

کنترل آلاینده‌های موجود در رواناب با استفاده از گیاه وتیور و چمن بومی (بررسی نمونه‌ای: بخشی از اراضی کشاورزی دیم منطقه میانرود شهرستان ساری)

ایمان صالح*^۱، عطاءاله کاویان^۲، محمود حبیب‌نژاد^۳، زینب جعفریان^۴، مجید خزایی^۴

۱-استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویر احمد (salehiman61@gmail.com)

۲-دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳-استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- کارشناس آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویر احمد

چکیده

نوارهای حائل گیاهی حاوی برخی گونه‌های گیاهی می‌باشند که جریان آب قبل از ورود به آبراهه‌ها از آن‌ها عبور می‌نماید و این موجب کاهش حجم رواناب و آلاینده‌های جریان توسط نفوذ، جذب و انباشت رسوب می‌گردند. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه تاثیر گیاه وتیور و چمن بومی منطقه ساری (مازندران) و همچنین ترکیب دو گونه مذکور بر کارایی نوارهای حائل گیاهی در کاهش آلاینده‌های آب‌های سطحی شامل رسوب، نیترات و فسفات به انجام رسید. این پژوهش با استفاده از کرت‌های آزمایشی ۱×۱۰ متری و تولید رواناب مصنوعی با دبی ۱/۶۵ لیتر بر ثانیه طی یک سال به انجام رسید. نوارهای حائل گیاهی استفاده شده در این تحقیق غلظت رسوب را ۴۲-۹۴٪، غلظت نیترات را ۳۵-۸۸٪ و غلظت فسفات را ۲۸-۹۵٪ کاهش دادند که کلیه مقادیر حداکثر مربوط به تیمار وتیور-چمن بود. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان اشاره نمود که گیاه وتیور کارایی بسیار بالایی در کاهش و کنترل آلاینده‌های موجود در رواناب را داراست اما به دلیل احتمال ایجاد جریان‌های متمرکز در فواصل موجود میان بوته‌های این گونه گیاهی، استفاده از یک نوار گیاهی مقاوم و سازگار با اقلیم منطقه و با تراکم، یکنواختی و درصد سطح پوشش مشابه چمن به منظور یکنواختی و ورقه‌ای نمودن جریان و در نتیجه افزایش کارایی نوار حائل گیاهی در کاهش آلاینده‌های موجود در رواناب پیش از ورود به آب‌های سطحی توصیه می‌گردد. همچنین برداشت و کوتاه نمودن دوره‌های گیاه به عنوان راهکاری مؤثر به منظور مقابله با تجمع تدریجی مواد مغذی و رسوب در نوارهای حائل گیاهی و در نتیجه آلوده شدن رواناب عبوری از این نوارها ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی:

غلظت رسوب، فسفات، کرت‌های آزمایشی، نیترات، وتیور

مقدمه

آلودگی آب در دهه‌های اخیر به یک تهدید جدی و در حال گسترش برای جامعه انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی تبدیل شده است به طوری که برای مثال هر ساله ۲۵ میلیون نفر در کشورهای فقیر در اثر آلودگی آب از بین می‌روند. این موضوع ضرورت مبارزه با آلودگی سیستم‌های آبی را افزایش می‌دهد (Bu و همکاران، ۲۰۱۰). فرسایش خاک و رسوب‌گذاری نیز یکی از معضلات اصلی در بیشتر حوزه‌های آبخیز ایران می‌باشد که تولید رسوب ناشی از آن در حوزه‌ها از محدودیت‌های اساسی در دستیابی به توسعه پایدار بوده (غلامی، ۲۰۰۷)، فرسایش نه تنها خاک را از بین می‌برد، بلکه با ایجاد رسوب مواد در آبراهه سبب مسدود شدن آن‌ها و پر کردن مخازن سدها می‌شود (Gvancheng، ۲۰۰۴). بهترین روش‌های مدیریت (BMPs)، رویکردی بسیار شایع در کاهش اثرات مخرب رواناب‌های سطحی می‌باشند و یکی از راهکارهای موثر -بهترین روش‌های مدیریت- در کاهش آلودگی در آب‌های سطحی استفاده از نوارهای حائل گیاهی است (Hellberg و همکاران، ۲۰۰۸؛ Lam و همکاران، ۲۰۱۱) حائل‌های گیاهی نوارهایی هستند که شامل انواع گیاهان نظیر علف‌ها، درختان و درختچه‌ها یا ترکیبی از آن‌ها می‌باشند که در پایین دست اراضی فرسایش‌پذیر و کشاورزی و در کناره رودخانه‌ها تعبیه می‌گردند (Dabney، ۲۰۰۳). به عبارت دیگر، نوارهای حائل گیاهی شامل گیاهی خاص می‌باشند که جریان قبل از ورود به آبراهه‌ها از آن‌ها عبور می‌نماید و این موجب کاهش حجم رواناب، آفت‌کش‌های انباشته شده و دیگر آلاینده‌های جریان توسط نفوذ، جذب و انباشت رسوب می‌گردند (Dunn و همکاران، ۲۰۱۱؛ Yuan و همکاران، ۲۰۰۹؛ Otto و همکاران، ۲۰۱۲). گیاه وتیور یک گیاه دائمی گرمسیری و بومی جنوب و جنوب شرق آسیا است که به طور طبیعی در اراضی پست و مرتفع و در انواع خاک‌ها می‌روید. این گیاه در هر آب و هوایی می‌تواند زندگی کند و حتی در خشک‌سالی‌های هندوستان هم خود را توانا نشان داده است (شو شتریان و تهرانی فر، ۱۳۹۰). این گیاه سریع‌الرشد است، ارتفاع آن ۱۵۰ - ۵۰ سانتی‌متر و به گستردگی ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. ریشه‌های وتیور افشان، بسیار منشعب و حجیم بوده و تا عمق ۴-۲ متر در خاک نفوذ می‌کنند که این امر در حفظ آب و خاک بسیار موثر است (انجمن ایرانی ترویج و توسعه گیاه وتیور، ۱۳۸۷). تحقیقات و آزمایشاتی که در چین انجام گرفته است نشان می‌دهد که وتیور می‌تواند فسفر محلول را پس از ۳ هفته تا ۱۱٪ و ازت محلول را پس از ۵ هفته تا ۲۱٪ کاهش دهد. و ظرفیت پاک کردن سالانه ۲۳۱ تن ازت و ۱۵ تن فسفر را در هکتار دارد (Babalola، ۲۰۰۷).

