

نقش حرکات بالاسوی هوا در شدیدترین تگرگ های شمال باختری ایران

غلامرضا براتی^{1*}، محمد مرادی²، محمود احمدی³، مریم ثقفی⁴

1- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

2- استادیار پژوهشکده هواشناسی، تهران

3- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

4- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: 1391/10/17

تأیید نهایی مقاله: 1392/4/13

چکیده

مطالعات انجام شده در سطح جهان حاکی از افزایش خسارات ناشی از رخداد حوادث جوی و در این تحقیق تگرگ طی دهه های اخیر است. خسارات تگرگ عموماً برای بخش های مختلف کشاورزی اعم از زراعت و باغداری و در مواردی برای بخش هایی چون ساختمان حایز اهمیت است. در تحقیق حاضر برای تعیین شدیدترین تگرگ های شمال باختری ایران به عنوان یکی از پهنه های شناخته شده و تگرگ خیز ایران، داده های مورد نیاز در قالب کدهای هفتگانه تگرگ، مربوط به هوای حاضر از مجموع 16 ایستگاه تهیه و ارتفاع آب معادل آنها محاسبه شد تا نهایتاً بر پایه معیار جمع روزانه ارتفاع آب مجموعه ایستگاه های درگیر، 4 مورد از شدیدترین تگرگ ها تعیین شدند. گشایش پرونده داده های تهیه شده از بایگانی NCEP/NCAR و تبدیل آنها به پوشه های متنی در زمان های انتخابی با استفاده از برنامه های رایانه ای در محیط های Grads, C++ و نهایتاً Surfer؛ امکان طراحی و تفسیر الگوهای همدید نهایی را فراهم کرد. نتایج نشان داد طی تمامی روزهای بارش تگرگ، سراسر یا بخشی از شمال باختری ایران زیر یال خاوری ناوه بالا بوده است. در این حال استعداد سرزمین به لحاظ داشتن بیشینه 3 تا 5 گرم بر کیلوگرم نم ویژه و بیشینه 20 تا 30 گرم بر متر مربع آب قابل بارش در پایین ترین لایه جو (تا 300 هکتوپاسکال)، زمینه ساز تگرگ زایی حرکات بالاسوی جو بوده است. این حرکات در اکثر روزهای رخداد تگرگ، در قالب یک هسته، روی سرزمین یا در کناره آن با بیشینه سرعت 0/08- پاسکال بر ثانیه و با حضور هسته های بیشینه رودباد با سرعت 30 تا 40 متر بر ثانیه در جنوب یا جنوب باختری سرزمین (بجز تگرگ 1 می 2008) مشاهده گردید.

واژه های کلیدی: تگرگ، حرکات بالاسو، شمال باختری، ایران.

مقدمه

جمله در شمال باختری ایران (فتاحی و رحیم‌زاده، 1388) می‌گویند.

برای نمونه در تحقیق جوانمرد و همکاران (1382) به کاهش بارش‌های جوی در شمال باختری ایران و در تحقیق امینی‌نیا و همکاران (1389) به کاهش میزان و فراوانی بارش برف سنگین در همه ایستگاه‌های شمال باختری ایران بویژه ارومیه و اردبیل اشاره شده است. باختر و شمال باختری ایران در تحقیق صناعی و همکاران (1382)، دارای بیشترین بارش تگرگ و در تحقیق آسیایی و خزانه داری (1386) جزو مستعدترین مناطق یاد شده است. همچنین در تحقیق علیجانی (علیجانی و هارمان، 1985)، از آذربایجان به عنوان دومین هسته، دارای فراوانی بالای روزهای بارندگی پس از سواحل خزر یاد شده است. در تحقیق عساکره (1387) نیز، مرتبط با رفتار بارش در تبریز آمده است که فراوانی روزهای بارانی این فصل بیش از فصل‌های دیگر است. از این رو، بر پایه حدودی که به صورت مشترک در برخی تحقیقات اقلیمی تعریف شده است، سرزمین پژوهش شامل استان‌های آذربایجان خاوری، آذربایجان باختری، اردبیل و زنجان؛ به عنوان مهم‌ترین منطقه بارش تگرگ در ایران شناخته می‌شود که می‌تواند به دلیل واقع شدن در مسیر سامانه‌های کم‌فشاری باشد که از سمت باختر وارد کشور می‌شوند و سبب ناپایداری‌های جوی و به تبع آن تشکیل توفان تندری و تگرگ می‌گردند.

مرور مجموعه تحقیقاتی که در مورد تگرگ در دسترس قرار گرفته است، نشان می‌دهد که می‌توان آنها را در دو دسته جای داد. دسته اول با روش آماری به معرفی مناطق دارای فراوانی بالای بارش تگرگ و یا ماه‌های پرتگرگ پرداخته‌اند و دسته دوم با روش همدید و یا ترکیبی از آماری و

تگرگ از جمله اشکال بارش و جزو بلایای جوی است. بارش تگرگ غیر از کشاورزی به عنوان آسیب‌پذیرترین بخش، در بخش‌های دیگر مانند صدمه به ساختمان‌ها شامل شکستن شیشه‌ها، سوراخ و بد شکل شدن شیروانی‌ها، خسارت به صنایع مخابراتی و هوانوردی اهمیت می‌یابد (جدیدی و همکاران، 1390).

تگرگ معمولاً از ابرهای کومولونیمبوس می‌بارد و غالباً رگباری و همراه با تندر و آذرخش به ویژه در فصل بهار است. این بارش محصول همرفت شدید هوا در یک توفان تندری است (لشکری و امینی، 1389). در فصل بهار، گرم شدن سریع سطح زمین و لایه‌های زیرین جو (افزایش طول روز و نزدیک شدن خورشید به سرسوی آسمان) و بالا بودن نم‌هوا و جریان‌های همرفتی شدید در قالب شارهای بالاسو شکل گرفته، رشد ابرهای همرفتی را در توفان‌های تندری باعث می‌شود.

با توجه به تنوع شرایط آب و هوایی در ایران، پدیده تگرگ به عنوان یکی از انواع بلایای جوی، در نقاط متعددی از کشور پهن‌آور ما گزارش می‌شود. در این میان، مطالعه رفتار سامانه‌های جو در مقیاس همدید برای مناطق شمالی ایران، شامل شمال خاوری (خراسان) و شمال باختری (آذربایجان)، هم به دلیل عرض جغرافیایی بالا و ناپایداری بیشتر و شدیدترِ جو طی فصل‌های بهار و پاییز و هم به دلیل دوری از منابع آبی تعدیل‌کننده و نظام‌بخش مانند دریای خزر ضرورت می‌یابد. این ضرورت به جهت گسترش زمین‌های کشاورزی آبی و دیم و بخش‌های وابسته به کشاورزی در این سرزمین‌ها نیز هست. محققین از انتقال موقعیت رودباد جنب حاره طی دوره‌های نینو به سمت استوا (کریچک و تسی دولکو، 2000) و تاثیر آن در تقویت الگوهای بارش‌ها از

محصول، اندازه تگرگ، شدت رگبار آن و مرحله ی فنولوژیک آن متفاوت است.

از دسته دوم که با روش همدید و یا ترکیبی از آمار و همدید کار کرده‌اند و یا سازوکار بارش تگرگ را توضیح داده‌اند، می‌توان به تحقیق سیف (1375) اشاره کرد. وی در پایان نامه خود با عنوان توزیع بارش تگرگ در ایران از طریق روش های آماری و همدید به بررسی پدیده تگرگ پرداخته، نشان داد که بیشترین احتمال فراوانی تگرگ در شمال باختری، باختر، شمال خاوری، خاور و در جنوب خاوری دریای خزر است و کمفشار های باختری (غربی) که با فرارفت های هوای گرم و مرطوب همراه می شوند، عامل اصلی ناپایداری های شدید در شمال ایران هستند.

در این دسته همچنین می توان به کار حاج‌بابایی و همکاران (1384) اشاره کرد. در این تحقیق، شمال باختری ایران به عنوان یکی از پهنه‌های بارش تگرگ یاد شده است. ارتباط احتمال رخداد تگرگ با فاصله سطح یخبندان تا قله ابر، از نتایج تحقیق دیگر است که میرموسوی (1388) انجام داده است. لشکری و امینی (1389) نیز در تحقیقی به تحلیل همدید و پهنه‌بندی بارش تگرگ در خراسان پرداخته، به این نتیجه رسیدند که بارش تگرگ به ترتیب در شمال باختر، شمال و سپس جنوب منطقه مطالعاتی حداکثر فراوانی را دارد و کمترین فراوانی مربوط به خاور منطقه است.

بر پایه نتایج تحقیقات مرور شده، رشد شدید تگرگ حاصل شار قائم شدید و پیاپی هوا، درون ابرهای کومولونیمبوس است و این امر باعث می شود که هستک‌های تگرگ، قطرک‌های آب و سوزن‌های یخی را پیاپی طی حرکات بالاسو و پایین‌سو به دور خود جذب کرده، لایه‌لایه مانند پیاز رشد کنند. هدف ما در این تحقیق بررسی

همدید کار کرده‌اند و بعضا سازوکار بارش را توضیح داده‌اند.

