

تحلیل منحنی‌های پس‌ماند رسوب معلق در رودخانه ليقوان

محمدعلی قربانی^{۱*}، فرنوش مرادی زاده^۲ و سامان نیک مهر^۳

تاریخ دریافت: 88/10/12 تاریخ پذیرش: 88/12/5

- 1- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز
 - 2 - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز
 - 3- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه تهران
- *مسئول مکاتبه
E-mail: ghorbani@tabrizu.ac.ir

چکیده

اطلاع از تغییرات میزان رسوبات معلق در مقابل نوسانات ناگهانی و تدریجی دبی رودخانه‌ها از مسائل مهم در پروژه‌های آبی، به ویژه مدیریت حوضه‌های آبریز می‌باشد. بدین منظور استفاده از حلقه‌های پس‌ماند رسوب که بر مبنای تئوری پس‌ماند است در چند دهه اخیر گسترش یافته است. بدلیل نبود چنین مطالعاتی در ایران، در این تحقیق سعی گردیده تا تغییرات منحنی پس‌ماند رسوبات معلق 13 رویداد سیل در مدت 4 سال در حوضه آبریز معرف ليقوان برای نخستین بار مورد بررسی قرار گیرد. لذا پس از شبیه‌سازی مقادیر بار معلق لحظه‌ای با استفاده از روشهای شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون، منحنی‌های پس‌ماند بار معلق بر اساس بهترین روش برای هر رویداد رسم شد که 6 مورد حلقه پس‌ماند خطی، 4 مورد 8 مانند، 2 مورد ساعتگرد و یک مورد پادساعتگرد برای رسوب معلق رودخانه مشاهده گردید. نتایج نشان داد که حلقه‌های پس‌ماند خطی در فصل بهار و ناشی از بارش‌ها با شدت کم رخ داده و حلقه‌های 8 مانند عمدتاً در شرایط کم آب سال که دبی کم بوده ولی شدت بارش زیاد می‌باشد، اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی: حلقه پس‌ماند، رسوب معلق، سیل، ليقوان، منحنی پس‌ماند

Analysis of Hysteresis Curves of Suspended Sediment in the Lighvan River

MA Ghorbani^{1*}, F Moradi Zadeh² and S Nikmehr³

Received: 02 January 2010 Accepted: 24 February 2010

^{1,2} Assist. Prof. and MSc Student., Water Engin. Dep., Univ. of Tabriz, Iran

³ MSc Students, Water Engin. Dep., Univ. of Tehran, Iran

* Corresponding author : E-mail: ghorbani@tabrizu.ac.ir

Abstract

Knowledge of variation of suspended sediment due to sudden and gradual fluctuations of river discharge is one of the important subjects in water studies specially watershed management. For this purpose sediment hysteretic loops based on hysteresis theory have been utilized for last decade. Due to lack of such studies in Iran, this study attempts to investigate variations of suspended sediment hysteretic loops of 13 runoff events along 4 years for the first time. Therefore, after simulation of instantaneous suspended sediment concentration using Artificial Neural Networks and regression methods, hysteretic loops of suspended sediment plotted based on the best method from which 6 cases of single valued, 4 cases of eight-shaped, 2 cases of clockwise and one case of counter-clockwise were observed. The results showed that the linear hysteretic loops occurred in spring were because of low intensity precipitations and the 8-shaped loops mostly occurred in dry season with low river discharge and intense precipitations.

Keywords: Hysteretic curve, Hysteretic loop, Flood, Lighvan, Suspended sediment

مقدمه

و ارزیابی عوامل حاکم بر آنها از ضروریات مدیریت صحیح منابع موجود در یک حوضه آبریز می باشد. رفتار بار معلق غالباً تابعی از شرایط انرژی جنبشی جریان است یعنی رسوبات در جریان های با انرژی جنبشی کم ذخیره شده و تحت جریان های با انرژی جنبشی زیاد، انتقال داده می شوند. با این وجود میزان انتقال رسوب تابعی از رسوب در دسترس نیز می باشد که در فرموله نمودن میزان رسوب انتقال یافته با دبی جریان، میزان رسوب در دسترس در نظر گرفته نمی شود ولی با این وجود روابط تجربی بین بار معلق و دبی جریان در یک مقطع از رودخانه بکار گرفته می شوند. معمولاً تخمین بار معلق با این روش ها بیش از حد کم و یا زیاد بوده و در بعضی موارد به 50% مقدار

بار معلق رودخانه ها یکی از پارامترهای مهم در پروژه های آبی، کشاورزی و همچنین شاخصی برای تعیین وضعیت فرسایش خاک حوضه آبریز می باشد. شناخت عوامل موثر در فرآیند فرسایش و تولید رسوب برای تقلیل اثرات زیان بار آنها در کاهش قدرت تولیدی اراضی، پرکردن مخازن سطحی ذخیره آب، کاهش ظرفیت مخازن زیرزمینی و بالاخره مشکلات تصفیه آب های شرب و صنعتی ضرورت دارد. فرسایش خاک و تولید رسوب آبریزها از محدودیت های اساسی در دستیابی به کاربری پایدار اراضی و حفظ کیفیت آب در آبراهه ها، دریاچه ها و دیگر منابع آب به شمار می روند. از این رو بررسی فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب

