکانی)، بسته به پیچیدگی مقیاس‌ها و نیز بسته به تغییرات مقدار و شدت بارندگی جزء وقایع ایجادکننده رواناب و در نتیجه واقعه فرساینده محسوب نمی‌شود، خاطر نشان می‌شود که تنها ۱۲ رگبار در مقیاس کرت (۴۰/۴۴۳ مترمربعی) منجر به تولید رواناب و رسوب گردید (۳) و در مقیاس حوضه (با مساحت ۴۱۹۳ هکتار) تعداد کمتر از ۱۰ واقعه منجر به تولید رواناب قابل توجه (روانابی که آب‌نگار مشخص تولید نماید) شد. که در این میان بیشترین و کمترین حجم رواناب به ترتیب مربوط به واقعه‌های مورخ ۱۳۸۹/۸/۱۱ با ۱۵۱۴۸۸ مترمکعب و ۱۳۸۹/۱۰/۱۵ با ۱۱۷۶۴/۸ مترمکعب



شکل‌های ۲ تا ۴. نمودار توزیع زمانی رگبار، آب‌نگار و رسوب‌نگار



شکل‌های ۵ تا ۷. نمودار توزیع زمانی رگبار، آبنگار و رسوب‌نگار



شکل ۸. نتایج حاصل از تعیین انواع حلقه‌های سنج رسوب ناشی از وقایع سیل

حوضه در زمان‌های ۱۸ و ۲۴ دقیقه بعد از ظهر رخ داده است و یا قسمتی از آن در ساعت‌های پایانی روز به وقوع پیوسته است) (۳). از این تعداد رگبار، ۲ واقعه سیل در فصل پاییز، ۳ واقعه در فصل زمستان و تنها ۱ واقعه در فصل بهار به وقوع پیوست (جدول ۱). بیشترین مقدار و مدت بارندگی، ۴۹/۷

می‌باشد. از طرفی، با توجه به زمان وقوع رخدادها (برخی از رخدادها در ساعت‌های پایانی شب به وقوع پیوست)، نمونه‌برداری تنها از ۶ واقعه انجام پذیرفت (بیش از ۲۵ درصد از کل ۲۵ رگبار، و بیش از ۳۵ درصد از ۱۲ رگبار فرساینده در سطح کرت و بیش از ۳۵ درصد از رگبارهای فرساینده در سطح



رسوب معلق و شرایط پوشش گیاهی (۹ و ۲۰) معرفی نموده‌اند، اما در مطالعه حاضر اثر حجم رواناب و الگوی توزیع زمانی مقدار و شدت بارندگی در طی رگبار به‌عنوان تأثیرگذارترین متغیر بر حلقه‌های مذکور شناسایی شد.

عدم تشابه و وجود اختلاف در تفسیر حلقه‌های سنجه باعث می‌شود تا نتوان از آن به‌عنوان یک ابزار مستقل برای تعیین منابع رسوبی استفاده بشود، بلکه با توجه به شرایط حاکم در هر حوضه نیاز است تا محقق اطلاعات مستقیمی از شرایط موجود به‌دست آورد. با مشاهده دقیق نمودار تغییرات زمانی بارش در طی بارندگی و تمامی آب‌نگارهای حاصله، به خوبی آشکار است که الگوی صعودی و نزولی شاخه‌های بالارونده و پایین‌رونده آب‌نگار منطبق بر تغییرات بارندگی می‌باشد و این به‌دلیل مساحت کم حوضه مطالعاتی می‌باشد (شکل‌های ۲ تا ۷)، و از طرفی با توجه به چارک‌های محاسبه شده رگبارها در جدول ۱ و نمودارهای شکل‌های ۲ تا ۷ مشاهده می‌شود که تقریباً در تمام رگبارها، الگوی بارش به‌صورت چند قسمتی می‌باشد به‌نحوی که می‌توان گفت، رگبارها در چندین مقدار مجزا واقع شده‌اند (در هر رگبار، چند مقدار قابل ملاحظه بارش در زمان‌های مختلف دیده می‌شود) و بسته به رگبار مورد نظر اوج بزرگ و کوچک در ابتدا یا در انتها می‌باشد. با توجه به مشاهدات صحرائی انجام گرفته طی برداشت نمونه‌های رسوبی و تفسیر شکل‌های ۲ تا ۷ و شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که تنها عامل پیچیدگی تفسیر حلقه‌ها و مشاهده شدن الگوهای ۸ شکل، عمدتاً و به مقدار بسیار بالایی تحت تأثیر رواناب می‌باشد. پس در این حوضه می‌توان با مشاهده روند افزایش و کاهش آب‌نگار به تفسیر حلقه‌ها پرداخت. از طرفی این نکته نباید فراموش شود که نقطه اول این تغییرات، به‌دلیل تغییر در الگوی توزیع زمانی بارش می‌باشد. اگرچه در رگبار مورخ ۱۳۸۹/۱۰/۱۵ که دارای حلقه‌های در جهت ساعت بوده آب‌نگار دارای شکل نامنظمی می‌باشد، اما در مجموع می‌توان گفت که اوج دبی رسوب معلق زودتر از دبی سیل به خروجی رسید و منجر به ایجاد حلقه در جهت ساعت شده است و دلیل آن نیز