از دسته ی اول می توان به تحقیق (سیوتاس و فلوکاس، 2003) اشاره کرد که به بررسی الگوهای سینوپتیک و ترمودینامیک رگبار تگرگ پرداخته، به این نتیجه رسیدند که جریانات جنوب باختر، مساعدترین جریان‌ها برای رخداد رگبار تگرگ هستند. ایشان به این نتیجه رسیدند که به لحاظ فعالیت‌های ترمودینامیک، شاخص‌های ناپایداری به پیش‌بینی رگبار تگرگ کمک می‌کند. در تحقیقی دیگر (ساکاموتو، 1973) با استفاده از توزیع پواسون دو جمله ای منفی و مرتبط با توفانهای تندری و پدیده تگرگ در نوادا (مناطق شمالی و باختری)، برازش مناسبی برای داده های سالانه تگرگ یافت. در میان تحقیقات داخلی، میرموسوی (1389) بیشترین فراوانی بارش تگرگ را در آذربایجان خاوری به شهر مراغه و در تحقیق دیگر (میرموسوی، 1388) به اهر نسبت می‌دهد و کمترین بارش تگرگ آذربایجان خاوری را مربوط به شهرستان جلفا می‌داند. فرج‌زاده و مصطفی‌پور (1391) نیز ضمن تایید این یافته، بیشترین بارش تگرگ را در ماه های مارس و آوریل می‌دانند. جدیدی و همکاران (1390) در تحقیق خود، بیشترین فراوانی وقوع تگرگ را در استان آذربایجان باختری به شهرستان سردشت نسبت داده‌اند. ایشان همچنین فصل بهار را فصل بیشینه بارش تگرگ و فصل تابستان را به عنوان فصل دارای کمترین فراوانی وقوع تگرگ معرفی می کنند. از این دسته، جهانگیری و همکاران (1384) از دیگر محققانی هستند که در مقالات خود خسارات تگرگ را روی محصولات کشاورزی در فصل رشد مورد توجه قرار داده، به این نتیجه رسیده اند که میزان خسارت بسته به نوع

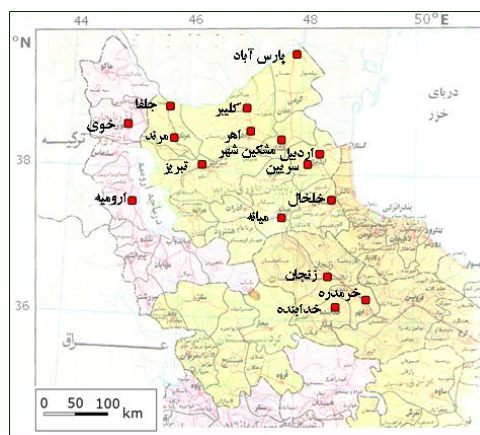
مربوط به هوای حاضر (ww)، فراوانی کدهای مربوط به پدیده تگرگ شامل: 27، 87، 89، 93، 94، 96، 99 تعیین شد و بر این اساس طی بازه آماری 1379 تا 1388 (2009-2000)، روزهایی که دارای بیشترین فراوانی کدهای مربوط به پدیده تگرگ بود انتخاب گردید؛ در نهایت 4 مورد که دارای شدیدترین بارش تگرگ بر اساس کدهای مربوط و میزان آب حاصل از بارش بودند؛ به عنوان نمونه انتخاب گردید.

در مرحله دوم، با تهیه جداول روزانه بارش تگرگ، امکان شناسایی بارش های شدید و فراگیرتر بر پایه مقادیر آب معادل فراهم شد تا تحلیل همدید شوند. با تعیین بارش های سنگین، مرحله سوم تحقیق یعنی تهیه داده های ترازهای بالای جو از پایگانی NCEP/NCAR انجام گرفت. این داده ها شامل فشار تراز متوسط دریای آزاد، داده های دما، ارتفاع، مولفه های مداری، نصف النهاری و مولفه قائم بردار باد در 12 تراز فشاری مختلف بودند. در بررسی نحوه تکوین سامانه های همدید از نقشه های میدان فشار تراز دریا و نقشه های ارتفاع تراز 500 هکتوپاسکال؛ در بررسی محتوای آب موجود در جو از نقشه های نم ویژه تراز 700 هکتوپاسکال، نقشه های میدان آب قابل بارش؛ نقشه های نم ویژه و نیز نم نسبی در ترازهای مختلف جو استفاده شد. علت استفاده از نقشه های تراز 700 هکتوپاسکال برای بررسی نم ویژه این بود که یکی از کمیت های موثر در ریزش تگرگ، محتوای زیاد آب موجود در ابر در این تراز به عنوان تراز است که در محدوده ستبرای ابر قرار می گیرد ترازهای زیر این تراز مانند 850 هکتوپاسکال معمولاً زیر ابرهای جوششی یا تگرگ زا هستند. از آنجاکه با ارتفاع مقدار نم ویژه به شدت کاهش می یابد، عملاً در ترازهای بالای تراز یاد شده نیز مقادیر نم کوچک دیده می شوند.

الگوی این حرکات طی بارش های شدید تگرگ می باشد. انجام پژوهش کنونی با توجه به اینکه گزینش سنگین ترین بارش های تگرگ فصل بهار منطقه شمال باختری ایران را طی سال های 2001 تا 2010 در نظر دارد، به عنوان کاری نو و نیز در جهت تکمیل یافته های تحقیقات گذشته است.

مواد و روش ها

سرزمین مورد پژوهش، شامل استان های آذربایجان خاوری، آذربایجان باختری، اردبیل و زنجان است که به عنوان مهم ترین منطقه بارش تگرگ در ایران شناخته شده است. این رتبه می تواند به دلیل واقع شدن در مسیر سامانه های کم فشاری باشد که از سمت باختر وارد کشور می شوند و سبب ناپایداری های جوی و به تبع آن تشکیل توفان تندری و تگرگ شود (شکل 1).



شکل 1: پراکنش شهرهای منتخب در سرزمین مورد پژوهش

در نخستین مرحله تحقیق برای تعیین روزهای دارای شدیدترین بارش تگرگ، داده های مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده و وارد نرم افزار Excel شد، سپس از میان 100 کد

بررسی جدول (1) نشان می‌دهد که طی سال‌های 1379 تا 1388 (2000 تا 2009 م) در شمال باختر ایران به عنوان سرزمین مورد پژوهش در این تحقیق، بر پایه ارتفاع آب معادل بارش به میلی‌متر، از میان شهرهای برگزیده، شهرهای خلخال و خدابنده، مشترکاً تگرگ خیزترین شهرها بوده‌اند. سنگین‌ترین بارش تگرگ طی یازدهم اردیبهشت 1387 (یکم می 2008) در شهر کلیبر رخ داده است و بر پایه فراوانی شهرهای درگیر، فراگیرترین تگرگ طی بیست و ششم اردیبهشت 1383 (شانزدهم می 2004) رخ داده است.

همدید رخداد تگرگ 26 اردیبهشت 1383

فراگیرترین بارش تگرگ در شمال باختری ایران طی 26 اردیبهشت 1383 (شانزدهم ماه می سال 2004) رخ داده است. چنانکه شکل (2-الف) نشان می‌دهد، میزان آب قابل بارش در این روز روی شمال باختری ایران 25 تا 30 گرم بر متر مربع است. شایان ذکر است که الگوی میدان آب قابل بارش، نشان‌دهنده مجموع جرم بخار آب از سطح زمین تا انتهای جو است ولی عملاً تا تراز 300 هکتوپاسکال در نظر گرفته می‌شود چون فراتر از آن نم‌ناچیز است. شکل (2-ب) میزان نم ویژه را در تراز 700 هکتوپاسکال روی سرزمین پژوهش، بین دو منحنی 3 و 4 گرم بر کیلوگرم نشان می‌دهد. همزمان، الگوی تراز 300 هکتوپاسکال (شکل 2-پ)، نشان‌دهنده رودباد جنب حاره‌ای در جنوب سرزمین و منحنی هم‌سرعت 30 متر بر ثانیه است.

برای محاسبه آب قابل بارش با در دست داشتن نم ویژه در ترازهای فشار مختلف از رابطه 1 استفاده شده است:

$$P_w = -\frac{1}{g} \int_{1000}^{300} q dp \quad \text{رابطه 1}$$

در این معادله q نم ویژه است و $g=9.81$ شتاب ثقل است. اعداد 1000 و 300 بیانگر این است که از سطح 1000 میلیباری تا 300 میلیباری از نم ویژه انتگرال‌گیری شده است. برای بررسی تعیین مناطق حرکت‌های بالاسو که سبب شکل‌گیری و افزایش قطر دانه‌های تگرگ می‌شود، از نقشه‌های مولفه قائم سرعت باد (میدان امگا) در دستگاه مختصات فشاری در ترازهای 500، 700، 250 و 200 هکتوپاسکال استفاده شد و نقشه‌های تراز 300، 250 و 200 هکتوپاسکال نیز برای بررسی نقش رودبادها از میدان باد استفاده شد.