موثر بر تولید رسوبات معلق هر حوضه و شناسایی انواع حلقه‌های پس‌ماند از سیل بوده است. برای دو حوضه در بیشتر وقایع ثبت شده حلقه‌های پس‌ماندی ساعتگرد ظاهر شدند و تعداد کمی از آنها یک رابطه خطی بین دبی و غلظت رسوبات معلق نشان دادند. در حالیکه در حوضه سوم از 76 واقعه ثبت شده، 22 واقعه رابطه خطی، 18 حلقه پس‌ماندی ساعتگرد، 26 واقعه حلقه پس‌ماندی پادساعتگرد و 10 واقعه پس‌ماندی شکل 8 مانند داشتند. نادال و همکاران (2008) منحنی‌های پس‌ماند حوضه آراگوآس⁹ را بررسی نمودند که 28% وقایع حلقه‌های ساعتگرد، 34% وقایع حلقه‌های پادساعتگرد، 15% شکل 8 مانند و 23% از وقایع نیز به صورت حلقه‌های پس‌ماند پیچیده مشاهده گردید. رابطه بین دبی و غلظت رسوبات معلق طی سیلابهای مختلف به عللی از قبیل تنوع بارش، دبی و منابع تولید رسوب مشابه و همگن نبوده و تولید حلقه‌هایی شبیه به پس‌ماند می‌نماید. شناسایی انواع منحنی‌های پس‌ماند در تعیین سهم نسبی فرایندهای موثر در تولید و انتقال رسوب از قبیل مقدار و شدت بارش، میزان دبی و شرایط رطوبتی پیشین حوضه موثر است و نیز با بررسی آنها می‌توان از منابع تولید و انتقال رسوب آگاهی یافت که با استفاده از تنها رابطه غلظت رسوب و دبی این امر امکان پذیر نیست لذا هدف از این تحقیق، استخراج و بررسی منحنی‌های پس‌ماند بار معلق رودخانه معرف لیقوان است.

مواد و روش‌ها

لغت هیستریزیس از کلمه یونانی هُسترس¹⁰ به معنای "با تأخیر آمدن" گرفته شده و برای نخستین بار 120

واقعی نیز می‌تواند برسد (فریگاسن 1986). یکی از علل این اختلاف مربوط به تفاوت در میزان رسوب تأمین شده و رسوب تخلیه شده نسبت داده می‌شود و این تغییرات در میزان رسوب موجود را اصطلاحاً اثرات پس‌ماند¹ می‌نامند. محققان زیادی همچون ویلیامز (1989)، لورنز و همکاران (1997)، سیچینگبلا (1998)، لنزی و مارچی (2000)، پیکوئث و همکاران (2001)، الکساندرو و همکاران (2003) و سیجر و همکاران (2004) تغییرات غلظت رسوبات معلق را نسبت به تغییرات سیلاب تحلیل نمودند. غالب اوقات این روابط طی وقایع مشابه، همگن نبوده و تولید حلقه‌های پس‌ماند² می‌نماید. ویلیامز (1989) پنج کلاس معمولی از حلقه‌های پس‌ماند را شامل: ساعتگرد³، پادساعتگرد⁴، شکل 8 مانند⁵، خطی⁶ و خطی به اضافه یک حلقه⁷ معرفی نمود. با بررسی و تحلیل این منحنی‌ها می‌توان از منابع رسوبات معلق و نحوه انتقال رسوبات آگاهی یافت. لنزی و مارچی (2000) منحنی‌های پس‌ماند 7 سیلاب ثبت شده در تابستان و پائیز را بر روی رودخانه‌ای در ارتفاعات شرق ایتالیا مورد بررسی قرار دادند. باکا (2002) تغییرات منحنی پس‌ماند رسوبات معلق را در یک حوضه زراعی کوچک بررسی و نتیجه گرفت که بیشترین نوع حلقه‌های پس‌ماندی رسوب ایجاد شده، ساعتگرد بوده است. علاوه بر آن حلقه‌های پس‌ماندی پادساعتگرد نیز مشاهده شده و دلیل آن را ریزش دیواره‌های کانال یا رسوب ناشی شده از یک منبع دور گزارش نموده است. زابالتا و همکاران (2007) نتایج مطالعات صحرایی را در خصوص نحوه انتقال رسوبات در سه حوضه با خصوصیات فیزیکی بسیار متفاوت در منطقه باسک⁸ اسپانیا ارائه نمودند. هدف تحقیق، تعیین فاکتورهای

¹ Hysteresis

² Hysteretic loops

³ Clockwise

⁴ Counter-clockwise

⁵ Eight shaped

⁶ Linear valued

⁷ Linear valued plus a loop

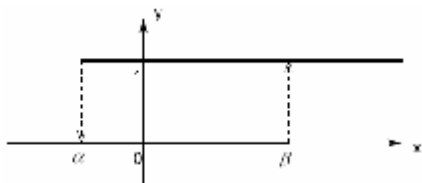
⁸ Basque

⁹ Araguás

¹⁰ Husteros

شکل 2 ساده‌ترین سیستم پس‌ماند یا هیسترون را نشان می‌دهد و روابط آن به صورت زیر قابل بیان می‌باشد (اُکانه و فلین 2007):

$$y(t) = R_{a,b}[t_0, h_0]x(t) = \begin{cases} h_0, & a < x < b \\ 1, & x \geq b \\ 0, & x \leq a \end{cases} \quad [1]$$



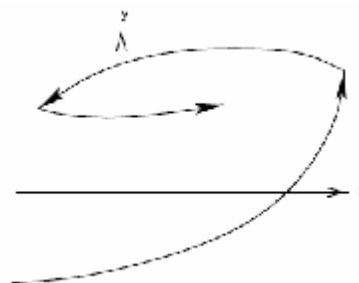
شکل ۲- طرح هیسترون

در این رابطه $R_{a,b}$ به عنوان عملگر روی ورودی $x(t)$ عمل می‌کند. تا زمانیکه x داخل مقادیر آستانه‌ای α و β باقی می‌ماند؛ خروجی y از هیسترون در حالت اولیه خودش یعنی h_0 باقی خواهد ماند که با توجه به وضعیت خروجی زمان قبل از خود (t_0) ، می‌تواند مقادیر صفر یا 1 باشد. به عبارت دیگر خروجی بین آستانه‌ها، دو مقادیر و در طرفین تک مقادیر است. در نتیجه چهار شاخه وجود دارد که دو شاخه افقی نیمه خطهایی با $y=1$ و $y=0$ بوده و شاخه‌های عمودی تکه خطهایی با طول واحد هستند که در آستانه‌ها روی محور x بوده و شاخه‌های افقی را به هم وصل می‌کنند. α را آستانه خاموش¹ و β را آستانه روشن² می‌نامند. با افزایش ورودی x تا زمانیکه به آستانه β برسد مقدار y در صفر ثابت می‌ماند، عبور از β باعث پرش مقدار y از صفر به 1 می‌شود. حال چنانچه ورودی کاهش یابد تا زمانیکه به آستانه α برسد مقدار خروجی در 1 ثابت می‌ماند، عبور از α باعث پرش مقدار خروجی از 1 به صفر می‌شود و بدین ترتیب در فاصله بین α و β یک حلقه پادساعتگرد ایجاد می‌شود (اُکانه و فلین 2007). جهت تشریح پدیده

