علـوم محـیـطی سال هشتم ، شماره اول، پاییـز ۱۳۸۹
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.8, No.1, Autumn 2011
۱۰۷-۱۱۴

برآورد هدر رفت ماده آلی خاک در اکوسیستم‌های هیرکانی
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز کجور)

حمزه نور[۱]، سید خلاق میرنیا[۲]*، محمد باقر رئیسی[۳]

۱- *دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس*
۲- *گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم‌دریایی، دانشگاه تربیت مدرس*
۳- *کارشناس ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس*

چکیده

تحقیق حاضر با هدف برآورد هدررفت مواد آلی در حوزه آبخیز کجور واقع در جنگل‌های هیرکانی پایه‌ریزی شده است. بدین‌منظور برداشت نمونه آب و رسوب معلق و مواد آلی همراه آن، با استفاده از روش انتگراسیون عمقی به‌عمل آمد. نمونه‌برداری از جریان رودخانه طی وقایع بارندگی به‌وسیله نمونه‌بردار دستی و از نقطه ثابت صورت گرفت. نتایج تحقیق حاضر مبین تأثیرپذیری بالای هدر رفت ماده آلی از فرسایش خاک می‌باشد. هم‌چنین نتایج مدل‌سازی بین مقادیر هدر رفت ماده آلی، غلظت رسوبات معلق و دبی جریان حاکی از عدم اطمینان در برآورد میزان هدر رفت ماده آلی به‌وسیله دبی جریان بوده در حالی‌که با داشتن مقدار غلظت رسوب می‌توان با ضریب همبستگی و خطای تخمین به‌ترتیب ۹۵ و ۲۴ درصد میزان ماده آلی همراه رسوبات را به دست آورد. نتایج تحقیق حاضر زمینه‌ساز استفاده از روش مزبور در ارزیابی هدررفت مواد آلی در مناطقی با شرایط حاکم مشابه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: هدر رفت ماده آلی، مدل رگرسیونی، نمونه‌برداری، حوزه آبخیز جنگلی کجور.

Estimation of Organic Matter Losses in a Hyrcanian Ecosystem
A Case Study of Kojor Watershed

Hamze Noor[1], Seyed Khalagh Mirnia[2], Mohammad Bagher Raisi[3]

1- PhD. Student in Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University.
2- Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University.
3- MSc. Student Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University.

Abstract

The aim of the present study was to predict organic matter (OM) loss in Kojor Watershed which is a hyrcanian ecosystem. For this purpose, discharges, suspended sediment (SS) and OM loss resulting from storm events were sampled at one fixed point of the river using a manual sampler. Results showed that soil erosion rate during the sampling period were dramatically affected by the loss of OM. Also, the results of modeling among OM loss, SS and discharge indicate that OM loss was not estimated by the discharge, while SS can estimate the loss of OM with a determination coefficient and estimation error of of 95% and 24%, respectively. These results could facilitate the application of methods obtained in the present study to other areas with similar conditions.

Keywords: Soil erosion, Organic matter loss, Regression model, Sampling, Forest watershed, Iran.