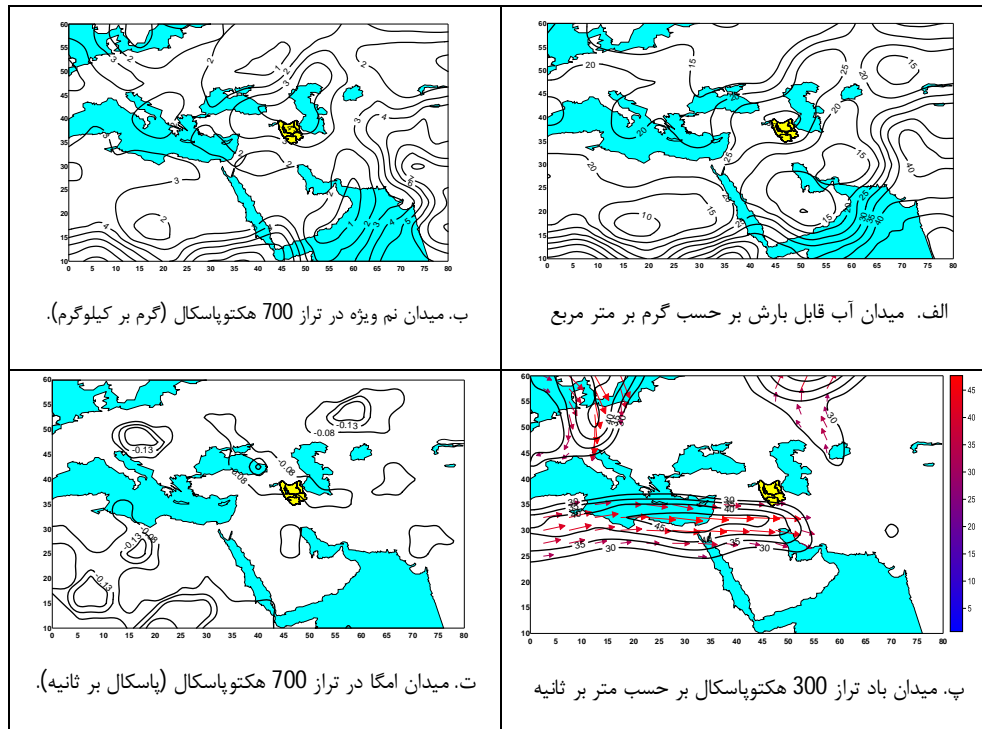
طی چهارمین مرحله، پرونده‌های موجود که هر یک، داده‌های یک سال را در خود جای داده‌اند؛ بوسیله دستور `ncdump` به عنوان یکی از دستورهای اجرایی `pcgrads`، به فایل‌های متنی تبدیل شدند. محاسبات روی داده‌های باز شده و در شبکه‌ای منظم با هدف تحلیل برخی کمیت‌ها و با استفاده از امکانات برنامه‌نویسی در محیط `C++` انجام شد. نتایج بدست آمده توسط نرم افزارهای مناسب شامل `Grads` و `Surfer` تبدیل آن به نقشه‌های قابل بررسی شد.

نتایج و بحث

نقش حرکات بالاسوی هوا در شدیدترین تگرگ‌های شمال باختری ...

جدول 1: پراسنج‌های بارش تگرگ در شهرهای منتخب

روز	نام ایستگاه	هوای حاضر (WW)	مقدار بارش 24 ساعته RR/ (میلی متر)	مقدار آب قابل بارش PW / (گرم بر ژئوبتانسیل متر)
2004/05/16	خلخال	94	11/2	8
2004/05/16	خدابنده	94	5	7
2004/05/16	خرمدره	96	2/4	7
2005/05/04	اردبیل	87	0/3	6
2005/05/05	خرمدره	96	2	6
2005/05/06	خلخال	99	10/2	7
2005/05/06	خدابنده	99	2/2	7
2006/04/22	خلخال	96	3/3	8
2006/04/22	خدابنده	96	0/1	7
2008/05/01	کلیبر	96	6	9
2008/05/01	خوی	96	1	5
2008/05/03	مشکین شهر	99	7/2	7



شکل 2: الگوهای همدید طی ساعت صفر برای روز شدیدترین رخداد شدیدترین تگرگ شمال باختری ایران (26 اردیبهشت 1383). محورهای مختصات، طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه می باشد.

همدید رخداد تگرگ 16 اردیبهشت 1384

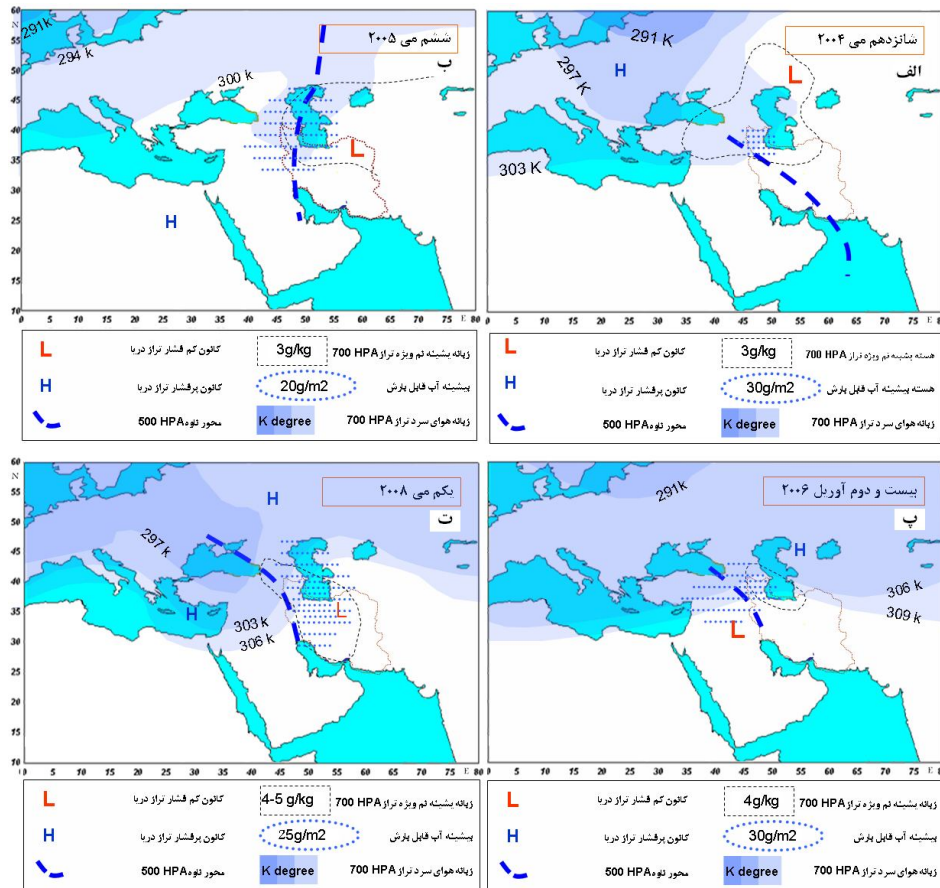
هکتوپاسکال مرکز بیشینه ای معادل 4 واحد بر حسب گرم بر کیلوگرم از شمال باختری ایران عبور کرده، بصورت هسته‌ای تا جنوب دریای خزر را دربر گرفته است. آرایش منحنی های نم ویژه در عرض‌های پایین تر تقویت آنها را از نیمه جنوبی دریای سرخ نشان داد.

همدید رخداد تگرگ 11 اردیبهشت 1387
میدان نم ویژه تراز 700 هکتوپاسکال در ساعت صفر مورخ یکم ماه می سال 2008، مرکز بیشینه ای را معادل 4 واحد روی باختر ایران و بخش اعظم شمال باختری ایران نشان می‌دهد. طی این روز، میدان آب قابل بارش بر حسب گرم بر متر مربع در این محدوده 30 واحد بر حسب گرم بر کیلوگرم بوده است.

الگوی میدان آب قابل بارش در بارش تگرگ ششم ماه می 2005، بیشینه ای را بصورت یک زبانه، با مقدار بیش از 20 گرم بر متر مربع روی شمال باختری ایران نشان می‌دهد. این کمیت روی شکل (3-ب) بصورت پهنه ای نقطه‌چین مشخص شده است. در این روز مقدار نم ویژه به مقدار 3 گرم بر کیلوگرم و بصورت زبانه‌ای از سمت خاور تا آذربایجان امتداد یافته است.