سال پیش توسط فیزیکدان اسکاتلندی آلفرد اوینگ بدین صورت مطرح شد (اُکانه و فلین 2007) برای دو کمیت x و y اگر تغییرات دوره‌ای x سبب تغییرات دوره‌ای y شده و سپس تغییرات دوره‌ای y با تأخیر در پی تغییرات x رخ دهد ممکن است در رابطه x و y پس‌ماند وجود داشته باشد (اُکانه و فلین 2007). پدیده پس‌ماند که در پدیده‌های غیر خطی رخ می‌دهد، تا بحال در علوم مختلف همچون هیدرولیک (جریان زیر یک دریچه عمودی، دینا و سوسین 2003)، مکانیک (پس‌ماند پلاستیک)، فیزیک (پس‌ماند فرومغناطیس)، شیمی (انتقال فازی)، هیدرولوژی و فیزیک خاک (پس‌ماند رطوبت خاک)، اقتصاد (تحلیل شوک) و ... بکار برده شده است (اُکانه و فلین 2007).

بیان ریاضی پدیده پس‌ماند

در شکل 1 اگر x ورودی و y خروجی باشد، تعریف ساده پس‌ماند بدین صورت است که: وقتی ورودی x افزایش می‌یابد خروجی y یک مسیر معین را طی می‌کند، اما با تغییرات جهت ورودی و کاهش x ، خروجی روی همان مسیر اولیه برنمی‌گردد و بدین ترتیب شاخه‌ها و حلقه‌هایی در صفحه ایجاد خواهد شد، در واقع پدیده غیرخطی پس‌ماند همراه با ایجاد حلقه‌هایی در صفحه است که آنها را حلقه‌های پس‌ماندی می‌نامند.



شکل ۱- تعریف شماتیک از پدیده پس‌ماند

¹ Switch-off

² Switch-on

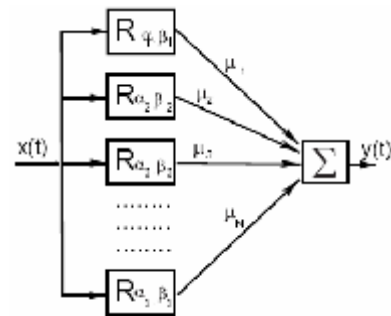
رابطه بین دبی و غلظت رسوبات معلق طی سیلابهای مختلف به عللی از قبیل تنوع بارش، دبی و منابع تولید رسوب مشابه و همگن نبوده و تولید حلقه‌های پس‌ماندی می‌نماید. همانطور که در بخش مقدمه نیز ذکر گردید، حلقه‌های پس‌ماند رسوب پنج نوع ساعتگرد، پادساعتگرد، 8 مانند، خطی و خطی به اضافه یک حلقه هستند که شرح هر یک در ذیل آورده شده است:

حلقه‌های پس‌ماند ساعتگرد: حلقه‌های پس‌ماند رسوب ساعتگرد معمولی‌ترین نوع حلقه‌های پس‌ماند هستند (سیجر و همکاران 2004) که معمولاً در شرایط بارش و دبی زیاد رخ می‌دهد (زابالتا و همکاران 2007). در این نوع حلقه‌ها غلظت رسوبات معلق کم و ضرایب رواناب سطحی بالا است. منابع رسوب محدود بوده و طی مراحل اولیه رویداد بارش-رواناب قبل از رسیدن دبی به پیک، سرعت تخلیه رسوبات زیاد است. تولید و انتقال رسوب محدود به نواحی نزدیک کانال بوده و تحت شرایط رطوبتی بالا رخ می‌دهند ولی سطوح شرکت کننده در انتقال رسوب محدود می‌باشند (سیجر و همکاران 2004).

حلقه‌های پس‌ماند پادساعتگرد: حلقه‌های پس‌ماند رسوب پادساعتگرد در طول سال و در شرایط متعدد رخ می‌دهند و معمولاً منابع رسوب در فاصله زیاد از منطقه سیلاب قرار دارند. در این حلقه‌ها پیک غلظت رسوبات معلق به علت دوری مسیر نواحی تولید رسوب و رواناب، بعد از پیک جریان به آبراهه می‌رسد. در سراسر حوضه خاکهایی نزدیک به حالت اشباع وجود داشته و در نتیجه سطوح شرکت کننده در انتقال رسوب به تمام حوضه گسترش می‌یابد (سیجر و همکاران 2004).

حلقه‌های پس‌ماند 8 مانند: حلقه‌های پس‌ماند رسوب 8 مانند معمولاً در طول تابستان رخ می‌دهند؛ زمانیکه رطوبت خاک حوضه کم بوده و بارش‌هایی با شدت زیاد روی می‌دهد. بدلیل اینکه رسوبات معلق از

پس‌ماند پریاش ابتدا در 1935 مدلی برای فرومغناطیس مطرح نمود که بعدها برای توصیف هیستریزیس در سایر پدیده‌ها نیز بکار گرفته شد (آکانه و فلین 2007). در این مدل تعداد زیادی از هیسترون‌ها (N) به صورت R^j که هر یک با وزن m_j به هم متصل شده و خروجی y را تولید می‌نمایند (شکل 3) و رابطه [2] شرح دهنده آن می‌باشد:



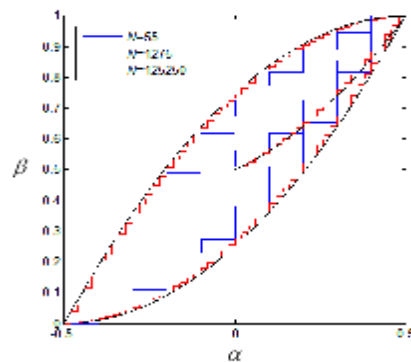
شکل ۳- اتصال هیسترون‌ها و تولید خروجی

$$y(t) = y[t_0, h_0] = \sum_{j=1}^N m_j R^j [t_0, h_0(j)] x(t), t > t_0 \quad [2]$$