* Corresponding author. *E-mail Address*: mirniakh@modares.ac.ir

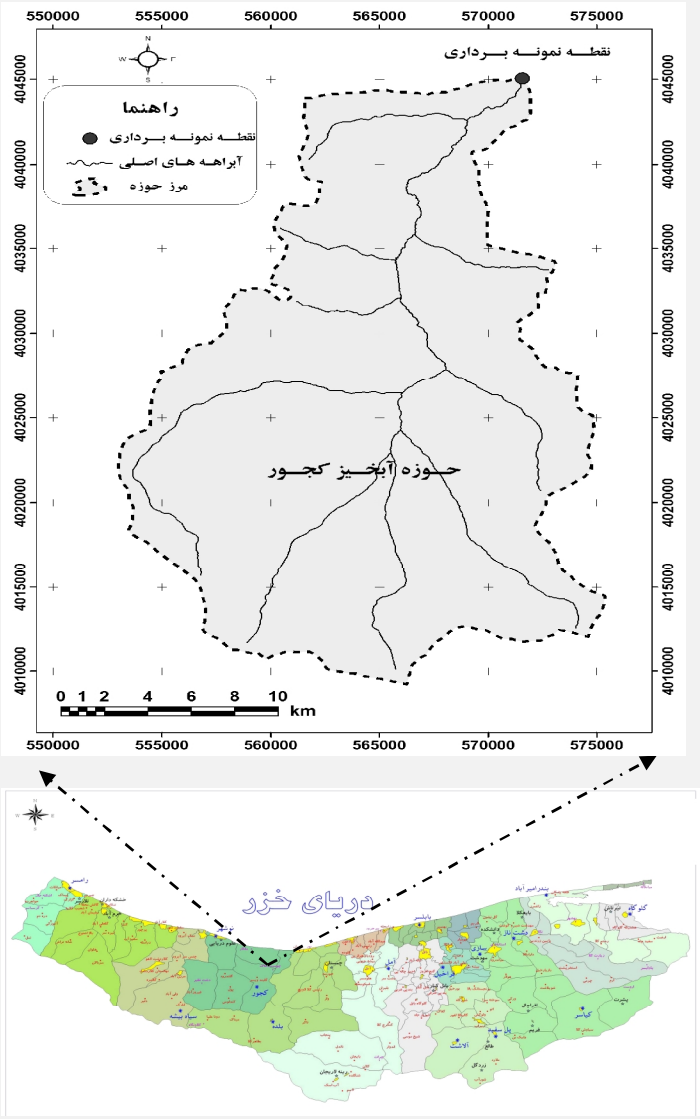
مقدمه

فرسایش خاک یک مشکل مهم زیست‌محیطی و عامل اساسی در تشخیص سلامت اکوسیستم‌ها و عمل‌کرد آن‌ها می‌باشد. بیش‌تر مطالعات صورت گرفته در زمینه فرسایش خاک به کمیت خاک از دست رفته توجه دارند. حال آن‌که خسارات ناشی از فرسایش تنها به کاهش عمق خاک محدود نمی‌شود. ماده آلی[1] از مهم‌ترین اجزاء تشکیل دهنده خاک می‌باشد و نقش مهمی بر خصوصیات آن دارد (Blanco and Lal, 2008). در دیدگاه جدید و زیست‌محیطی، خاک سطحی به‌عنوان منبعی برای کربن عمل نموده و از اثرات CO_2 و دیگر گازهای گلخانه‌ای[2] اتمسفر که بر گرم شدن اقلیم جهانی موثرند می‌کاهد (Klemedtsson *et al.*, 1997; Rodriguez, 2004; Robert, 2005). هر تغییری در ذخیره کربن خاک‌ها به‌طور قابل توجهی بر CO_2 اتمسفر تأثیر می‌گذارد. مواد آلی به دلیل وزن کم و تراکم در افق سطحی خاک دارای حساسیت بالایی به فرسایش بوده (Lal, 1999- 2005) و از این‌رو یکی از مهم‌ترین راه‌های حفظ ماده آلی خاک، کاهش فرسایش می‌باشد. اگر میزان رسوبات معلق رودخانه‌های جهان در حدود ۱۵ تا ۲۰ میلیارد تن در سال (Walling and Weeb, 1996) و میزان کربن آلی رسوبات ۲ درصد در نظر گرفته شود (Lal, 1999- 2005) مقدار کربن خاک که سالانه توسط فرسایش هدر می‌رود در حدود ۴ تا ۶/۱ میلیارد تن می‌باشد در این صورت سالانه در حدود ۰/۷ تا ۱/۲ میلیارد تن کربن آلی به‌صورت CO_2 به اتمسفر بازگشته و بر گازهای گلخانه‌ای می‌افزاید. علاوه بر این حمل ماده آلی در منابع آب باعث کاهش اکسیژن محلول شده و به‌دلیل وجود عناصر غذایی همراه با آن، آلوده کننده محیط‌های آبی می‌باشد.