همدید رخداد تگرگ 2 اردیبهشت 1384

طی ساعت صفر روز بیست و دوم ماه آوریل سال 2006، منحنی بیشینه آب قابل بارش به مقدار 30 واحد بر حسب گرم بر متر مربع روی آذربایجان در شمال باختری ایران مشاهده گردید. به لحاظ نم ویژه نیز، طی این روز در تراز 700



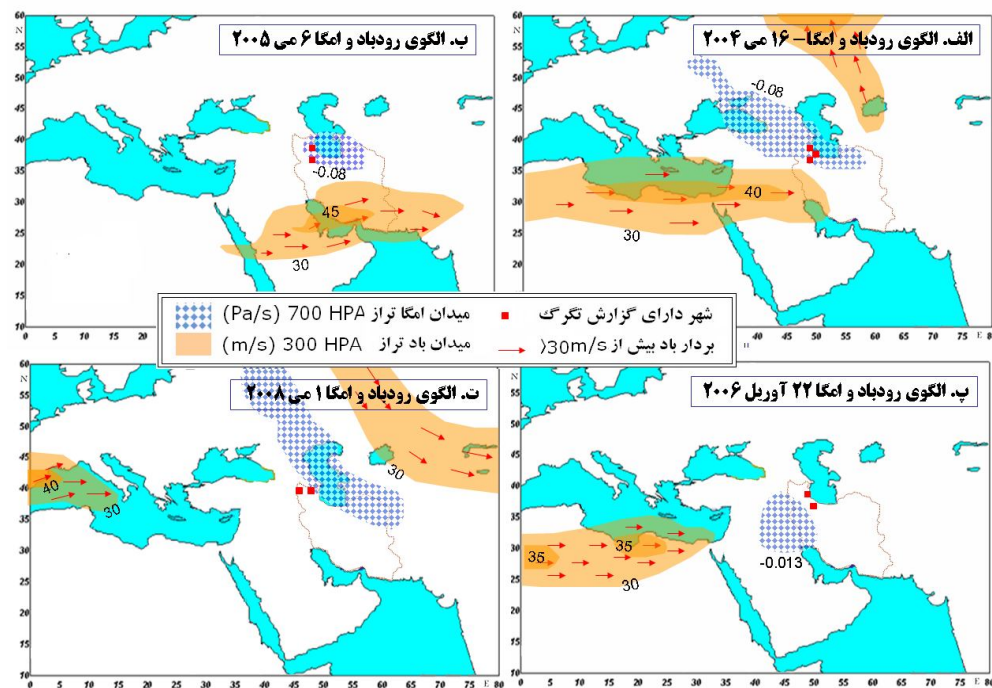
شکل 3: الگوهای همدید شدیدترین تگرگ های 1379 تا 1388 شمال باختری ایران

حرکات بالاسوی هوا و موقعیت رودباد

باختری با محور رودباد فاصله دارد. این شرایط در ترازهای 250 و 200 هکتوپاسکال نیز دیده شد. در ساعت 0012 گرینویچ این روز در تراز 250 هکتوپاسکال دیده شد که بخش کوچکی از رودباد قطبی به سوی منطقه شمال باختری امتداد یافت. این شرایط سبب تقویت حرکت چرخندی در این ترازها و در نتیجه تقویت حرکت بالاسو بویژه در بخش های خاوری سرزمین و ایجاد منطقه همگرایی در سطح زمین شد. گزارش رخداد تگرگ در این روز نیز هماهنگ با این شرایط مربوط به دو شهر خدابنده و خلخال در خاور سرزمین است.

تگرگ 16 ماه می 2004 : در این روز، سرزمین پژوهش در بخش شمال سوی محور رودباد و جلو دروازه آن قرار گرفته است (شکل 4-الف). این شرایط سبب تقویت حرکت چرخندی در این ترازها و در نتیجه تقویت حرکت بالاسو (امگای منفی) در شمال باختری ایران در ترازهای 700 ، 500 ، 250 و 200 شد. هماهنگ با این شرایط بیشترین شمار شهرها شامل خلخال، خرمدره و خدابنده گزارش تگرگ داشته اند.

تگرگ ششم ماه می 2005 : از این شکل (4-ب) دیده می شود که رودباد جنب حاره ای در نیمه جنوبی کشور قرار دارد و منطقه شمال



شکل 4: الگوهای تطبیقی موقعیت هسته های حرکت بالاسو و هسته رودباد شدید ترین تگرگ های شمال باختری ایران طی 1379 تا 1388

منطقه همگرایی در سطح زمین سرزمین شود ولی وجود یک سامانه بارشی با توده هوای ناپایدار و محتوی آب قابل بارش، شرایط خوبی برای صعود ناگهانی توده هوای نسبتا سرد فراهم کرد (شکل 3-پ).

تگرگ 22 ماه آوریل 2006 : هرچند در بررسی الگوی میدان باد در تراز 300 هکتوپاسکال طی روز بیست و دوم ماه آوریل سال 2006، محور رودباد جنب حاره ای در خاور مدیترانه مشاهده شد (شکل 4-پ) و ظاهرا به حسب همین فاصله، نمی توانست سبب تقویت حرکت بالاسو و ایجاد

شمال باختری ایران که تشدید کننده ی اختلاف دما و باعث صعود هوا شد.

(2). استقرار ناوه تراز 500 هکتوپاسکال در سمت باختر منطقه بگونه ای که سراسر یا بخشی از شمال باختری ایران زیر یال خاوری یعنی منطقه ناپایدار آن قرار گرفت.

(3). افزایش بیشینه نم ویژه بصورت یک هسته یا زبانه روی سرزمین از 3 تا 5 گرم در کیلوگرم در تراز 700 هکتوپاسکال مشاهده گردید.

(4). شکل گیری هسته ای از آب قابل بارش از 20 تا 30 گرم بر متر مربع روی سراسر یا بخشی از شمال باختری ایران.

(5). در مجموع منطقه ی حرکات بالاسو، در قالب یک هسته، در اکثر موارد شمال باختری ایران را در بر گرفته یا در کناره آن قرار داشت که گویای اثر انکارناپذیر مقادیر منفی امگا در رخداد تگرگ های شدید در این بخش کوهستانی از ایران بود.

فراگیری هسته حرکات بالاسو روی شمال باختری ایران طی 16 می 2004 به عنوان تگرگ شدید و فراگیر در سه شهر از استان آذربایجان خاوری و استان زنجان آشکار بود. در این حال حضور رودباد جنب حاره در جنوب یا جنوب باختری در تراز 300 هکتو پاسکال، با هسته ای پرسرعت تا بیشینه 45 متر در ثانیه تقویت کننده حرکات یاد شده تشخیص داده شد. این پراسنج برای تگرگ شدید 16 می 2004 با همزمانی حضور رودبادهای جنب حاره و جبهه قطبی به ترتیب در جنوب باختری و شمال خاوری سرزمین همراه بود. بدیهی است عوامل یاد شده در مقیاس همدید هستند و نمی توان نقش عوامل محلی را در رخداد تگرگ های شمال باختری ایران نادیده گرفت.

تگرگ یکم ماه می 2008 : میدان حرکت بالاسو در تراز 700 هکتوپاسکال بر حسب پاسکال بر ثانیه به ترتیب در ساعت صفر و 0012 مورخ یکم ماه می سال 2008 گویای نزدیکی محور رودباد با شمال باختری ایران نبود. این شرایط در ترازهای 250 و 200 هکتوپاسکال نیز دیده شد. نتایج نشان می دهد که از سه تگرگ شدید دهه مورد بررسی، در سه مورد هسته بیشینه حرکات بالاسو (هسته های امگای منفی) شمال باختری ایران را در بر گرفته است یا اینکه بخشی از آن را پوشش داده است. گواينکه در مورد تگرگ 22 آوریل 2006 نیز بخش های جنوب باختری منطقه تحت تاثیر منحنی 0/013- پاسکال بر ثانیه بوده است. بدین معنا که هر ذره هوا به ازای هر ثانیه 0/013 پاسکال به سمت بالا جابجا شده است. این جابجایی در تگرگ شدید و فراگیرتر 16 می سال 2004 به مقدار 0/08 رسید.

نتیجه گیری

بارش تگرگ در چندلایگی جو با سازوکاری پیچیده رخ می دهد. در این پژوهش چهار نمونه از شدیدترین بارش های تگرگ رخ داده در منطقه شمال باختری کشور در محدوده زمانی 2000 تا 2009 انتخاب و بررسی شدند. عواملی که بصورت عموماً مشترک در رخداد بارش های تگرگ بررسی شده، در شمال باختری ایران مشخص گردید، به شرح زیر هستند:

(1). نفوذ زبانه های قوی یا ضعیف هوای سرد در میدان دمای تراز 700 هکتوپاسکال از سمت شمال یا شمال باختری از روی دالان قفقاز یا دریای سیاه روی سرزمین مورد پژوهش یعنی

- صناعی، ب، باستانی، خ، و رفیع بخش، ف، 1382. بررسی مدل آماری پدیده تگرگ در کشور، نیوار، شماره 49، ص 7-20.