در گذشته پژوهش‌های بسیاری در زمینه تاثیر نوارهای حائل گیاهی بر کنترل کیفیت و کمیت رواناب صورت پذیرفته اند (Norris، ۲۰۰۶؛ Hay و همکاران، ۲۰۰۶؛ Borina و همکاران، ۲۰۰۵؛ Golabi و همکاران، ۲۰۰۵؛ Patty و همکاران، ۱۹۹۷؛ Lee و همکاران، ۲۰۰۳؛ Delgado و همکاران، ۱۹۹۵؛ Milan و همکاران، ۲۰۱۴؛ Duchemin و Hogue، ۲۰۰۹؛ Mankin و همکاران، ۲۰۰۷) که در برخی از آن‌ها پژوهشگران تلاش نموده‌اند تا یک دستورالعمل برای کاربرد نوارهای حائل گیاهی در کنترل کیفیت آب تهیه نمایند و معتقدند که نزدیک بودن نوار حائل به منبع آلودگی نقش بسیار مهمی در کارایی آن دارد و ارزش مهم نوارهای حائل گیاهی را نه فقط در مفید بودن آن‌ها در کنترل کیفیت آب بلکه در فواید دیگر آن به جهت نگهداری منطقه وسیعی از گیاهان طبیعی می‌دانند (Norris، ۱۹۹۳). برخی محققین نیز پس از مرور اثربخشی نوارهای حائل گیاهی در بهبود کیفیت آب اعلام نمودند که نوارهای حائل گیاهی قادر به از بین بردن آلاینده‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی یا آلودگی غیر نقطه‌ای هستند (Lee و همکاران، ۱۹۹۵؛ Delgado و همکاران، ۱۹۹۵) در حالی که خود خاک نیز می‌تواند تا حدودی این کاهش آلودگی را انجام دهد اما سیستم ترکیب خاک با گیاه بهترین عملکرد را خواهد داشت (Delgado et al., 2005). Patty و همکاران (۱۹۹۷) طی انجام پژوهشی گزارش نمودند که نوارهای علفی با طول ۶، ۱۲ و ۱۸ متر حجم رواناب را از ۴۳ تا ۹۹/۹ درصد، مواد جامد معلق را از ۸۷ تا ۱۰۰ درصد، نیترات را از ۴۴ تا ۱۰۰ درصد و فسفر از ۲۲ تا ۸۹ درصد کاهش دادند. Lee et al. (2003) معتقدند که ترکیبی از گیاهان مختلف می‌تواند اثربخشی نوارهای حائل گیاهی را در کاهش آلودگی رواناب افزایش دهد در حالی که Hay و همکاران (۲۰۰۶) یک آزمایش تجربی به منظور ارزیابی اثرات نوارهای حائل گیاهی بر زدودن آلاینده‌هایی نظیر رسوب، مواد مغذی و میکروارگانیسم‌های تولید شده از اراضی آبیاری شده و مراتع را به انجام رساندند و اعلام نمودند که نوار فیلتر مورد استفاده تحقیق ایشان از کارایی بالایی برخوردار نبوده است که این می‌تواند به دلیل حجم بالای رواناب، شیب زیاد و جریان کانالی شده باشد. Borina و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان دادند که روانابی که از نوار حائل گیاهی عبور نمی‌کند، بیشتر تحت تاثیر مجموع بارندگی است در حالی که برای روانابی که از نوار حائل گیاهی عبور می‌کند، حداکثر شدت بارندگی نقش مهم‌تری ایفا می‌نماید. Golabi و همکاران (۲۰۰۵) در گزارش نتایج تحقیق خود اعلام نمودند که سیستم وتیور نه تنها