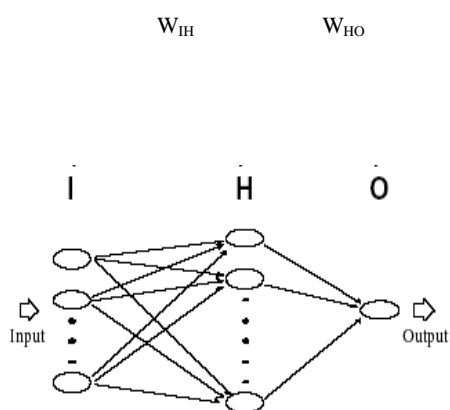
$$m_j = m(j) > 0$$

$$R^j = R_{a_j, b_j}, j = 1, \mathbf{K}, N$$

شکل 4 مدل Preisach را نشان می‌دهد که در آن هیسترون‌ها با آستانه‌های α و β متفاوت به هم متصل شده‌اند. با افزایش تعداد هیسترون‌ها (N)، می‌توان مدل پیوسته پریاش را ایجاد نمود و حلقه‌های پس‌ماندی ایجاد شده را مشاهده نمود.



شکل ۴- مدل پریاش



شکل ۵- ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی.

مدل رگرسیونی

مدل رگرسیونی قادر به شبیه سازی غیرخطی بارمعلق سیلاب ها با دقت محدود هستند ولی به علت ساختار ساده آن، در اکثر مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل رگرسیونی به صورت $Q_S = aQ^b$ که در آن a و b ضرایب معادله می باشند، تعریف می‌شود.

منطقه و داده‌های مورد استفاده

حوضه آبریز ليقوان یکی از زیرحوضه‌های معروف دریاچه ارومیه بوده و با وسعتی معادل 76 کیلومتر مربع در دامنه شمالی سهند بین طول‌های شرقی $30^{\circ} - 20' - 46^{\circ}$ تا $30^{\circ} - 27' - 46^{\circ}$ و عرض شمالی $37^{\circ} - 55' - 42'$ تا $37^{\circ} - 49' - 30'$ گسترده شده است. حوضه از شمال به اسپران کوه و دره ليقوان، از جنوب به ارتفاعات سهند از شرق به حوضه‌های آبریز سعید آباد و از غرب به حوضه رودخانه سردرود منتهی می‌شود. حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب 3620 و 2140 متر از سطح دریای آزاد بوده و ارتفاع متوسط آن 2675 متر می‌باشد. محیط حوضه 35 کیلومتر و طول رودخانه ليقوان حدود 14 کیلومتر است.

یک سطح منبع دور می‌رسند و یا سطوح شرکت کننده در سراسر حوضه گسترده شده است، حلقه دومی در بازوی پایین رونده هیدروگراف بعد از یک حلقه ساعتگرد یا پادساعتگرد اول ایجاد می‌شود (زبالتا و همکاران 2007).

حلقه‌های خطی: روابط خطی معمولاً در شرایط بارش و دبی کم و نیز شدت‌های بارش کم ایجاد می‌شوند. در این نوع حلقه‌های پسماندی تفاوت قابل توجهی در غلظت‌های رسوبات معلق متناظر با شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف وجود ندارد (زبالتا و همکاران 2007).

شبکه عصبی مصنوعی

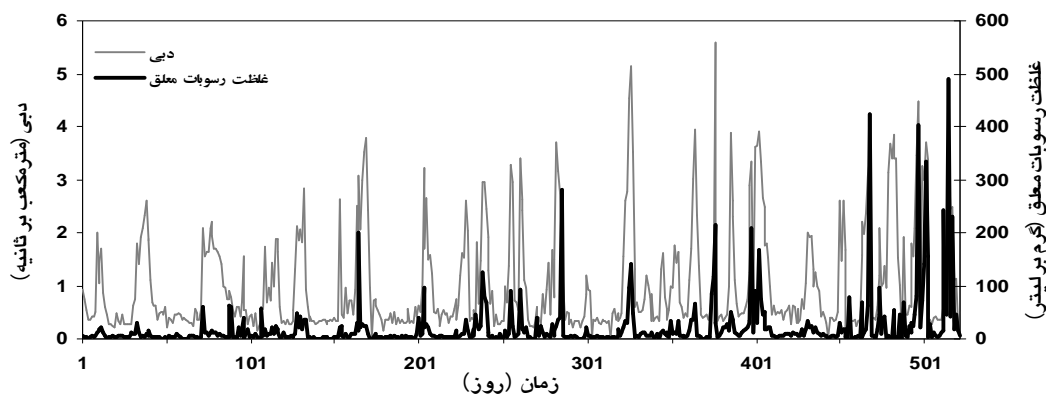
شبکه‌های عصبی مصنوعی بر اساس استنباط از سیستم عصبی بیولوژیکی استوار است. در میان نمونه‌های متعدد شبکه‌های عصبی، شبکه انتشار به عقب دارای کاربرد بیشتری می‌باشد (لیپمن 1987). شبکه یاد شده متشکل از لایه‌هایی است که این لایه‌ها دارای عناصری با عملکرد موازی هستند که به آنها نرون (عصب) گفته می‌شود. هر لایه کاملاً با لایه قبل و بعد از خود در ارتباط است. شکل 5 شمای کلی یک شبکه عصبی را نشان می‌دهد که از سه لایه تشکیل گردیده و W_{IH} و W_{HO} نشانگر وزن‌های مربوط به اتصالات بین لایه‌ها می‌باشد. تخمین اولیه وزن‌های یاد شده با پیشرفت مدل تصحیح می‌گردند که این امر در طی مرحله آموزش (و مقایسه مقادیر خروجی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده) انجام پذیرفته و خطاهای موجود به سمت عقب (از سمت راست به چپ، در شکل 7) منتشر می‌گردند و نتیجه امر تعیین مقادیر تصحیح لازم برای به حداقل رساندن خطا می‌باشد. با توجه به تکرار استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در منابع مختلف، از بسط بیشتر این تکنیک در گفتار پرهیز گردیده و خوانندگان برای اطلاع بیشتر از مفاهیم و اصول این روش می‌توانند به هایکین (1998) مراجعه نمایند.