بنابراین می‌توان گفت که اطلاع از هدر رفت مواد آلی و غذایی از سطح حوزه‌های آبخیز به‌عنوان معیاری مناسب برای سلامت اکوسیستم‌ها، برنامه‌ریزی‌های حفاظت آب و مباحث زیست‌محیطی می‌باشد. لازمه اطلاع از میزان هدررفت مواد آلی در حوزه‌های آبخیز کشور، انجام نمونه‌برداری پرهزینه و زمان‌بر در طول سال به‌ویژه طی وقایع بارندگی می‌باشد. یکی از راه‌های برآورد هدر رفت ماده آلی ایجاد ارتباط بین عوامل تأثیرگذار بر هدر رفت آن و درک شرایط حاکم بر سامانه آبخیز می‌باشد، در این صورت با استفاده از داده‌های دردسترس به آسانی می‌توان مقدار هدررفت مواد آلی را به‌دست آورد. اکوسیستم هیرکانی واقع در حاشیه شمالی دامنه رشته کوه البرز منبع مهمی در ذخیره مواد آلی می‌باشد و آگاهی از هدررفت مواد آلی از آن‌ها بسیار مهم می‌باشد. در این راستا تحقیق حاضر با هدف ارائه راه‌کاری مناسب جهت برآورد هدررفت مواد آلی از سطح حوزه آبخیز کجور به‌عنوان نمونه‌ای از حوزه‌های آبخیز این منطقه، برنامه‌ریزی شده است تا از طریق آن خلاءهای موجود مرتفع شده و زمینه ساز مدیریت بهتر این اکوسیستم با ارزش را فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و تخمین هدر رفت ماده آلی، حوزه آبخیز کجور با مساحت حدود ۵۰ هزار هکتار در استان مازندران انتخاب گردید. این حوزه آبخیز یکی از حوزه‌های آبخیز البرز مرکزی در ارتفاعات جنگلی کجور با حداقل و حداکثر ارتفاع ۱۵۰ و ۲۶۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد است. کاربری غالب منطقه جنگل و در ارتفاعات مرتع می‌باشد (Noor *et al.*, 2010). شکل ۱ نمای کلی حوزه آبخیز کجور و محل نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کجور در ایران و استان مازندران

به‌منظور انجام تحقیق حاضر نمونه‌برداری از جریان آب رودخانه کجور در مواقع بارندگی و در محل ایستگاه هیدرومتری، به‌وسیله بطری ۲ لیتری صورت پذیرفت. به‌منظور در نظر گرفتن تغییرات زمانی دبی، رسوبات معلق و مواد آلی و هم‌چنین افزایش دقت روابط حاصله، فاصله نمونه‌برداری تقریباً یک ساعت در نظر گرفته شد (Noor *et al.*, 2010). هم‌زمان با برداشت نمونه، اشل قرائت و دبی جریان در هر لحظه محاسبه گردید. به‌منظور تعیین مقدار مواد آلی همراه یا روی رسوبات از روش سوراندن[۳] (Parker, 1983; Pusceddu *et al.*, 1999) استفاده گردید. داده‌های هر واقعه بارش، جداگانه وارد محیط Excel 2003 گردید و با توجه به فاصله نمونه‌برداری، مقادیر کل رسوب‌دهی، هدر رفت مواد آلی و حجم روان‌آب محاسبه شد. در تجزیه و تحلیل‌های