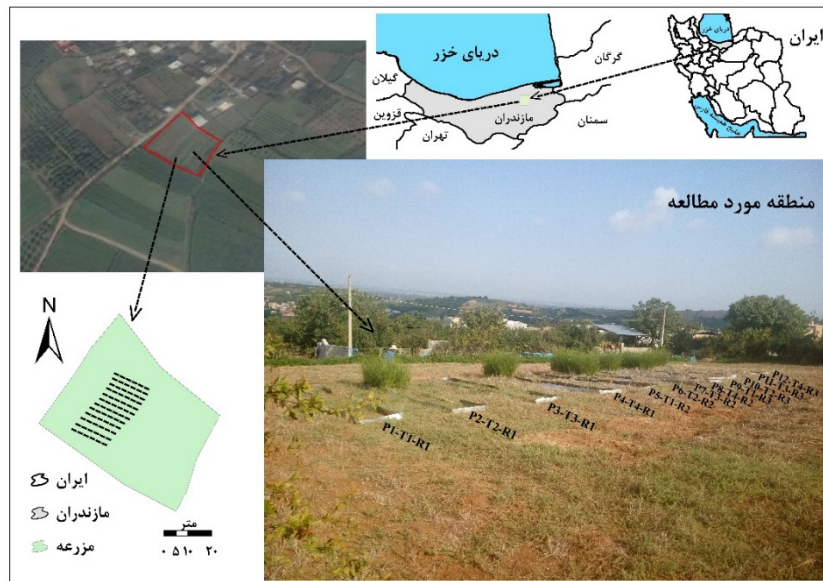
در کنترل فرسایش موثر است بلکه کیفیت رواناب را بهبود می‌بخشد. Mankin و همکاران (۲۰۰۷) معتقدند که نوع گیاه مورد استفاده در نوار حائل اثر قابل توجهی بر از بین بردن آلاینده‌ها دارد همانطور که Duchemin و Hogue (۲۰۰۹) تاثیر اولیه یک سیستم علف‌درخت را بر فیلتر کردن و زهکشی رواناب حاصل از یک مزرعه ذرت کوددهی شده با کود مایع حیوانی مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که نوار علفی، حجم رواناب را تا ۴۰٪، مواد جامد معلق را تا ۸۷٪، فسفر کل را تا ۶۴٪ و نیترات را تا ۳۳٪ کاهش داد، در صورتی که نوارهای علف-درخت حجم رواناب را تا ۳۵٪، مواد جامد معلق را تا ۸۵٪، فسفر کل را تا ۸۵٪ و نیترات را تا ۳۰٪ کاهش دادند. Borin و همکاران (۲۰۱۰) مروری بر داده‌های به دست آمده از تحقیقات انجام شده در دهه‌های گذشته در زمینه اجرای نوارهای حائل گیاهی در منطقه ونتو ایتالیا داشتند و گزارش نمودند که نوارهای حائل جوان رواناب کل را تا ۳۳٪، هدررفت نیتروژن را تا ۴۴٪ و هدررفت فسفر را تا ۵۰٪ در مقایسه با نواحی بدون نوار حائل کاهش داده‌اند. همچنین به اعتقاد ایشان یک نوار حائل بالغ قادر است غلظت نیترات و نیتروژن و فسفر را تا ۱۰۰٪ کاهش دهد. Wang و همکاران (۲۰۱۲) طی مطالعه‌ای که بر کاهش نیتروژن و نیترات توسط نوارهای حائل مرتعی و درختی در منطقه آرمیدال استرالیا به انجام رساندند اعلام نمودند که نوارهای حائل درختی و مرتعی تفاوت چندانی در کاهش نیترات آب‌های کم‌عمق و عمیق زیرزمینی نشان ندادند اما نوارهای حائل مرتعی تاثیر بیشتری در کاهش نیترات و نیتروژن رواناب‌های سطحی داشتند. Lambrechts (۲۰۱۴) طی پژوهشی تاثیر رشد گیاه و مورفولوژی آن را بر میزان کارایی نوارهای حائل گیاهی با استفاده از فلوم آزمایشی مورد بررسی قرار دادند که نتایج این تحقیق حاکی از افزایش پتانسیل تله‌اندازی رسوب توسط نوار حائل گیاهی پس از دو ماه رشد بود. همچنین بر اساس گزارش محققین فوق، رشد گیاه و توسعه آن مورفولوژی گیاه و پتانسیل تله‌اندازی رسوب توسط نوار حائل گیاهی را اصلاح نموده و بهبود بخشیده است. همچنین برخی دیگر از محققین با بررسی تاثیر نوارهای حائل گیاهی بر کاهش رواناب سطحی اعلام نمودند که کارایی نوارهای حائل گیاهی بسیار تحت تاثیر یکنواختی پوشش گیاهی این نوارها خصوصاً در ابتدای کاشت آن‌ها است (Milan و همکاران، ۲۰۱۴). Campo-Bescos و همکاران (۲۰۱۵) نیز معتقدند که نصب حائل‌های گیاهی مترکم در اراضی فاریاب مناطق آسیب‌پذیر نیمه خشک می‌تواند در کاهش اثرات مخرب کشاورزی و بهبود حفاظت محیط زیست موثر باشد اما نایبستی به آن به عنوان یک راهکار جایگزین نگاه کرد بلکه باید به عنوان یک روش کنترل آلودگی تکمیلی در کنار دیگر اقدامات خارج از عرصه مورد استفاده قرار گیرد.