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق مقادیر بار معلق ماهانه و دبی همزمان آنها در دوره آماری 1383-1348 می‌باشد در شکل 7 نمودار مربوط به بار معلق و دبی دراز مدت در ایستگاه هیدرومتری ترسیم گردیده است. علاوه از مقادیر دبی و غلظت رسوبات معلق 13 هیدروگراف سیل لحظه‌ای همراه با اندازه‌گیری اشل به طور همزمان انتخاب گردید. این هیدروگراف‌های لحظه‌ای به صورت ساعتی از سال 1381 الی 1384 در ماه‌های مختلف سال ثبت شده‌اند (بی‌نام 1382).

متوسط رسوب و دبی سالانه رودخانه ليقوان در ایستگاه هیدرومتری ليقوان به ترتیب 57/14 گرم بر لیتر و 1/08 مترمکعب بر ثانیه است. موقعیت قرارگیری حوضه در شکل 6 نشان داده شده است.



شکل 6- موقعیت حوضه آبریز ليقوان



شکل 7- مقادیر غلظت بار معلق و دبی درازمدت مشاهداتی

جدول 1- ضریب نکویی برازش و میانگین مربعات خطای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیونی

ساختار شبکه	میانگین مربعات خطا	ضریب نکویی برازش (R^2)
ANN2	1.06E-03	0.6003
ANN4	9.21E-04	0.6051
ANN6	8.82E-04	0.6495
ANN9	7.61E-04	0.8701
مدل رگرسیونی*	5.48E+02	0.5731

$$*Q_S = 8.9769Q^{1.1636}$$

جهت بررسی پس‌ماند رسوب و استخراج حلقه‌های پس‌ماند، می‌بایست ابتدا مقادیر رسوبات لحظه‌ای همزمان با سیلابها و هیدروگرافهای لحظه‌ای تخمین زده شوند. از اینرو از دو روش مرسوم شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیونی به منظور تخمین و شبیه‌سازی سنج رسوب لحظه‌ای استفاده شده است.

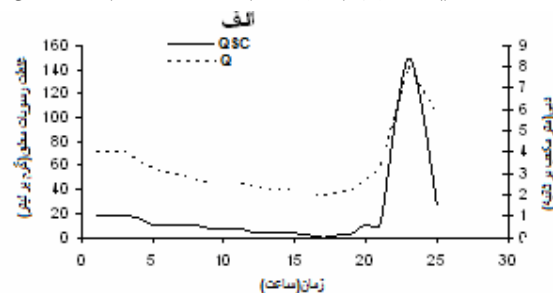
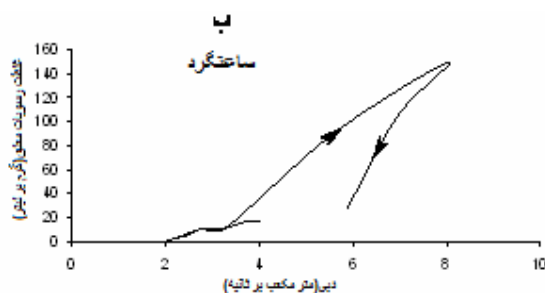
نتایج و بحث

جهت تخمین رسوب معلق لحظه‌ای از مدل رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده گردید. در جدول 1 نتایج خطا و دقت هر مدل آورده شده است.

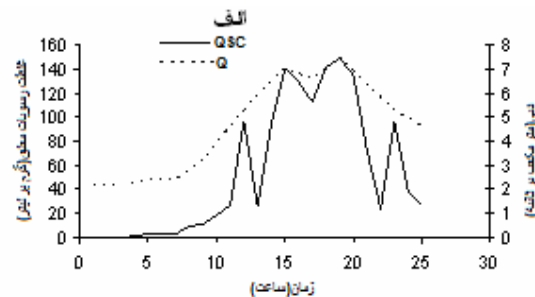
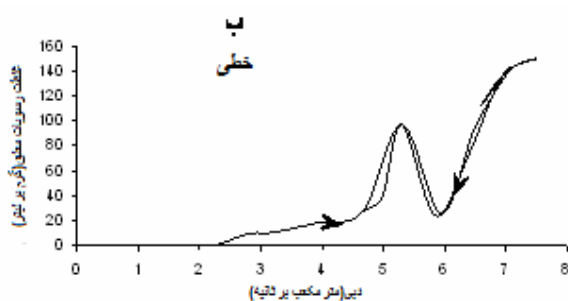
شبیه‌سازی شده همراه با دبی‌های لحظه‌ای متناظر با آنها می‌توان به رسم و بررسی منحنی‌های پس‌ماند پرداخت. هیدروگراف‌های لحظه‌ای دبی-رسوب در تاریخهای روی داده در شکل‌های 8-1-الف الی 8-13-الف و منحنی‌های پس‌ماند رسوب متناظر با هر یک از آنها در شکل‌های 8-1-ب الی 8-13-ب در تاریخ رویداده نشان داده شده است.

با توجه به جدول 1، به این نتیجه می‌توان پی برد که شبکه عصبی مصنوعی (ANN9)، 9-گره در لایه پنهان) در مدل و شبیه‌سازی بار معلق نسبت به مدل رگرسیونی دقت بیشتر و بهتری دارد و لذا از نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت آنالیز منحنی‌های پس‌ماند رسوب در ادامه تحقیق استفاده گردید.

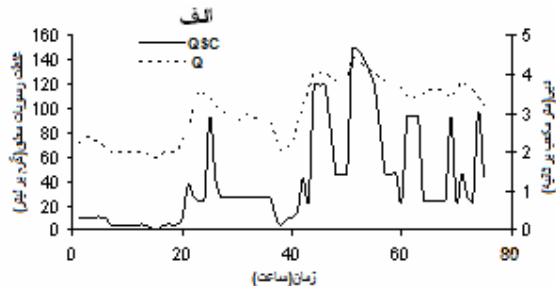
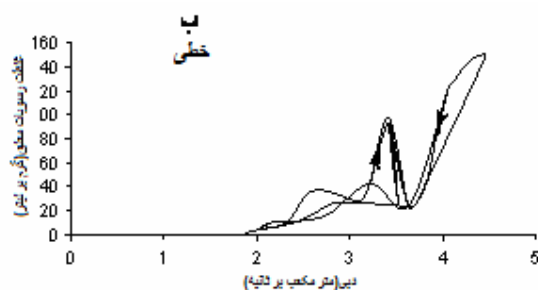
پس از شبیه‌سازی مقادیر بار معلق لحظه‌ای همزمان با مقادیر سیلابی، جهت استخراج منحنی‌های پس‌ماند از 13 هیدروگراف لحظه‌ای طی سالهای 1381 الی 1384 استفاده گردید. اکنون با توجه به غلظتهای بار معلق