- عساکره، ح، 1387. بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی و در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکف، تحقیقات منابع آب، شماره 11، ص 46-56.

- فرج زاده، م، و مصطفی پور، ط، 1391. تحلیل زمانی - مکانی بارش تگرگ در ایران، جغرافیا و توسعه، شماره 28، ص 55-66.

- فتاحی، ا، و رحیم زاده، ف، 1388. ارتباط انسو با الگوی جوی زمستانه‌ی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره 15، ص 21-44.

- لشکری، ح، و امینی، م، 1389. تحلیل سینوپتیک و پهنه بندی بارش تگرگ در خراسان بزرگ برای دوره ی آماری (2005-1996)، جغرافیا و برنامه ریزی - دانشگاه تبریز، شماره 31، ص 51-108.

- میرموسوی، س.ح، و اکبرزاده، ی، 1389. مطالعه زمانی و مکانی بارش تگرگ در فصل رشد گیاهان - مطالعه موردی: آذربایجان شرقی، جغرافیا و برنامه ریزی - دانشگاه تبریز، شماره 33، ص 175-190.

- میرموسوی، س.ح، و اکبرزاده، ی، 1388. مطالعه شاخص های ناپایداری در تشکیل تگرگ در ایستگاه هواشناسی تبریز، فضای جغرافیایی، شماره 25، ص 95-108.

- آسیایی، م، و خزانه داری، ل، 1386. پهنه بندی بارش تگرگ در ایران و ارایه روش های مناسب جهت تعدیل آن، علوم جغرافیایی، شماره 6، ص 170-195.

- امینی نیا، ک، لشکری، ح، و علیجانی، ب، 1389. بررسی و تحلیل نوسانات بارش در شمال غرب ایران، فضای جغرافیایی، شماره 29، ص 145-163.

- جوانمرد، س، بذاق جمالی، ج، آهنگرزاده، ز، 1382. مطالعه تغییرپذیری پارامترهای اقلیمی مناطق مختلف ایران، مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، خلاصه مقالات، اصفهان.

- جدیدی، ت، حجام، س، کمالی، غ، و فتوحی، ک، 1390. بررسی اثرات تگرگ بر عملکرد چغندر قند، مجموعه مقالات همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه.

- جهانگیری، ز، پدram، م، و سیف، م، 1384. بررسی توزیع مکانی زمانی بارش تگرگ و خسارت های ناشی از آن در ایران، مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن، دانشگاه تبریز.

- حاج بابایی، ن، نصیری، آ، و معزی، م، 1384. بررسی همدید بارش تگرگ، مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن، دانشگاه تبریز.

- سیف، م، 1375. بررسی توزیع بارش تگرگ در ایران و مطالعه موردی آن، پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

Associated with Wet/Dry Conditions in the Eastern Mediterranean. Journal of Theoretical and Applied Climatology. v. 65, p. 215-229 .

-Sioutas, M. V., Flocas, H. A., 2003. Hailstorms in Northern Greece: Synoptic patterns and

-Alijani, B., and Harman, T. R., 1985. Synoptic climatology of precipitation in Iran. Annals of the Association of American Geographers, v. 75 (3), p. 404-416.

-Krichak, S Tsidulko, M., Alpert, P., 2000. Monthly Synoptic Patterns

models to thunderstorm and hail
day's probabilities in Nevada.
Journal of Monthly Weather Review.
v. 101 (4), p. 350-355.

thermc

Journal of Theoretical Applied
Climatology. v. 75, p.189-202.

-Sakamoto, C. M., 1973. Application
of the Poisson and negative binomial

سوم، شماره 9، بهار 1391، صفحات 26-36

تعیین نقش اشکال فرسایش سطحی و زیرسطحی در منشاء رسوبات معلق و کف آبراهه در مقیاس حوزه آبخیز

کاظم نصرتی^{1*}، فروزان احمدی²، علی اکبر نظری سامانی³

1- استادیار دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

2- دانش‌آموخته رشته جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

3- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: 1391/8/15

تأیید نهایی مقاله: 1392/8/12

چکیده

شناسایی منابع رسوب یکی از پارامترهای مهم در انتخاب روش مناسب حفاظت خاک و کنترل فرسایش می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از تکنیک منشایابی رسوبات، سهم هر یک از منابع رسوب براساس فرسایش سطحی و زیرسطحی در حوضه طالقانی شهرستان خرم‌آباد تعیین گردید. به این منظور، 44 نمونه خاک از منابع مختلف رسوب مشتمل بر فرسایش سطحی و زیرسطحی، و همچنین 19 نمونه از رسوب تولیدی حوضه شامل 11 نمونه از رسوبات کف بستر و هشت نمونه از رسوب معلق رواناب خروجی حوضه، برداشت شد. به منظور منشایابی رسوب تولیدی حوضه و تعیین سهم هر یک از منابع، 11 ردیاب شامل آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K) منگنز (Mn)، کربن آلی (C)، نیتروژن کل (N) و فسفر قابل جذب (P) در نمونه‌های منابع رسوب و رسوب کف و معلق اندازه‌گیری شد. همچنین میزان دقت نتایج نمونه‌های کف بستر و نتایج نمونه‌های رسوب معلق رواناب در تکنیک منشایابی رسوب مورد مقایسه قرار گرفت. با مقایسه ردیاب‌ها در منابع رسوب و تحلیل تابع تشخیص، ردیاب‌های Na و K به عنوان ترکیب بهینه ردیاب‌ها در تفکیک منابع رسوب انتخاب شدند. نتایج مدل‌های چند متغیره ترکیبی نشان داد سهم منابع تولید رسوب براساس فرسایش سطحی و زیرسطحی به ترتیب برابر با 20/6 و 79/4 درصد است. نتایج این تحقیق می‌تواند در انتخاب مناسب‌ترین روش کنترل فرسایش در منطقه مطالعاتی و تعمیم به مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: منشایابی رسوب، منابع رسوب، ردیاب‌های شیمیایی، حوضه طالقانی

مقدمه

فرسایش خاک اثرات منفی بسیاری را به دنبال دارد که به شدت حیات انسانی و زندگی جانوری را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. از جمله این مسائل می‌توان شستشوی مواد رویی، تخریب ساختمان، کاهش نفوذپذیری، کاهش بهره دهی خاک، پر شدن حجم مفید مخازن آبی به وسیله گل و لای، افزایش خطر سیل و به خطر افتادن زندگی حیوانات و آبزیان به دلیل کم شدن مواد غذایی و آلوده شدن آنها اشاره کرد. جبران خاک فرسایش یافته، برای طبیعت بسیار دشوار و طولانی است. این مسئله به کارگیری مدیریت و استراتژی بهتر و قوی تری برای حفظ و نگهداری خاک و همچنین جلوگیری از فرسایش ایجاب می‌کند. برای این منظور، باید مکان‌هایی که در معرض خطر و فرسایش بیشتری هستند، شناسایی و سپس با مشخص کردن عوامل موثر در فرسایش مدیریت بهتری را در مورد خاک اعمال نمود. انواع منابع رسوب را می‌توان به دو دسته فرسایش سطحی یا دامنه‌ای و زیرسطحی طبقه‌بندی نمود که به ترتیب لایه سطحی و عمقی خاک (از طریق فرسایش دیواره آبراهه‌ها) تحت تاثیر فرآیند فرسایش قرار می‌گیرند و این طبقه‌بندی بستگی به فرآیند فرسایش‌دهندگی خاک در منطقه مورد مطالعه دارد (کولینز و والینگ، 2007).

برای شناخت منابع رسوب، روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی وجود دارد. کارایی روش منشایابی رسوب به عنوان روشی موثر برای تعیین منابع رسوب در طول دو دهه گذشته به اثبات رسیده است، این تکنیک در حوضه‌های مناطق معتدل و گرمسیری استفاده شده و نتایج موفقیت آمیزی داشته است (پولنارد و همکاران، 2009). در این تکنیک با انجام مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بین

منابع رسوب و رسوبات تولیدی در خروجی حوضه می‌توان مناطق پر خطر از نظر تولید رسوب را شناسایی کرد. طیف وسیعی از این ویژگی‌ها از جمله کانی شناسی (حکیم‌خانی، 1385)، خاصیت مغناطیسی (هاتفیلد و ماهر، 2009) رادیونوکلئیدی (ویلکینسون و همکاران، 2009)، عناصر ژئوشیمیایی (کولینز و والینگ، 2007؛ کولینز و همکاران، 1997)، زیست محیطی (زاپاتا، 2003؛ واناگر و همکاران، 2007)، مواد آلی (کولینز و والینگ، 2007)، اندازه ذرات (والینگ و همکاران، 2000؛ بالانتاین و همکاران، 2009)، رنگ رسوبات (کرین و همکاران، 2003)، فعالیت آنزیم‌ها (نصرتی و همکاران، 2011) و ایزوتوپ پایدار (فوکس و پاپاتیکولا، 2008) تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است.