همانطور که از تحقیقات انجام شده بر می‌آید، اثربخشی نوارهای حائل گیاهی در کاهش آلودگی آب‌های سطحی محرز است اما گونه‌های گیاهی و نوع آلاینده‌ها نیز در کارایی آن‌ها تأثیر زیادی دارند. بنابراین، مطالعه این نوارها در مناطق مختلف بنا بر گونه‌های گیاهی بومی منطقه، متفاوت است. همچنین مطالعه تاثیر سنین مختلف گیاه در کاهش آلاینده‌ها ضروری می‌نماید. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تاثیر گونه گیاهی و همچنین مرحله رشد آن بر کارایی نوارهای حائل گیاهی در کاهش نیترات و فسفات موجود در آب‌های سطحی به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

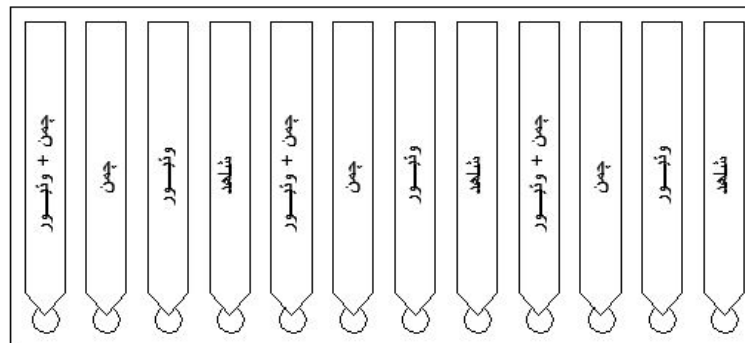
عرصه این تحقیق بخشی از اراضی کشاورزی دیم منطقه میانرود از توابع شهرستان ساری می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۰ دقیقه ی طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی در نیمکره شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع عرصه از سطح دریا ۲۳ متر و شیب دامنه مورد مطالعه ۱۵ درصد، دارای جهت جغرافیایی شمالی-جنوبی با خاک لوم رسی می‌باشد. مطابق آمار هواشناسی ایستگاه دشت ناز ساری که در فاصله ۵ کیلومتری عرصه واقع شده است، متوسط بارندگی، درجه حرارت و رطوبت نسبی سالانه منطقه به ترتیب ۷۸۹ میلی‌متر، ۱۷ درجه سانتیگراد و ۷۷٪ می‌باشد (صادقی روش، ۱۳۸۹).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲- طراحی آزمایش

به منظور ارزیابی کارایی نوارهای حائل گیاهی با گونه‌های مختلف گیاهی و مراحل مختلف رشد گیاه در از بین بردن و یا کاهش آلاینده‌های مختلف موجود در رواناب، از کرت‌های آزمایشی در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی Randomized Complete Blocks Design) استفاده شد. تیمارهای مورد آزمایش در این تحقیق به شرح زیر می‌باشند (شکل ۲):
 تیمار ۱: وتیور گراس، تیمار ۲: چمن بومی، تیمار ۳: ترکیب وتیور گراس و چمن بومی، تیمار ۴: شاهد (بدون پوشش)



شکل ۲- طراحی و نحوه قرار گرفتن کرت‌های آزمایشی

در این پژوهش ۱۲ کرت آزمایشی ۱۰ متر مربعی (۱۰×۱۰ متر) با شیب ۱۵٪ که به وسیله ورق‌های گالوانیزه تا عمق ۱۰ سانتیمتر از محیط اطراف جدا گشتند، ایجاد و استفاده شد (Lee و همکاران، ۱۹۹۹). در انتهای (پایین شیب) هر کرت نیز زهکش‌هایی تعبیه شدند که رواناب خروجی را به یک مخزن ۱۲۰ لیتری موجود در انتهای هر کرت انتقال می‌دادند. همچنین گیاهان مورد آزمایش در اواخر دی ماه ۱۳۹۳ در کرت‌ها کاشته شدند به طوری که سه متر از طول هر کرت شامل گیاه مورد آزمایش بود و هفت متر باقیمانده بدون پوشش به منظور تولید رواناب رها شد (شکل ۳).