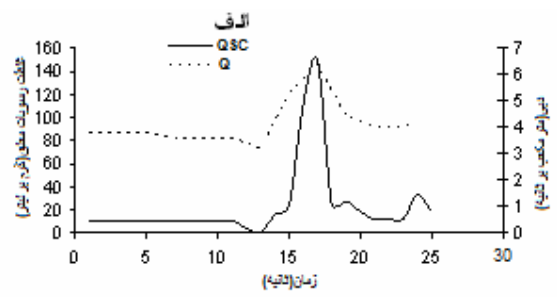
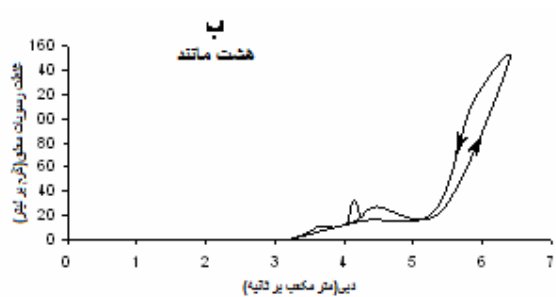
رویداد ۸۱/۱/۱۹



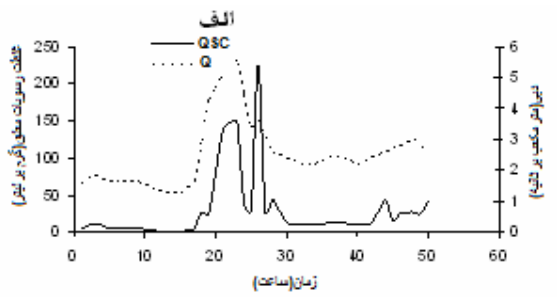
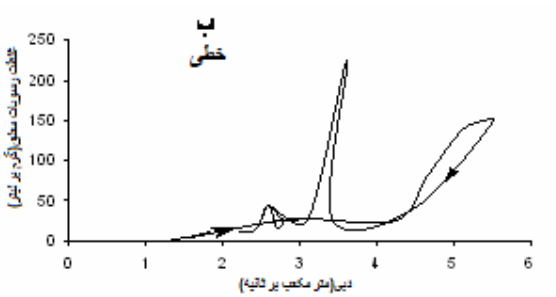
رویداد ۸۱/۲/۶



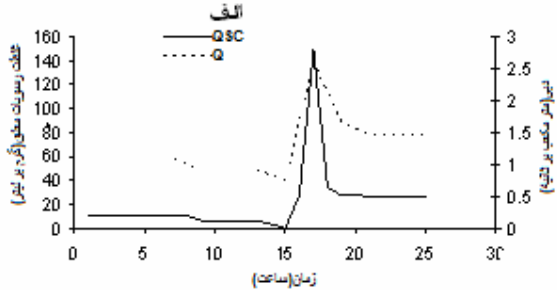
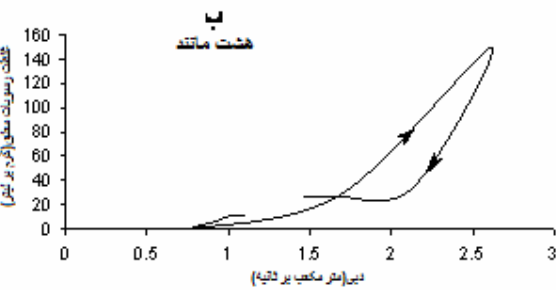
رویداد ۸۱/۲/۲۵-۲۶-۲۷



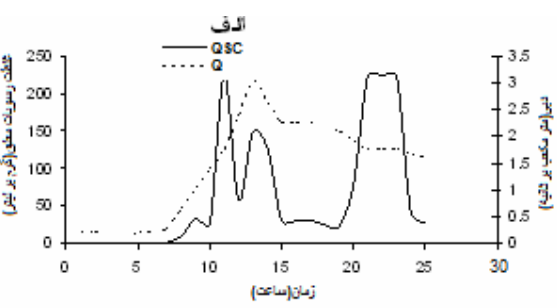
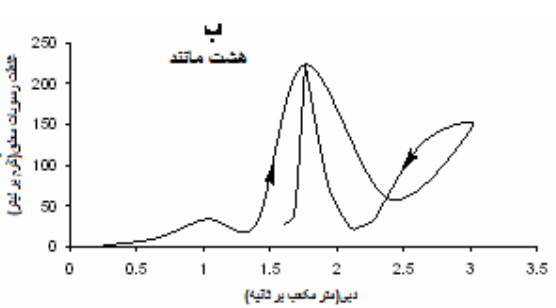
رویداد ۸۱/۳/۶



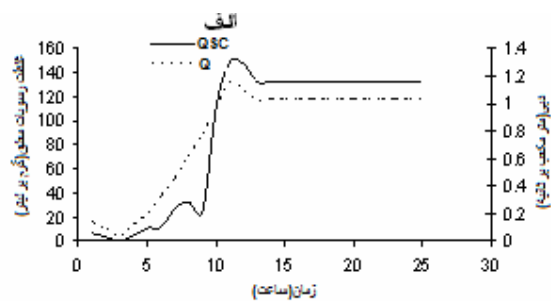
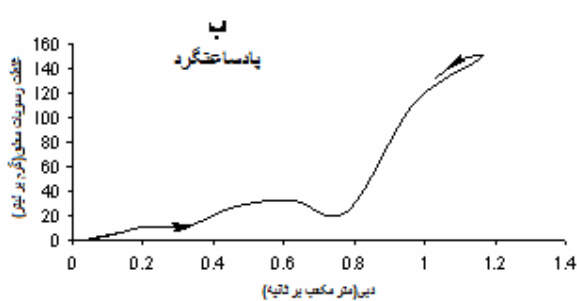
رویداد ۸۱/۳/۲۱-۲۲