در تکنیک منشایابی حوضه‌ی آبخیز را به واحدهایی به عنوان منابع رسوب تقسیم می‌کنند. انتخاب منابع رسوب در حوضه به ویژگی‌های حوضه مربوط می‌شود. از مهمترین طبقه‌بندی‌های انجام گرفته در این زمینه می‌توان به طبقه‌بندی براساس کاربری اراضی (والبرینگ، 2004؛ فوکس و پاپاتیکولا، 2008)، زمین‌شناسی (بالانتاین و همکاران، 2009)، زیرحوضه‌ها (والینگ و کولینز، 2008؛ والینگ و همکاران، 2008)، فرسایش سطحی و زیر سطحی (کولینز و همکاران، 2009؛ گراسووسکی و همکاران، 2003)، کاربری و فرسایش (نصرتی و همکاران، 2011) و یا ترکیبی از این موارد اشاره نمود.

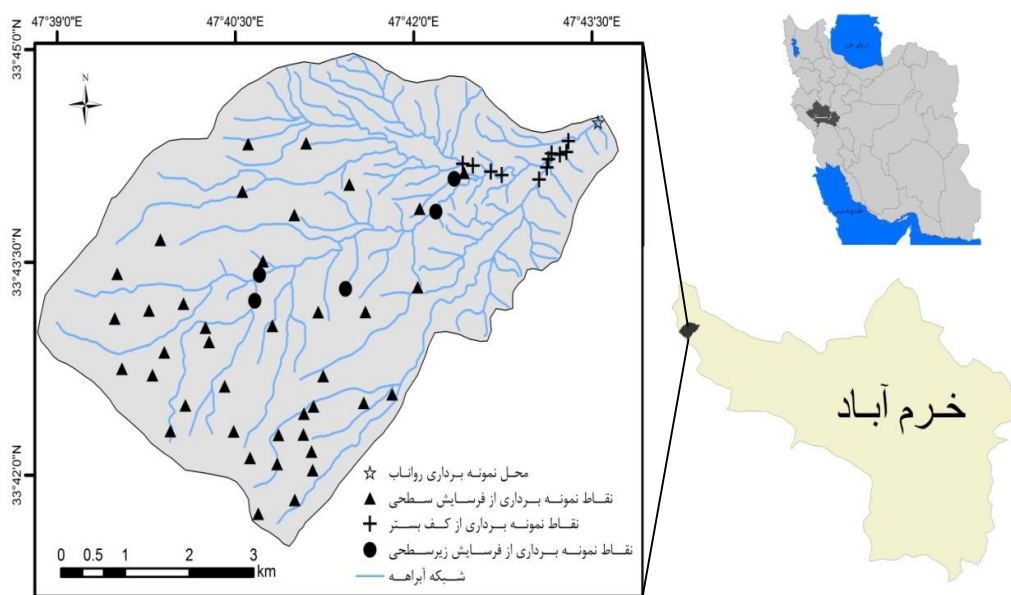
بدین ترتیب با توجه به پیشینه تحقیق روش منشایابی رسوب یکی از روش‌های معتبر در شناخت سهم هر یک از انواع فرسایش در مقیاس حوضه آبخیز می‌باشد. در این مطالعه حوضه طالقانی، خرم‌آباد بر پایه مرفولوژی اشکال

حوضه طالقانی در $33^{\circ} 42'$ الی $33^{\circ} 44'$ شمالی و $47^{\circ} 39'$ الی $47^{\circ} 44'$ شرقی با مساحت بیش از 26 کیلومتر مربع یکی از زیر حوضه های رودخانه کشکان از حوزه آبخیز رودخانه کرخه است در خرم آباد و در 22 کیلومتری شمال کوهدشت، در استان لرستان واقع شده است (شکل 1).

فرسایش به فرآیندهای سطحی (بین شیاری و شیاری) و زیرسطحی (آبراهه‌ای) طبقه بندی شد و برای تعیین سهم هر یک از این واحدها در تولید رسوب، با استفاده از تکنیک منشایی رسوب مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی



شکل 1: موقعیت منطقه و نقاط نمونه‌برداری منابع رسوب و رسوب

نمونه برداشت شد. در نمونه‌برداری از منابع فرسایش زیرسطحی از کناره آبراهه تا عمقی که دارای فرسایش فعال بود، نمونه‌برداری شد. همچنین، در این حوضه، تعداد 19 نمونه از رسوبات خروجی حوضه که شامل 11 نمونه از کف بستر و هشت نمونه از رسوبات معلق رواناب منطقه جمع‌آوری شد (شکل 1). برای نمونه‌برداری از رواناب در طول هر رخداد بارندگی (در بازه زمانی سال 1390 تا 1391) هر 15 دقیقه یک بار از

جمع‌آوری نمونه‌ها و تجزیه آزمایشگاهی

در مجموع 44 نمونه از منابع رسوب و 19 نمونه از رسوبات خروجی حوضه جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک منابع در فرسایش سطحی، از عمق 0-5 سانتی‌متری برداشت شد. به منظور این که نمونه‌ها معرف کاملی از محل نمونه برداری شده باشد، در هر یک از محل‌های نمونه برداری در یک شعاع تقریبی 100 متری، حدود 10 نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن آنها، حدود یک کیلوگرم

نمونه‌برداری از رسوبات معلق تمامی حوضه، نقش یکسان در تولید رسوب خواهد داشت. جدول 1 ویژگی‌های نمونه‌برداری رواناب را نشان می‌دهد.

رسوبات معلق از نقطه خروجی حوضه نمونه‌برداری شد و در پایان هر رخداد، نمونه‌ها با هم ترکیب و سپس با استفاده از کاغذ صافی نمونه‌ها صاف شدند. با توجه به لحاظ نمودن زمان در

جدول 1: تاریخ نمونه‌برداری رواناب و پارامترهای آن

نمونه رواناب	تاریخ نمونه‌برداری	میزان بارندگی (mm)	غلظت مواد معلق در رواناب (g L^{-1})
1	90/1/17	5/6	13/73
2	90/8/8	17/3	2/32
3	90/8/15	19/4	105/8
4	90/8/16	8/3	9/18
5	91/1/9	8	1/15
6	91/1/11	2/3	8/16
7	91/2/26	6/4	21/3
8	91/1/28	25/4	3/8

برای استخراج عناصر از نمونه‌های خاک و رسوب از روش هضم اسیدی استفاده شد. سه گرم نمونه خشک با قطر کمتر از 63 میکرون درون ظروف هضم ریخته شد و با آب دو بار تقطیر مرطوب شد. 29 میلی‌لیتر محلول اکوآ رجیا (ترکیب اسید کلریدریک غلیظ و اسید نیتریک با نسبت 3 به 1: 21 میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ و هفت میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ) به آن اضافه شد و به مدت دو ساعت درون ترمورآکتور قرار داده شد. در نهایت، پس از سرد شدن، نمونه‌ها با کاغذ صافی قطر 0/2 میکرون صاف و درون ظروف نگهداری شد. غلظت عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از دستگاه ICP-OES (GBC Integra) و استفاده از نمونه استاندارد مرک و رسم منحنی کالیبراسیون اندازه‌گیری و به واحد میکروگرم بر گرم نمونه خاک گزارش شد. مواد آلی به روش والکلی و بلاک (اسکمستاد و بالدوک، 2008).

با توجه به مطالعات انجام شده قبلی و استدلال‌های موجود، عناصر ژئوشیمیایی آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K) منگنز (Mn)، کربن آلی (C)، نیتروژن کل (N) و فسفر قابل جذب (P) به منظور منسایابی انتخاب شدند. استدلال انتخاب این عناصر این است که عناصر انتخابی ترکیبی از عناصری است که هم بیانگر میزان مواد آلی موجود در خاک است که می‌تواند تفاوت بین فرسایش در خاک سطحی و عمقی را نشان دهد و هم عناصری است که می‌تواند تفاوت فرسایش سطحی در کاربری اراضی مختلف را مشخص نماید. بدین ترتیب ترکیب عناصر انتخابی می‌تواند ضمن بیان تفاوت فرسایش سطحی و زیرسطحی، می‌تواند تاثیر مدیریت محیط را نیز مشخص نماید.

رابطه (1) $RME = 1 - \sum C - W / C \sum P S Z O S V$ که در آن C غلظت ردیاب در نمونه‌های رسوب، P_s سهم درصدی بهینه شده منابع رسوب، S_{si} میانگین غلظت ردیاب در منابع رسوب، Z ضریب اصلاحی اندازه ذرات در نمونه‌های منابع رسوب، O ضریب اصلاحی مواد آلی در منابع رسوب، SV_{si} نماینده وزن تغییرپذیری منابع درون-گروهی از سهم منابع در منابع رسوب، W_i تفاوت ردیاب وزنی، n تعداد ویژگی‌های ردیاب شامل ترکیب بهینه ردیاب، m تعداد منابع رسوب طبقه‌بندی شده است.