آماری و بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل (دبی جریان و غلظت رسوبات معلق) و وابسته (غلظت ماده آلی) به‌منظور برآورد هدر رفت ماده آلی در حوزه آبخیز کجور، از انواع رگرسیون دو متغیره موجود در نرم افزار Curve Expert استفاده گردید. در این راستا از ۷۸ داده مربوط به غلظت ماده آلی (gr/l) و مقادیر متناظر دبی (m^3/s) و غلظت رسوب معلق (gr/l) آن‌ها استفاده گردید و تعداد ۲۲ داده برای ارزیابی و تأیید روابط کنار گذاشته و در مدل‌سازی دخالت داده نشدند. قابلیت اعتماد روابط به‌دست آمده در سطح اطمینان ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت و روابط با ضریب همبستگی معنی‌دار در این مرحله انتخاب شدند. هم‌چنین به‌منظور ارزیابی تطابق نتایج برآوردی و واقعی و تأیید کاربرد روابط، از شاخص خطای نسبی و لحاظ سطح قابل قبول خطای نسبی ۴۰ درصد برای مدل‌سازی مقوله‌های منابع طبیعی استفاده شد (Das, 2000; Noor *et al.*, 2010). در نهایت تأیید مدل‌های مورد قبول در مرحله قبل با استفاده از ۲۲ داده کنار گذاشته شده و با کمک آماره خطای نسبی صورت پذیرفت.

نتایج

بر اساس روش توضیح داده شده، نمونه‌برداری از رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی حوزه آبخیز و در هنگام بارندگی، به‌دلیل حاکم شدن شرایط فرسایش در منطقه، صورت پذیرفت. میزان کل هدر رفت ماده آلی طی این دوره ۵۷/۵۶ تن با حداقل و حداکثر ۰/۲۶ و ۲۲/۷۳ تن به‌ترتیب مربوط به روزهای ۱۱ و ۱۹ مهر ۱۳۸۷ می‌باشد و به‌طور متوسط ۲/۷ تن ماده آلی در هر سیلاب از این حوزه آبخیز خارج شده است. هم‌چنین حداقل و حداکثر نسبت مواد آلی حمل شده در جریان رودخانه به‌ترتیب ۲۳ و ۸۶ گرم در یک کیلوگرم رسوب با متوسط ۴۸ گرم در کیلوگرم می‌باشد.

نتایج برآورد هدررفت مواد آلی

در جدول ۱ روابطی با بالاترین ضریب تبیین و کم‌ترین خطای تخمین، به‌دست آمده بین مقادیر ماده آلی و رسوبات معلق با استفاده از ۷۸ داده نمونه‌برداری ارائه شده است.

لازم به ذکر است روابط دارای تخمین‌های منفی (مقادیر کم غلظت رسوب معلق)، با وجود ضریب همبستگی بالا، از مجموع روابط کنار گذاشته شدند. هم‌چنین استفاده از روابط درجه ۲ و ۳ با وجود ضریب تبیین بالا و خطای تخمین پایین، به‌دلیل عدم تبعیّت از روند خاصی دارای مشکل می‌باشد.

هم‌چنین استفاده از داده‌های اصلی و تغییر شکل یافته دبی و ماده آلی دلالت بر ارتباط غیر معنی‌دار این دو متغیر

جدول ۱- مشخصات روابط به‌دست آمده بین مقادیر غلظت رسوب معلق و ماده آلی در حوزه آبخیز کجور

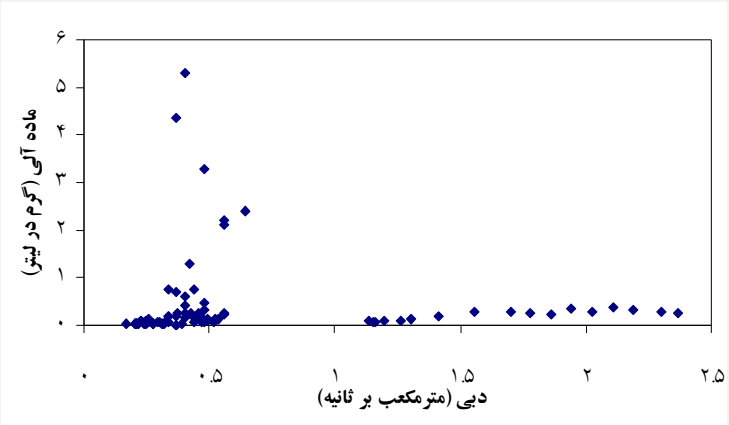
شماره	رابطه	ضریب همبستگی	خطای نسبی
۱	$Y=۰/۰۴۸X-۰/۰۳۸$	۰/۹۸۶	۶۶
۲	$Y= ۰/۰۴۷۶X^{۰/۹۲۳}$	۰/۹۵	۲۴/۵
۳	$Y=۰/۰۰۰۱X^{۲}+۰/۰۴۳۵\ X-۰/۰۱۷۷$	۰/۹۸۷	۴۳/۹
۴	$Y=-۰/۰۰۱x^{۳}+۰/۰۰۰۴X^{۲}+۰/۰۲۴۲X+۰/۰۱۰۲$	۰/۹۸	۲۶