شکل ۳- نحوه آماده‌سازی و قرار گرفتن گونه‌های گیاهی مورد آزمایش در کرت‌های آزمایشی

۳- نمونه برداری رواناب

نمونه‌برداری از رواناب جمع‌آوری شده توسط مخزن‌های موجود در انتهای هر کرت از یک ماه پس از کاشت گونه‌های گیاهی آغاز و به صورت ماهانه تکرار شد به طوری که نمونه‌برداری از بهمن ماه سال ۱۳۹۳ آغاز و در دی ماه سال ۱۳۹۴ پایان یافت. نمونه‌برداری پس از تولید رواناب مصنوعی توسط پمپ با دبی مشخص (۱/۶۵ لیتر بر ثانیه)، انجام گردید. به منظور اندازه‌گیری دقیق آلاینده‌ها دو نمونه مجزا از آب جمع‌آوری شده در مخازن برداشت شد که یک نمونه توسط ظروف ۱/۵ لیتری و به منظور اندازه‌گیری میزان رسوب و نمونه دیگر با استفاده از ظروف ۲۵۰ میلی لیتری جهت اندازه‌گیری غلظت نیترات و فسفات برداشت شدند. نمونه‌های ۲۵۰ میلی لیتری در یخ نگهداری شده و سریعاً به آزمایشگاه انتقال داده شدند (Lee و همکاران، ۱۹۹۹) (شکل ۴).



شکل ۴- برداشت نمونه‌های آب جمع‌آوری شده در مخازن انتهای کرت‌های آزمایشی و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه

۴- اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها

با ارسال نمونه‌های آب برداشت شده به آزمایشگاه اداره آب منطقه‌ای شهرستان ساری میزان نیترات و فسفات آن‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری میزان رسوب موجود در نمونه‌های آب، ابتدا نمونه‌ها توزین شدند و پس از آن در آون به مدت ۲۴ ساعت تحت حرارت ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند تا آب موجود در نمونه به طور کامل تبخیر گردد و در پایان نمونه باقیمانده دوباره توزین شد تا وزن رسوب موجود در نمونه به دست آید (شکل ۵). رابطه (۱) میزان غلظت مواد جامد معلق در نمونه آب را محاسبه می‌نماید (Lee و همکاران، ۱۹۹۹):

$$TSS = \frac{M}{V} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن M وزن مواد جامد پس از خشک کردن نمونه (میلی گرم) و V حجم نمونه آب (لیتر) می باشد.

۵- کارایی نوارهای حائل گیاهی در کاهش آلاینده‌های رواناب

کارایی نوارهای حائل گیاهی مورد آزمایش (تیمارها) در کاهش آلاینده‌های مورد نظر موجود در رواناب با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Lee و همکاران، ۱۹۹۹):

$$Effectiveness(T_i) = \left(1 - \frac{P_i}{P_1}\right) \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن T_i کارایی تیمار i برای زدودن آلاینده مورد نظر (%/،)، P_i میزان غلظت آلاینده مورد نظر در نمونه آب تیمار i و P_1 میزان غلظت آلاینده مورد نظر در نمونه آب تیمار شاهد است.

۶- تجزیه و تحلیل آماری

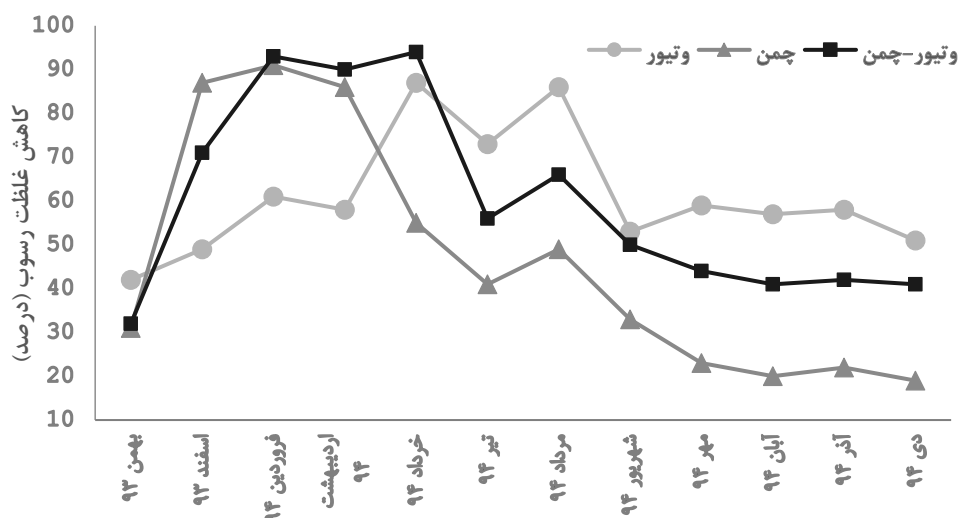
به منظور مقایسه عملکرد تیمارهای مختلف در کاهش آلاینده‌های مورد مطالعه، پس از جمع‌آوری داده‌ها و ایجاد پایگاه داده‌ای در محیط Excel، آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کلوموگروف-اسمیرنوف انجام شد. همچنین میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده غلظت آلاینده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