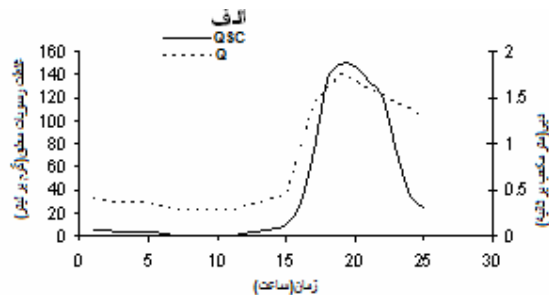
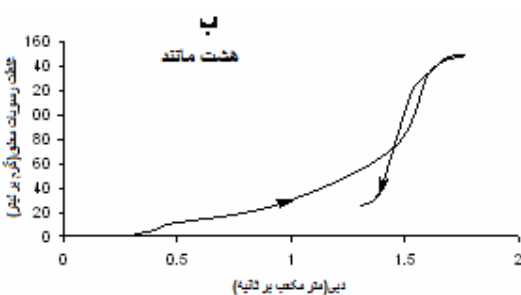
رویداد ۸۱/۴/۱۵



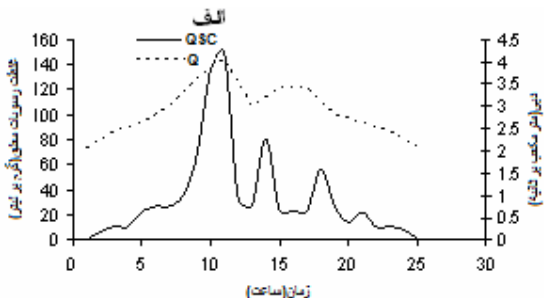
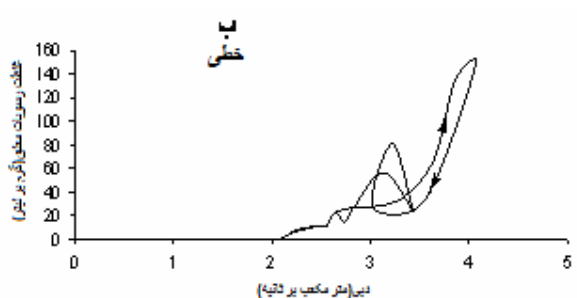
رویداد ۸۲/۸/۷



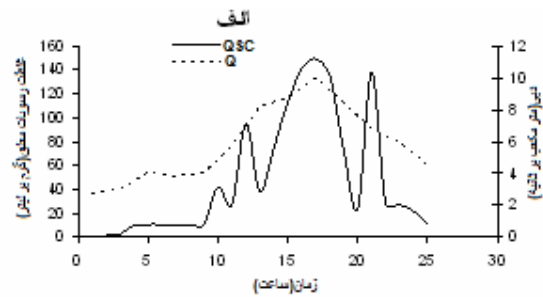
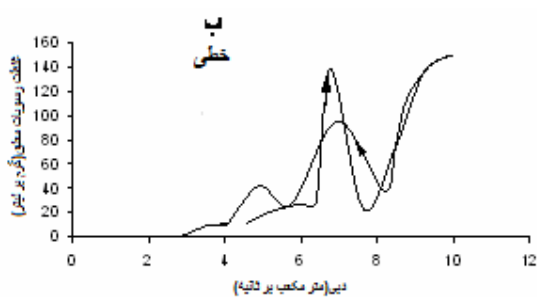
رویداد ۸۲/۱۲/۴



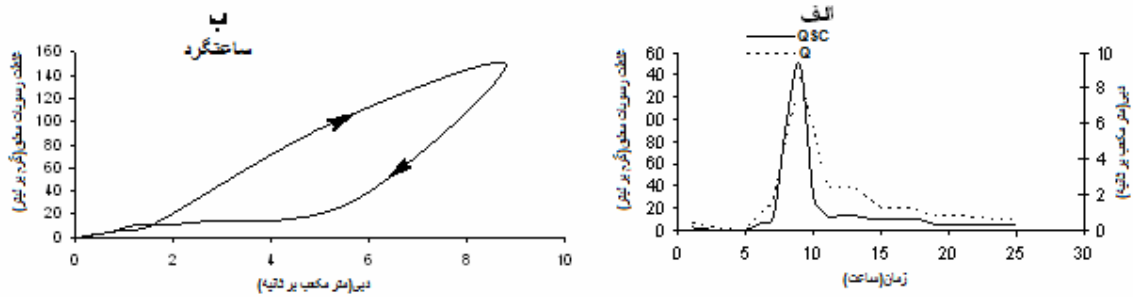
رویداد ۸۲/۱۲/۱۴



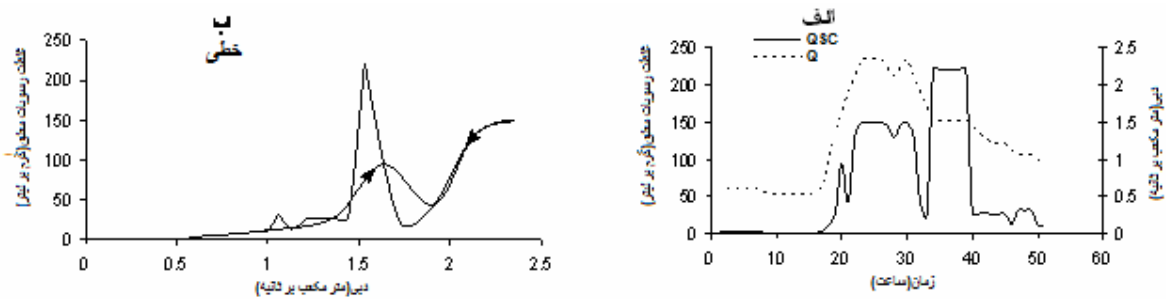
رویداد ۸۳/۲/۴



رویداد ۸۳/۲/۱۲



رویداد ۸۴/۲/۱۳



رویداد ۸۴/۱/۲۶-۲۷

شکل ۸- هیدروگراف لحظه‌ای دبی و رسوب (الف) و منحنی پس ماند رسوب (ب) برای ۱۳ رویداد بارش. تاریخ هر رویداد و نوع حلقه پس ماند روی شکل‌ها نشان داده شده است

است. منحنی پس ماند مربوط به سیلاب (شکل ۸-۸) به صورت حلقه پس ماند پادساعتگرد عمل کرده است که این حالت می‌تواند در شرایط و حالت‌های مختلفی رخ دهد.