دارد لذا با استفاده از مقادیر دبی جریان امکان تخمین مقدار ماده آلی حمل شده در رودخانه وجود ندارد. (Walling and Webb 1982)، Hasnain (1996)،(2000) Asselman و Lefrancois *et al.*, (2007) وجود پسماند[۴] در رابطه مواد معلق- دبی جریان را عاملی در عدم اعتبار برآوردهای وابسته به دبی عنوان کرده‌اند. در این حالت وجود غلظت‌های متفاوت ماده آلی در دبی‌های یکسان آب‌نگار باعث عدم ارتباط معنی‌دار بین این دو می‌گردد. شکل ۲ تغییرات هدر رفت ماده آلی با تغییرات دبی را نشان می‌دهد.

بحث

Zhang *et al.*, (2005) حداکثر میزان هدر رفت مواد آلی در مناطقی با غالبیت فرسایش سطحی، شیاری و خندقی را به‌ترتیب ۳۱/۰۸، ۴/۲۱ و ۲۱/۵۹ گرم در کیلوگرم رسوب به‌دست آوردند. هم‌چنین Biglo et al., (2005) در بورکینافاسو متوسط ۴۰ گرم ماده آلی در یک کیلوگرم رسوب را گزارش نمودند. بالاتر بودن مقدار ماده آلی در واحد وزن رسوبات (متوسط ۴۸ گرم) در این تحقیق به‌دلیل جنگلی- مرتعی بودن منطقه و میزان بالای مواد آلی در خاک آن می‌باشد.

در وقایع با دبی بالا، مقدار مواد آلی به وزن کل رسوبات کاهش یافت. ۱۸ آبان و ۱۲ آذر بالاترین دبی در منطقه رخ داد ولی مقدار ماده آلی حمل شده در این وقایع پایین‌ترین مقدار و به‌ترتیب ۳۲ و ۲۳ گرم در یک کیلوگرم رسوب بود (متوسط ۴۸گرم در کیلوگرم). بالا بودن دبی در این دو سیلاب (۱/۷ و ۲/۸ مترمکعب در ثانیه) نیروی لازم برای فرسایش و حمل مواد درشت دانه‌تر با محتوی کم‌تر ماده آلی را تأمین نموده است. Biglo *et al.*, (2005)، Mihra *et al.*, (2005) و Zhang *et al.*, (2005) به نتایج مشابهی در زمینه کاهش نسبت غنی شده ذرات در دبی‌های بالا و افزایش قطر ذرات رسوب دست یافتند. همان‌طور که ذکر شد میزان رسوب ویژه حوزه آبخیز مورد مطالعه حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال به‌دست آمد که با توجه به نسبت تحویل رسوب ۲۵ درصد برای حوزه آبخیز بزرگتر از ۱۰۰۰هکتار، بسیار پایین‌تر از حد استاندار فرسایش خاک در سایر کاربری‌ها (۱۲ تن در هکتار درسال) می‌باشد. این امر مشخصاً دلالت بر نقش مهم پوشش درختان جنگلی وپوشش مرتعی در کاهش میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در این منطقه دارد و در صورت حفظ پوشش گیاهی میزان فرسایش خاک و اثرات نامطلوب مرتبط با آن به‌شدت کاهش می‌یابد.