میلی‌متر در ۲۵ ساعت مربوط به رخداد ۱۳۸۹/۹/۲۱ و کمترین مقدار و مدت بارندگی، ۱۰/۵ میلی‌متر در ۱۰/۵ ساعت مربوط به رخداد ۱۳۸۹/۱۲/۱۷ بود (جدول ۱). در مجموع از ۶ سیل ثبت شده در حوضه، ۵ واقعه که مربوط به تاریخ‌های ۱۳۸۹/۸/۱۱، ۱۳۸۹/۹/۲۱، ۱۳۸۹/۱۲/۱۷، ۱۳۸۹/۱۲/۱۸ و ۱۳۹۰/۲/۱۰ می‌باشد، دارای حلقه‌های سنجه رسوب از نوع ۸ شکل و رخداد مربوط به روز ۱۳۸۹/۱۰/۱۵ دارای حلقه سنجه در جهت عقربه ساعت است (شکل ۸). از نظر فصلی نیز به‌جز رخداد ۱۳۸۹/۱۰/۱۵ که در زمستان به وقوع پیوست، سایر رخدادها پاییزه، زمستانه و بهار منحنی‌های ۸ شکل از خود نشان دادند و به‌عبارت دیگر در تمام طول سال مشاهده می‌شوند (۱۹).

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها با توجه به کوچکی حوضه، انتظار می‌رفت که اکثر وقایع دارای الگوی در جهت عقربه باشد اما نتایج عکس فرضیه فوق را اثبات نمود. با توجه به شبیه بودن شرایط رطوبتی و پوششی موجود در فصل‌های مختلف (جدول ۱) نیز نمی‌توان الگوی فصلی مشخصی برای نوع مخصوصی از حلقه‌ها تعیین کرد، در این راستا، در تحقیقی که توسط لنزی و مارچی (۱۲)، انجام گرفت نیز الگوی فصلی مشخصی قابل تشخیص نبود. مشاهده شدن حلقه‌های ۸ شکل در دامنه گسترده‌ای از خصوصیات شرایط رطوبت پیشین (از ۱۴/۲ درصد تا ۲۶/۱ درصد)، مقدار و مدت بارندگی (از ۱۰/۵ تا ۴۹/۷ میلی‌متر و از ۱۰/۵ تا ۲۰/۶۶ ساعت)، شرایط پوشش گیاهی (از ۴۲/۲۷ درصد تا ۷۵/۸۳ درصد) و از طرف دیگر ایجاد حلقه در جهت ساعت در شرایطی تقریباً مشابه، نشان‌دهنده پیچیده بودن تفسیر این روابط به وسیله فاکتورهای فوق‌الذکر و ناتوانی آنها می‌باشد که با نتایج رودریگز بلانکو و همکاران (۱۵) مبنی بر شرایط متفاوت به وقوع پیوستن حلقه‌های ۸ شکل مطابقت دارد (جدول ۱). لذا اگرچه افراد زیادی، فاکتورهای متعدد تأثیرگذاری را بر حلقه‌های سنجه از قبیل اثر کنترلی عمق و شدت بارندگی (۶ و ۲۱)، خصوصیات دبی (۱۴)، شرایط رطوبت پیشین (۱۷)، رواناب (۲۱)، منبع

تخلیه زودتر رسوب برجا مانده از سیل قبل، در داخل آبراهه براساس الگوهای مختلف بارش شود و در مرحله بعد وقایع می‌باشد (۱۹).  
 بنابراین در نهایت توصیه می‌شود که در تحقیقات بعدی با تعداد بیشتر رخدادهای سیل، ابتدا اقدام به تقسیم‌بندی رگبارها براساس الگوهای مختلف بارش شود و در مرحله بعد وقایع می‌باشد (۱۹).  
 متناظر سیل نیز دسته‌بندی گردد و به‌طور دقیق، ترکیب الگوهای بارش و حلقه‌های متناظر و خصوصیات هر کدام از الگوها تفسیر گردد.