نتایج

نتایج آزمون آماری کروسکال در جدول (2) نشان داده شده است، با توجه به این جدول، از 11 عنصر به کار رفته به غیر از دو عنصر Fe و Mn ، 9 عنصر دیگر شامل $Cu, Zn, K, Na, P, N, C, Ca$ و Mg دارای سطح معنی‌داری کمتر از 0/05 است و این نه عنصر قادر به تفکیک و جداسازی واحدهای فرسایشی می‌باشند. مقدار آماره H نیز در این عناصر بالاتر است (جدول 2). جدول (3) مراحل مختلف اضافه شدن خصوصیات ردیاب در توابع تشخیص به روش گام به گام و تاثیر آنها بر توان ردیاب‌ها در جداسازی منابع رسوب را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج با اضافه شدن ردیاب دوم مقدار $Wilk's Lambda$ کاهش یافته و سطح معنی‌داری بیشتر شده است و در نتیجه توان جداسازی و تفکیک بین گروه‌ها افزایش یافته است.

فسفر قابل جذب با استفاده از اسپکتروفتومتری (والبرینک و همکاران، 2003) و نیتروژن قابل جذب به روش کجلدال (روتزفورد و همکاران، 2008) اندازه‌گیری شد.

انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها

پس از اندازه‌گیری غلظت ردیاب‌های انتخابی اولیه در نمونه‌ها، برای انتخاب ترکیب بهینه ردیاب‌ها دو مرحله آماری کروسکال والیس¹ و تحلیل تشخیص² بر روی نمونه‌های منابع رسوب انجام شد. آزمون کروسکال والیس سطح معنی‌داری عناصر را مطرح می‌کند. در این آزمون، عناصری که اختلاف میانگین آنها کمتر از 0/05 باشد، می‌تواند برای مرحله بعد یعنی تحلیل تشخیص استفاده شود. بعد از آزمون کروسکال والیس، تابع تحلیل تشخیص مورد استفاده قرار گرفت. تابع تحلیل تشخیص ضریب توان تفکیک‌پذیری ردیاب‌ها را برآورد می‌کند. در این روش، برای رسیدن به ترکیب بهینه، از الگوریتم انتخاب گام به گام استفاده شده و از عملیات حداقل کردن آماره $Wilk's Lambda$ استفاده شد (نصرتی، 1390؛ نصرتی و همکاران 1391؛ نصرتی و همکاران، 2011؛ کولینز و همکاران، 2010). تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

تعیین سهم هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب

با استفاده از ترکیب بهینه ردیاب‌های انتخابی از مرحله تحلیل تشخیص و با توجه به رابطه (1) درصد نسبی هر یک از منابع رسوب محاسبه شد (کولینز و همکاران، 2010).

1-Kruskall-Wallis
2- Discriminant Analysis

جدول 2: سطح معنی‌داری ردیاب‌ها بر اساس منابع رسوب

سطح معنی‌داری	مقدار H	ردیاب	سطح معنی‌داری	مقدار H	ردیاب
<0/0001	13	*Cu	0/004	8/22	*C
<0/0001	13	*Zn	0/002	9/76	*N
0/11	2/6	Fe	0/001	11/5	*P
0/27	1/23	Mn	<0/0001	17/02	*Na
0/01	6/61	*Ca	0/001	10/96	*K
			<0/0001	13	*Mg

* سطح معنی‌داری کمتر از 0/05

تابع برابر با 100 می‌باشد. در این جدول معنی-داری توابع به وسیله آماره کای مشخص شده است.

نتایج آزمون تابع تحلیل تشخیص در جدول (4) نشان داده شده است. با توجه به این جدول یک تابع بر اساس ویژگی‌های ردیاب‌ها مشخص شده است. درصد واریانس و واریانس تجمعی در این

جدول 3: وضعیت گام‌های مختلف ورود عناصر به مدل

معنی‌داری	Wilk's Lambda	خصوصیات ردیاب	گام
<0/0001	0/56	Na	1
0/021	0/02	K	2

جدول 4: ویژگی تابع تحلیل تشخیص

تابع	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	همبستگی کانونی	کای اسکور	سطح معنی-داری
1	69/3	100	100	0/99	159/5	<0/0001

تعیین سهم منابع رسوب در تولید رسوب
جدول (6) سهم هر یک از منابع رسوب را در تولید رسوب نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، سهم فرسایش زیر سطحی 79/4 درصد و فرسایش سطحی 20/6 درصد در تولید رسوب حوضه است. این نتایج نشان می‌دهد که سهم منابع زیر سطحی در تولید رسوب از اهمیت بیشتری برخوردار است. سهم رسوبات تولیدی به دست آمده بر اساس کف بستر و رواناب نیز همین روند را دنبال می‌کند با این تفاوت که نسبت

جدول (5) درصد طبقه بندی صحیح در هر گروه و تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول نمونه‌ها در واحدهای فرسایشی (سطحی و زیر سطحی) 100 درصد صحیح طبقه‌بندی شده‌اند. در نتیجه، درصد طبقه‌بندی صحیح به طور کل برابر با 100 می‌باشد. همچنین نتایج ارزیابی متقابل تحلیل تشخیص نیز طبقه‌بندی کامل را نشان می‌دهد (جدول 5).

درصدها با هم اختلاف دارند. سهم هر یک از منابع نمودار نشان داده شده است. رسوب در تولید رسوب در شکل (2) به صورت

جدول 5: درصد طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها

کل نمونه‌ها	پیش‌بینی عضویت در گروه‌ها		واحدهای فرسایشی	
	2	1	تعداد	درصد
39	0	39	1	
5	5	0	2	
100	0	100	1	
100	100	0	2	
39	0	39	1	
5	5	0	2	
100	0	100	1	
100	100	0	2	

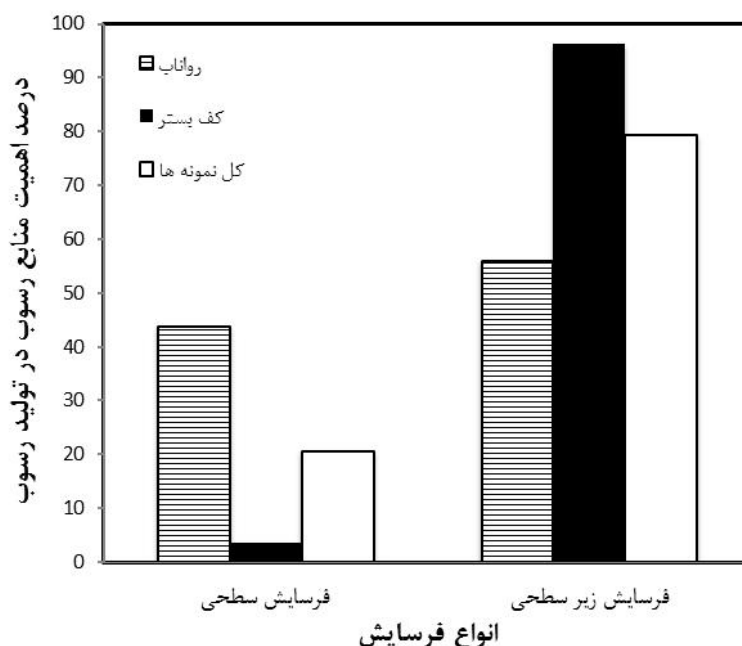
جدول 6: درصد سهم واحدهای فرسایشی در تولید رسوب

نمونه رسوب			واحدهای فرسایشی
کل نمونه‌ها	کف بستر	رواناب	
20/6	3/6	43/8	فرسایش سطحی
79/4	96/3	56/1	فرسایش زیرسطحی

شده از کف بستر نیز ارزیابی شود. سهم رسوبات تولیدی به دست آمده بر اساس کف بستر و رواناب یک روند کلی را دنبال می‌کند با این تفاوت که نسبت درصدها اختلاف زیادی را با هم دارند، به طوری که سهم هر یک از منابع رسوب با توجه به نمونه‌های کف بستر در فرسایش سطحی و زیر سطحی به ترتیب برابر با 3/6 و 96/3 درصد و سهم هر یک از منابع رسوب در تولید رسوب با توجه به نمونه‌های رواناب در فرسایش سطحی و زیر سطحی به ترتیب برابر با 43/8 و 56/1 درصد به دست آمد (جدول 6).