شکل ۲- تغییرات هدر رفت ماده آلی در برابر دبی رودخانه کجور

برآورد هدررفت مواد آلی

به‌منظور انتخاب مدل‌های برتر در این مرحله، مقادیر برآوردی مدل‌ها با مقادیر مشاهداتی به‌وسیله خطای نسبی مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج دلالت بر پایین بودن خطای نسبی تخمین روابط ۲ و ۴ داشته و سایر روابط با وجود معنی‌دار بودن ضریب همبستگی، قادر به برآورد صحیح میزان هدر رفت ماده آلی نمی‌باشند و لذا کاربرد آن‌ها در این زمینه توصیه نمی‌گردد. در انتها روابط منتخب در مرحله قبل با استفاده از ۲۲ داده کنار گذاشته شده اجرا و با استفاده از خطای نسبی کارایی آنها در مرحله تأیید مورد آزمون قرار گرفت. خطای نسبی در این مرحله برای روابط ۲ و ۴ به ترتیب ۲۶ و ۳۰ درصد به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، رابطه توانی (۲) با ضریب همبستگی بالا، خطای نسبی تخمین و تأیید کمتر به‌منظور برآورد هدرفت ماده آلی با استفاده از داده‌های غلظت رسوب معلق در حوزه آبخیز جنگلی کجور و سایر حوزه‌های جنگلی شمال کشور با شرایط مشابه پیشنهاد می‌گردد که با یافته‌های Sharply *et al.*, (1991)و نیز Mihra *et al.*, (2005) مبنی بر ارتباط معنی‌دار مقادیر غلظت رسوب و مواد غذایی همخوانی داشته و برتری ارتباط غیر خطی بین متغیرها با نتایج Zhang *et al.*, (2005) مطابقت دارد.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد در دبی‌های کمتر از یک متر مکعب بر ثانیه تغییرات هدر رفت ماده آلی بسیار زیاد بوده و پراکندگی زیاد و گسترش عمودی ابر نقاط دلالت بر تأثیرپذیری پایین این تغییرات از مقدار دبی رودخانه دارد. وقوع رود هنگام اوخ غلظت ماده آلی نسبت به اوج آبنگار باعث وجود مقادیر حداکثر غلظت ماده آلی در دبی‌های پایین گردید. در دبی‌های بالاتر از ۱ متر مکعب در ثانیه علاوه بر حمل مواد درشت دانه، عدم وجود مواد کافی قابل حمل در منطقه و بالا بودن حجم روان آب موجب رقیق شدن جریان و پایین آمدن غلظت مواد آلی شده است. این شرایط باعث عدم توانایی تخمین هدر رفت ماده آلی توسط دبی جریان می‌گردد.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان بیان نمود رسوبات معلق موجود در جریان، زمینه ساز انتقال ماده آلی موجود در سطح حوزه آبخیز می‌باشد که طبعاً ضمن ایجاد پیامدهای برون منطقه‌ای و حتی جهانی، عواقب ناخوشایند درون منطقه‌ای به‌دنبال خواهد داشت. هم‌چنین فرسایش خاک اثر مهمی در هدر رفت ماده آلی در حوزه آبخیز کجور داشته و غلظت ماده آلی به‌صورت غیر مستقیم توسط دبی جریان از طریق حمل ذرات درشت دانه و رقیق شدن جریان در دبی‌های بالا کنترل می‌گردد. رسوبات معلق تخمین‌گر مناسبی برای هدر رفت این ماده می‌باشند و به‌سهولت می‌توان از آن‌ها جهت برآورد هدررفت مواد آلی استفاده نمود. در نهایت پیشنهاد می‌گردد در سایر کاربری‌ها و اکوسیستم‌ها مطالعات مشابه صورت گیرد تا اثرات فرسایش خاک بیش از پیش روشن گردد. در نهایت از نتایج این تحقیق به‌خوبی می‌توان برای مسائل مربوط به کیفیت آب، بیان ضرورت کنترل فرسایش و نیز الویت‌بندی در مدیریت منابع آب و خاک استفاده نمود.