۱- کارایی نوارهای حائل گیاهی

۱-۱- غلظت رسوب

در این قسمت کارایی تیمارهای مختلف مورد مطالعه در کاهش غلظت رسوب در مقایسه با تیمار شاهد بررسی و مقایسه گردیده‌اند. نتایج نشان داد که بهترین کارایی در ماه‌های اول (۰/۴۲)، ششم (۰/۷۳)، هفتم (۰/۸۶)، هشتم (۰/۵۳)، نهم (۰/۵۹)، دهم (۰/۵۷)، یازدهم (۵۸٪) و دوازدهم (۰/۵۱) متعلق به تیمار وتیور، در ماه‌های دوم (۰/۸۷) و سوم (۰/۹۱) مربوط به تیمار چمن و در ماه‌های سوم (۰/۹۳)، چهارم (۰/۹۰) و پنجم (۰/۹۴) مربوط به تیمار وتیور - چمن می‌باشد و در کل دوره نیز تیمار وتیور - چمن در ماه پنجم بهترین کارایی را (۰/۹۴) در کاهش غلظت رسوب نشان داد (شکل ۵) که در ادامه در این مورد بحث خواهد شد.

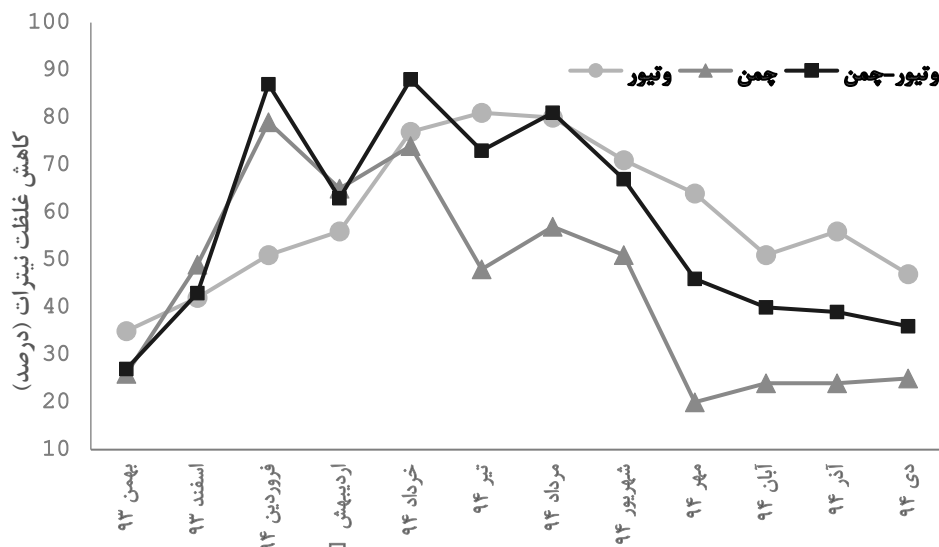


شکل ۵- تغییرات کارایی نوارهای حائل گیاهی مورد بررسی در کاهش غلظت رسوب در طول دوره آزمایش

با توجه به نتایج محاسبه کارایی نوارهای حائل گیاهی مورد مطالعه در این تحقیق در کاهش غلظت رسوب می‌توان دریافت که تیمار چمن از ماه دوم تا چهارم عملکرد قابل توجهی در کاهش غلظت رسوب نشان داده است که دلیل آن رشد سریع‌تر گیاه چمن نسبت به گیاه وتیور می‌باشد (جدول ۴ و ۵) در حالی که از ماه سوم به بعد و با رشد گیاه وتیور و افزایش تراکم ساقه و قابلیت قابل توجه این گیاه در نگهداشت رسوب (Golabi و همکاران، ۲۰۰۵) کارایی بهتری برای تیمار وتیور-چمن با اختلاف ناچیزی نسبت به تیمار چمن محاسبه گردید. با گذشت زمان رشد بیشتر وتیور و افزایش تراکم ساقه، این گیاه از ماه پنجم توانایی خود در نگهداشت رسوب را نشان داد به طوری که از ماه ششم به بعد تیمار وتیور عملکرد بسیار بهتری از دو تیمار دیگر در کاهش غلظت رسوب نشان داد. افتی که از ماه پنجم در کارایی تیمار چمن مشاهده می‌شود احتمالاً ابتدا به دلیل کاهش کیفیت و درصد پوشش این گیاه به دلیل برخی عوامل خارجی پیش بینی نشده مانند چرای دام (که البته هیچ آسیبی توسط دام به گیاه وتیور وارد نشده بود) و سپس کاهش دما از ماه هشتم به بعد و در نتیجه عدم وجود شرایط مناسب برای رشد چمن می‌باشد. در پنج ماه پایانی آزمایش شاهد افت کارایی کلیه تیمارها در کاهش غلظت رسوب می‌باشیم که تجمع رسوب در نوارها با گذشت زمان دلیل این موضوع می‌باشد.