## منابع مورد استفاده

۱. سعیدی، پ. و س.ح.ر. صادقی. ۱۳۸۹. تحلیل رسوب‌نگارها و حلقه‌های سنجه مشاهداتی رگبارها در حوزه آبخیز آموزشی دانشگاه تربیت مدرس. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۷(۱): ۹۷-۱۱۲.  
 ۲. فضلی، س.، س.ح.ر. صادقی و ع.و.خالدی درویشان. ۱۳۹۰. بررسی رسوب‌نموده‌های رگبار در حوزه آبخیز معرف خامسان. پژوهش آب ایران ۵(۸): ۲۱۷-۲۲۱.  
 ۳. محمدی، م.ا. ۱۳۹۰. آنالیز آماری روابط بین بارش، رواناب و رسوب در مقیاس کرت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز معرف خامسان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

4. Brasington, J. and K. Richards. 2000. Turbidity and suspended sediment dynamics in small catchments in the Nepal Middle Hills. *J. Hydrol. Process.* 14:2559-2574.
5. Eder, A., P. Strauss, T. Krueger and J. N. Quinton. 2010. Comparative calculation of suspended sediment loads with respect to hysteresis effects (in the Petzenkirchen catchment, Austria). *J. Hydrol.* 389: 168-176.
6. Fang, H. Y., Q. G. Cai, H. Chen and Q. Y. Li. 2008. Temporal changes in suspended sediment transport in a gullied loess basin: the lower Chabagou creek on the Loess Plateau in China. *J. Ear. Surf. Proce. Landform* 33: 1977-1992.
7. Gellis, A. C. 2013. Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid-tropical Puerto Rico. *J. Cat.* 104:39-57.
8. Jansson, M. B. 2002. Determining sediment source areas in a tropical river basin, Costa Rica. *J. Cat.* 47: 63-84.
9. Klein, M. 1984. Anti-clockwise in suspended sediment concentration during individual storms: Holbeck catchment; Yorkshire, England. *J. Cat.* 11: 251-257.
10. Krueger, T., J. N. Quinton, J. Freer, C. J. A. Macleod, G.S. Bilotta, R. E. Brazier, P. Butler and P. M. Haygarth. 2009. Uncertainties in data and models to describe event dynamics of agricultural sediment and phosphorus transfer. *J. Environ. Qual.* 38: 1137-1148.
11. Lana-Renault, N., D. Regues, C. Marti-Bono, S. Begueria, J. Latron, E. Nadal, P. Serrano and J. M. Garcia-Ruiz. 2007. Temporal variability in the relationships between precipitation, discharge and suspended sediment concentration in a small Mediterranean mountain catchment. *J. Nordic. Hydrol.* 38: 139-150.
12. Lenzi, M. A. and L. Marchi. 2000. Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy). *J. Cat.* 39: 267-282.
13. Martilla, H. and B. Klove. 2010. Dynamics of erosion and suspended sediment transport from drained peatland forestry. *J. Hydrol.* 388: 414-425.
14. Nadal-Romero, E., D. Regues and J. Latron. 2008. Relationships among rainfall, runoff and suspended sediment in a small catchment with badlands. *J. Cat.* 74: 127-136.
15. Rodriguez-Blanco, M. L., M. M. Taboada-Castro and M. T. Taboada-Castro. 2010. Factors controlling hydro-sedimentary response during runoff events in a rural catchment in the humid Spanish zone. *J. Cat.* 82: 206-217.
16. Sadeghi, S. H. R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, T. Fukushima, S. Mizugaki and Y. Onda. 2008. Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. *J. Hydrol.* 356: 271-282.
17. Seeger, M., M. P. Errea, S. Begueria, J. Arnaez, C. Marti and J. M. Garcia-Ruiz. 2004. Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees. *J. Hydrol.* 288: 229-311.
18. Singh, P. K., P. K. Bhunya, S. K. Mishra and U. C. Chaube. 2008. A sediment graph model based on SCS-CN method. *J. Hydrol.* 349: 244-255.
19. Soler, M., J. Larton and F. Gallart. 2008. Relationships between suspended sediment concentrations and discharge

- in two small research basins in a mountainous Mediterranean area (Vallecebre, Eastern Pyrenees). *J. Geomo.* 98: 143-152.
20. Steegen, A., G. Govers, J. Nachtergaele, I. Takken, L. Beusenlink and J. Poesen. 2000. Sediment export by water from an agricultural catchment in the Loam Belt of central Belgium. *J. Geomo.* 33: 25-36.
21. Williams, G. P. 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrological events in rivers. *J. Hydrol.* 111: 89-106.
22. Zabaleta, A., M. Martinez, J. A. Uriarte and I. Antiguada. 2007. Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque Country. *J. Cat.* 71: 179-190.