پی‌نوشت‌ها

1- Organic matter
2- Greenhouse
3- loss-on-Ignition
4- Hystersis

منابع

Asselman, N.E.M (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology, 234 (3-4): 228-248.

Bank Degradation as a Main Sediment Source on Small Agricultural Catchments. Hydrological processes, 21: 2923–2933.

Mihara, M., N. Yamamoto and T. Ueno (2005). Application of USLE for the prediction of nutrient losses in soil erosion processes. Paddy Water and Environment, 3: 111–119.

Noor, H., S.K.H. Mirnia, S. Fazli, M.B. Raisi and M. Vafakhah (2010). Application of MUSLE for the Prediction of phosphorus losses. Water Science and Technology, 62(4): 809-815.

Parker, J.G. (1983). A comparison of methods used for the measurement of organic matter in marine sediment. Chemistry and Ecology, 1(3): 201 - 209.

Pusceddu, A., G. Sara, M. Armeni, M. Fabiano and A. Mazzola (1999). Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (Mediterranean Sea). Hydrobiologia, 397: 59–70.

Rodrıguez Rodrıguez, A., A. Guerra, C. Arbelo, J.L. Mora, S.P. Gorrın and C. Armas (2004). Forms of eroded soil organic carbon in andosols of the Canary Islands (Spain). Geoderma, 121: 205–219.

Robert, M. (2005). Global Change and Carbon Cycle: The Position of Soils and Agriculture. In: Roose, E.R and et al (eds.). Soil erosion and carbon dynamic (3-13). Boca Raton: CRC press.

Bilgo, A., G. Serpantie, D. Masse, J. Fournier and V. Hien (2005). Carbon, nitrogen, and fine particles removed by water erosion on crops, fallows, and mixed plots in sudanese savannas (Burkina Faso). In: Roose, E.R and et al (eds.). Soil erosion and carbon dynamic (125-*142).* Boca Raton: CRC press.

Blanco, H. and R. Lal (2008). Principles of Soil Conservation and Management. Springer Science.

Das, G. (2000). Hydrology and soil conservation engineering. India: Prentice-Hall of India.

Hasnain, S.I. (1996). Factors Controlling Suspended Sediment Transport in Himalayan Glacier Meltwaters. Journal of Hydrology, 181: 49-62.

Klemedtsson, A., L. Klemedtsson, K. Berglund, P. Martikainen, J. Silvolaand and O. Oenema (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. Soil Use and Management, 13: 245-250.

Lal, R. (1995). Global soil erosion by water and carbon dynamic. In: Lal, R and et al (eds.), Soils and Global Change *(131-141).* Boca Raton: CRC/Lewis Puplishers.

Lal, R. (2005). Influence of soil erosion on carbon dynamics in the world. In: Roose, E.R and et al (eds.). Soil erosion and carbon dynamic (23-37). Boca Raton: CRC press.

Lefrancois, J., C. Grimaldi, C. Gascuel-Odoux and N. Gilliet (2007). Suspended Sediment and Discharge Relationships to Identify

Sharpley, A.N., S.J. Simth, J.R. Williams, O.R. Jonesand and G.A. Coleman (1991). Water quality impacts associated with sorghum culture in the southern Plains. Journal of Environmental Quality, 20: 239–244.

Walling, D.E. and B.W. Webb (1982). Sediment Availability and the Prediction of Storm-period Sediment Yield. Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield. IAHS Publication, 137: 327-337.

Walling, D.E. and B.W. Webb (1996). Erosion and Sediment yield: A global overview. In: Walling, D.E and B.W. Webb (eds). Erosion and sediment yield: global and regional perspectives (3–20). Wallingford: IAHS Press.

Zhang, F., X. He, X. Gao, C. Zhang and T. Keli (2005). Effects of erosion patterns on nutrient loss following deforestation on the Loess Plateau of China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 108: 85–97.