۲-۱- نیترات

همانطور که شکل (۶) نشان می‌دهد بالاترین کارایی در کاهش غلظت نیترات در ماه‌های اول (۳۵٪)، ششم (۸۱٪)، هشتم (۷۱٪)، نهم (۶۴٪)، دهم (۵۱٪)، یازدهم (۵۶٪) و دوازدهم (۴۷٪) مربوط به تیمار وتیور، در ماه‌های دوم (۴۹٪) و چهارم (۶۵٪) متعلق به تیمار چمن و در ماه‌های سوم (۸۷٪)، پنجم (۸۸٪) و هفتم (۸۱٪) مربوط به تیمار وتیور - چمن است. در این بخش نیز بهترین عملکرد (۸۸٪) در طول دوره آزمایش مربوط به وتیور - چمن در ماه پنجم می‌باشد.



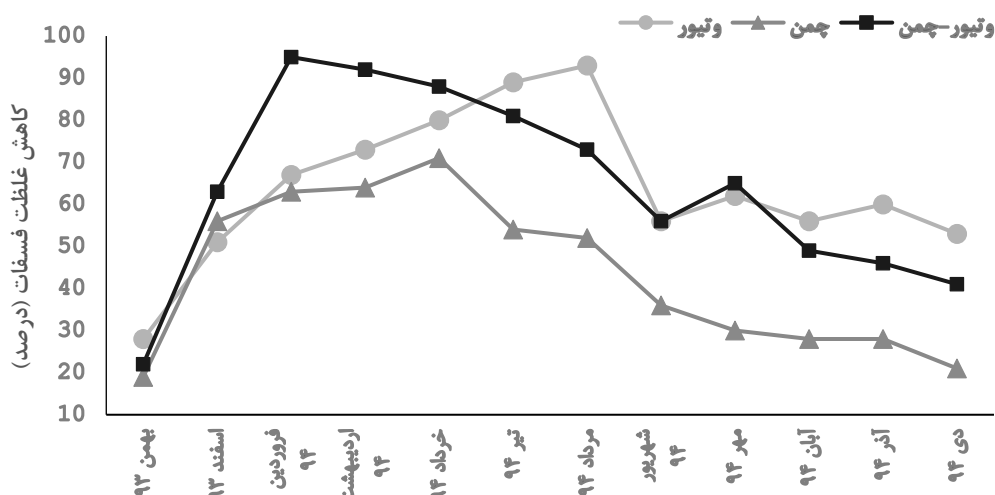
شکل ۶- تغییرات کارایی نوارهای حائل گیاهی مورد بررسی در کاهش غلظت نیترات در طول دوره آزمایش

بررسی نتایج غلظت نیترات نیز روندی تقریباً مشابه غلظت رسوب نشان می‌دهد با این تفاوت که میانگین کارایی نوارهای حائل گیاهی در کاهش غلظت رسوب مقداری از کارایی آن‌ها در کاهش غلظت نیترات بیشتر می‌باشد. دلیل این موضوع احتمالاً محلول بودن نیترات در آب است و البته این نتایج نشان‌دهنده وابستگی غلظت نیترات به غلظت رسوب که این موضوع نشان‌دهنده وابستگی عمیق میزان غلظت نیترات و فسفات به غلظت رسوب می‌باشد که علت آن می‌تواند چسبیدن مواد مغذی به رسوبات ریزدانه باشد (Barling, ۱۹۹۴) می‌باشد.

۳-۱- فسفات

نتایج ارائه شده در شکل (۷) نشان‌دهنده بالاترین کارایی در کاهش غلظت فسفات برای تیمار وتیور در ماه اول (۲۸٪)، ماه ششم (۸۹٪)، ماه هفتم (۹۳٪)، ماه هشتم به طور مشترک با تیمار وتیور-چمن (۵۶٪)، ماه دهم (۵۶٪)، یازدهم (۶۰٪) و دوازدهم (۵۳٪)

است. همچنین تیمار وتیور-چمن در ماه‌های دوم، سوم، چهارم، پنجم، هشتم به طور مشترک با تیمار وتیور و همچنین ماه نهم به ترتیب با کارایی (۰/۶۳)، (۰/۹۵)، (۰/۹۲)، (۰/۸۸)، (۰/۵۶) و (۰/۶۵) بهترین عملکرد را در کاهش میزان غلظت فسفات نشان دادند. همانطور که ملاحظه می‌شود بالاترین کارایی (۰/۹۵) در طول دوره آزمایش متعلق به تیمار وتیور-چمن در ماه سوم می‌باشد.