مقایسه نتایج نمونه‌های رواناب با نتایج نمونه‌های کف بستر

به منظور بالا بردن دقت کار، در این تحقیق، علاوه بر نمونه‌های کف بستر، نمونه‌های رواناب نیز به عنوان نمونه رسوب برداشت و همچنین سعی شد نتایج هر دو گروه (نمونه‌های کف بستر و نمونه‌های رواناب) به صورت جداگانه بررسی شود. با در نظر گرفتن این موضوع که نمونه‌های رواناب از دقت بیشتری برخوردارند، نتایج این نمونه‌ها با نتایجی که براساس نمونه‌های کف بستر به دست آمد، مقایسه شد تا میزان دقت نمونه‌های برداشت



شکل 2: نمودار سهم واحدهای فرسایشی در تولید رسوب

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمون کرومکال والیس عناصر $Ca, C, N, P, Na, K, Cu, Zn, Mg$ قادر به تفکیک منابع رسوب (سطحی و زیرسطحی) می باشند. این نتایج دلیلی است بر تفاوت میزان این عناصر در دو نوع فرسایش که می توان نتیجه گرفت این عناصر قابلیت جداسازی این دو نوع فرسایش را دارند. ترکیب بهینه نهایی عناصر که شامل سدیم و پتاسیم است به این معنی است که این دو عنصر که از عناصر غذایی ضروری گیاهان محسوب می شوند و با فرسایش می تواند از عمق ریشه خارج شده و موجب تفاوت در میزان عناصر در دو نوع فرسایش گردد.

با به دست آوردن ترکیب بهینه و به حداقل رساندن معادله (1)، نتایج این پژوهش نشان داد که فرسایش زیرسطحی در منطقه از اهمیت بیشتری برخوردار است و کناره آبراهه به عنوان فرسایش زیرسطحی در تولید رسوب منطقه نقش

زیادی دارد. این نتایج با مطالعات کولینز و همکاران (2009) مغایرت و با مطالعات نصرتی و همکاران (2011)، حکیم خانی (1389)، گروزوسکی و همکاران (2003) و کارتر و همکاران (2003) مطابقت داشت. نتایج مطالعه کارتر و همکاران (2003) در منشایابی منابع رسوبات معلق نشان داد رسوبات در بازه های بالادست رودخانه عمدتاً از منابع فرسایش زیرسطحی (آبراهه ای) (43-48 درصد)، اراضی بدون کشت و رها شده (57-16 درصد) و در بازه های پایین دست اراضی تحت کشت (20-45 درصد) است. اسمیت و دراگوویچ (2008) با توسعه مدل و بهبود دقت و کارایی مدل ترکیب منشایابی، منابع رسوب و فرآیندهای فرسایش را در جنوب شرقی استرالیا به منظور تعیین سهم رسوب سطحی و زیرسطحی (آبراهه ای) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد 74 درصد رسوبات متعلق به منابع زیرسطحی می باشد. با

نتایج نمونه‌های مختلف رسوب می‌توان نتیجه گرفت که در به کار گیری تکنیک منشایابی رسوب در نظر گرفتن نمونه‌های رواناب، برای مقایسه منابع رسوب با رسوب تولیدی حوضه نیاز بوده و می‌تواند از دقت بیشتری برخوردار باشد.

قره آغاج، ماکو). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره 63، ص 13 تا 27.
- نصرتی، ک.، 1390. منشایابی رسوب بر اساس برآورد عدم قطعیت، مجله پژوهش‌های آب ایران، سال پنجم، شماره 9، ص 51 تا 60.
- نصرتی، ک.، احمدی، ح.، و شریفی، ف.، 1391. منشایابی منابع رسوب: ارتباط بین فعالیت‌های آنزیمی خاک و رسوب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال شانزدهم، شماره 60، ص 227 تا 237.

-Collins, A., Walling, D., and Leeks, G., 1997. Use of the geochemical record preserved in floodplain deposits to reconstruct recent changes in river basin sediment sources. *Geomorphology*, v. 19, p. 151-167.
-Collins, A., Walling, D., Webb, L., and King, P., 2010. Apportioning catchment scale sediment sources using a modified composite fingerprinting technique incorporating property weightings and prior information. *Geoderma*, v. 155, p. 249-261.
-Fox, J., and Papanicolaou, A., 2008. Application of the spatial distribution of nitrogen stable isotopes for sediment tracing at the watershed scale. *Hydrology*, v. 358, p. 46-55.
-Gruszowski, K., Foster, I.D.L., Lees, J., and Charlesworth, S., 2003. Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological Processes*, v. 17, p. 2665-2681.

توجه به اثرات منفی خاک در مسائل زیست محیطی و این که این زیر حوضه جزء حوزه آبخیز سد کرخه است و تولید رسوب باعث کم شدن مخزن آبی این سد می‌شود نیاز است در کنترل رسوب این حوضه تصمیمات جدی اتخاذ گردد و همچنین با توجه به متفاوت و معنی‌دار بودن

منابع

- حکیم‌خانی، ش.، 1385. بررسی استفاده از ردیاب‌ها در منشایابی رسوبات آبی ریزدانه (مطالعه موردی حوزه ایستگاه پخش سیلاب پلدشت). پایان نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- حکیم‌خانی، ش.، 1389. ارزیابی اهمیت انواع فرسایش در تولید رسوب (بررسی موردی: حوزه -Ballantine, D., Walling, D., Collins, A., and Leeks, G., 2009. The content and storage of phosphorus in fine-grained channel bed sediment in contrasting lowland agricultural catchments in the UK. *Geoderma*, v. 151, p. 141-149.
-Carter, J., Owens, P.N., Walling, D.E., and Leeks, G.J.L., 2003. Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. *The Science of the Total Environment*, v. 314, p. 513-534.
-Collins, A., Anthony, S., Hawley, J., and Turner, T., 2009. The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source in England and Wales. *Catena*, v. 79, p. 243-250.
-Collins, A., and Walling, D., 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. *Geomorphology*, v. 88, p. 120-138.

- Spatial variation of suspended sediment concentrations in a tropical Andean river system: The Paute River, southern Ecuador. *Geomorphology*, v. 87, p. 53-67.
- Wallbrink, P., Martin, C., and Wilson, C., 2003. Quantifying the contributions of sediment, sediment-P and fertiliser-P from forested, cultivated and pasture areas at the landuse and catchment scale using fallout radionuclides and geochemistry. *Soil and Tillage Research*, v. 69, p. 53-68.
- Wallbrink, P.J., 2004. Quantifying the erosion processes and land-uses which dominate fine sediment supply to Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. *Journal of environmental radioactivity*, v. 76, p. 67-80.
- Walling, D., and Collins, A., 2008. The catchment sediment budget as a management tool. *Environmental Science & Policy*, v. 11, p. 136-143.
- Walling, D., Collins, A., and Stroud, R., 2008. Tracing suspended sediment and particulate phosphorus sources in catchments. *Journal of Hydrology*, v. 350, p. 274-289.
- Walling, D.E., Owens, P.N., Waterfall, B.D., Leeks, G.J.L., and Wass, P.D., 2000. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. *The Science of the Total Environment*, v. 251, p. 205-222.
- Wilkinson, S., Wallbrink, P., Hancock, G., Blake, W., Shakesby, R., and Doerr, S., 2009. Fallout radionuclide tracers identify a switch in sediment sources and transport-limited sediment yield following wildfire in a eucalypt forest. *Geomorphology*, v. 110, p. 140-151.
- Zapata, F., 2003. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. *Soil and Tillage Research*, v. 69, p. 3-13.
- Hatfield, R.G., and Maher, B.A., 2009. Fingerprinting upland sediment sources: particle size-specific magnetic linkages between soils, lake sediments and suspended sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 34, p. 1359-1373.
- Krein, A., Petticrew, E., and Udelhoven, T., 2003. The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed. *Catena*, v. 53, p. 165-179.
- Nosrati, K., Govers, G., Ahmadi, H., Sharifi, F., Amoozegar, M. A., Merckx, R., and Vanmaercke, M., 2011. An exploratory study on the use of enzyme activities as sediment tracers: biochemical fingerprints?. *International Journal of Sediment Research*, v. 26, p. 136-151.
- Poulenard, J., Perrette, Y., Fanget, B., Quetin, P., Trevisan, D., and Dorioz, J.M., 2009. Infrared spectroscopy tracing of sediment sources in a small rural watershed (French Alps). *Science of The Total Environment*, v. 407, p. 2808-2819.
- Rutherford, P.M., McGill, W.B., Arocena, J.M. and Figueiredo, C.T. 2008. Total nitrogen. In: M.R. Carter and E.G. Gregorich (Editors), *Soil Sampling and Methods of Analysis*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Skjemstad, J.O., and Baldock, J.A., 2008. Total and organic carbon. In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, p. 225-237.
- Smith H. G. and Dragovich D. 2008, Improving precision in sediment source and erosion process distinction in an upland catchment, south-eastern Australia. *Catena*, v. 72, p. 191-203.
- Vanacker, V., Molina, A., Govers, G., Poesen, J., and Deckers, J., 2007.