نتیجه‌گیری

رابطه دبی و غلظت رسوبات معلق غالباً طی سیلاب‌های مختلف مشابه و همگن نبوده و تولید حلقه‌های پس ماند می‌نماید. شناسایی انواع منحنی‌های پس ماند رسوب در تعیین سهم نسبی فرایندهای موثر در تولید و انتقال رسوب از قبیل مقدار و شدت بارش، میزان دبی و شرایط رطوبتی پیشین حوضه موثر است و نیز می‌توان از منابع تولید و انتقال رسوب آگاهی یافت. بررسی منحنی‌های پس ماند رسوبات معلق ۱۳ رویداد سیل در طی ۴ سال در حوضه آبریز ليقوان

با توجه به نمودار منحنی‌های پس ماند در سال‌ها و ماه‌های مختلف، منحنی پس ماند مربوط به ۶ رویداد (شکل‌های ۲-۸، ۳-۸، ۵-۸، ۱۰-۸، ۱۱-۸ و ۱۳-۸) که در فصل بهار اتفاق افتاده‌اند به صورت خطی رفتار کرده‌اند. علت ایجاد چنین رفتاری معمولاً به دلیل وجود دبی‌ها و مقدار بارش کم و با شدت‌های پائین است. منحنی‌های پس ماند مربوط به ۴ رویداد (شکل‌های ۴-۸، ۶-۸، ۷-۸ و ۹-۸) دارای حلقه‌های پس ماند ۸ مانند هستند که علت چنین رفتاری غالباً به دلیل دبی‌های کم، مقدار بارش کم و در عین حال با شدت بالا است. منحنی‌های پس ماند مربوط به ۲ رویداد (شکل‌های ۱-۸ و ۱۲-۸) به صورت ساعتگرد رفتار کرده‌اند که عمدتاً در فصل بهار رخ داده‌اند. دلیل چنین رفتاری به خاطر وجود دبی‌ها و مقادیر بارش بالا، و همچنین شدت بارش‌های زیاد در زمین‌های با منابع رسوب فراوان

در این تحقیق نیز منحنی‌های پس‌ماند رویدادهای سیل بیشتر از نوع خطی می‌باشند که تحقیق زابالتا و همکاران (2007) این امر را تأیید می‌کند. در این تحقیق، از بررسی برخی عوامل که بر روابط بین دبی و غلظت رسوبات معلق موثر هستند، به علت محدود بودن داده‌ها صرف‌نظر شده است. در صورت در اختیار داشتن پارامترها و عوامل بیشتر، تحلیل آنها می‌توانست نتایج بهتر و دقیقتری را ارائه دهد.

نشان داد که بیشترین رویدادها یعنی 6 مورد، رفتار پس‌ماند خطی داشته که در شرایط دبی، مقدار بارش کم و با شدتهای پائین شکل گرفته‌اند. از میان رویدادهای بررسی شده، حلقه پس‌ماند فقط یک رویداد رفتار پادساعتگرد نشان داده که این نوع حلقه امکان وقوع در شرایط و حالات مختلف را داراست. زابالتا و همکاران (2007) در سه حوضه به تعیین فاکتورهای موثر بر تولید رسوبات معلق هر حوضه و شناسایی انواع منحنی‌های پس‌ماند از سیل پرداختند. در یکی از حوضه‌ها بیشترین تعداد حلقه‌های س‌ماند به صورت خطی عمل نمودند.

منابع مورد استفاده

- بی‌نام، 1382. گزارش هواشناسی و هیدرولوژی طرح حوضه لیقوان، سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی.
- Alexandrov Y, Laronne JB and Reid I, 2003. Suspended sediment concentration and its variation with water discharge in a dry and ephemeral channel, northern Negev, Israel. *Journal of Arid Environments* 53: 73–84.
- Bača P, 2002. Temporal variability of suspended sediment availability during rainfall-runoff events in a small agricultural basin. *ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia*, 3: 44-51.
- Defina A and Susin FM, 2003. Hysteretic behavior of the flow under a vertical sluice gate. *Physics of Fluids* 15(9): 2541-2548.
- Ferguson RI, 1986. River loads underestimated by rating curves. *Water Resources Research* 22(1): 74-76.
- Haykin S, 1998. *Neural Networks: a Comprehensive Foundation*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ..
- Lenzi MA and Marchi L, 2000. Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy). *Catena* 39: 267–282.
- Lippman R, 1987. An introduction to computing with neural nets. *IEEE ASSP Mag* 4: 4-22.
- Lorens P, Queralt I, Plana F and Gallart F, 1997. Studying solute and particulate sediment transfer in a small Mediterranean mountainous catchment subject to land abandonment. *Earth Surface Processes and Landforms* 22: 1027–1035.
- Nadal-Romero E, Regüés D and Latron J, 2008. Relationships among rainfall, runoff, and suspended sediment in a small catchment with badlands. *Catena* 74: 127–136.

- O’Kane J and Flynn D, 2007. Thresholds, switches and hysteresis in hydrology from the pedon to the catchment scale: a non linear systems theory. *Hydrology & Earth System Sciences* 11(1): 443-459.
- Picouet C, Hingray B and Olivry JC, 2001. Empirical and conceptual modelling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: the Upper Niger river basin. *Journal of Hydrology* 250: 19–39.
- Seeger M, Errea MP, Beguería S, Arnáez J, Martí C and García-Ruiz JM, 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. *Journal of Hydrology* 288: 299–311.
- Sichingabula HM, 1998. Factors controlling variations in suspended sediment concentration for single-valued sediment rating curves, Fraser River, British Columbia, Canada. *Hydrological Processes* 12: 1869–1894.
- Williams G, 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology* 111: 89–106.
- Zabaleta A, Martínez M, Uriarte J and Antigüedad I, 2007. Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque Country. *Catena* 71: 179–190.