شکل ۷- تغییرات کارایی نوارهای حائل گیاهی مورد بررسی در کاهش غلظت فسفات در طول دوره آزمایش

همانطور که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد دو ماه پس از کاشت گیاهان، نوارهای حائل گیاهی مورد آزمایش تاثیر قابل توجهی بر کاهش حجم رواناب و آلاینده‌های موجود در آن و در نتیجه حفاظت آب و خاک داشته‌اند که این نتیجه با نتایج بسیاری از محققین همخوانی دارد (Hay و همکاران، ۲۰۰۶؛ Patty و همکاران، ۱۹۹۷؛ Lee و همکاران، ۲۰۰۳؛ Hogue و Duchemin، ۲۰۰۹؛ Mankin و همکاران، ۲۰۰۷؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۰؛ Milan و همکاران، ۲۰۱۴). نکته قابل توجه اینک در طول دوره آزمایش، تیمار وتیور-چمن حداکثر کارایی را در کاهش حجم رواناب (۰/۹۰)، غلظت رسوب (۰/۹۴)، غلظت نیترات (۰/۸۸) و غلظت فسفات (۰/۹۵) شامل می‌شد که این موضوع بیانگر تاثیر و عملکرد قابل توجه ترکیب دو گیاه چمن و وتیور در کنترل کیفیت و کمیت رواناب می‌باشد، به این صورت که حداکثر کارایی نوارهای حائل گیاهی در کنترل کیفیت و کمیت رواناب زمانی حاصل می‌شود که جریان به صورت ورقه‌ای از آن عبور نماید (Hussein و همکاران، ۲۰۰۷) و از طرفی در کرت وتیور-چمن در این تحقیق ابتدا رواناب از نوار ۱×۱/۵ متری چمن و سپس از نوار وتیور با اندازه مشابه عبور می‌نمود، در نتیجه نوار وتیور-چمن عملکرد بهتری از خود در کاهش حجم رواناب نشان داد چرا که جریان با عبور از نوار چمن به صورت ورقه‌ای به نوار وتیور رسیده و از تولید جریان متمرکز در بین بوته‌های وتیور جلوگیری به عمل آمده است تا نوار وتیور بتواند قابلیت خود در افزایش نفوذپذیری خاک را هر چه بیشتر بروز دهد که این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط Lee و همکاران (۲۰۰۳) همسو است. اما عدم مقاومت چمن در دماهای پایین و کاهش درصد سطح پوشش و همچنین آسیب پذیری آن در مقابل چرای دام موجب گردید که عملکرد مناسب نوار حائل گیاهی وتیور-چمن با افت قابل توجهی مواجه گردد، از این رو انتخاب گونه گیاهی با تراکم و یکنواختی شبیه چمن اما مقاوم‌تر با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه به منظور استفاده در نوارهای حائل گیاهی توصیه می‌گردد. همچنین با افزایش سن گیاه شاهد افزایش میانگین غلظت آلاینده‌ها می‌باشیم که حاصل از انباشته شدن مواد مغذی و رسوب در نوارهای حائل به مرور زمان است. این نتیجه نیز با نتایج Osborne و Kovacic (۱۹۹۳)، Bhattarai و همکاران (۲۰۰۹) و Stutter و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. بنابراین نوارهای حائل گیاهی می‌توانند به عنوان منبع مواد مغذی و رسوب نیز ایفای نقش نمایند. البته کاهش غلظت آلاینده‌ها در ماه‌های پایانی آزمایش به دلیل بارندگی زیاد و در نتیجه شسته شدن آلاینده‌ها از سطح کرت‌ها می‌باشد.

همانطور که مشاهده شد، مرور زمان و رشد گیاه نیز نقش قابل توجهی در کارایی نوار حائل گیاهی در کنترل غلظت رسوب دارد به طوری که هر چه از زمان کاشت گیاهان سپری شد گیاه وتیور با افزایش ارتفاع و درصد سطح پوشش خود عملکرد بهتری در کنترل غلظت آلاینده‌ها در مقایسه با دیگر نوارهای گیاهی مورد آزمایش نشان داد که این نتیجه نیز با نتایج Borin و همکاران (۲۰۱۰) همسو

است. نوع گیاه استفاده شده در نوارهای حائل گیاهی مورد مطالعه در این تحقیق نیز تاثیر قابل توجهی در نتایج به دست آمده و کنترل کیفیت و کمیت رواناب برجای گذاشت که این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط Mankin و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد، چنانچه تیمار وتیور-چمن دارای حداکثر کارایی در کاهش آلاینده‌های مورد آزمایش بود اما این کارایی مناسب پس از گذشت مدتی کوتاه کاهش قابل توجهی یافت چرا که شرایط رشد و تراکم مناسب بخش چمن این تیمار در فصول سرد فراهم نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از نتایج پژوهش حاضر می‌توان دریافت که استفاده از نوار حائل گیاهی مرکب از گیاه وتیور - که با اغلب شرایط آب و هوایی سازگاری دارد - و یک گونه گیاهی با ویژگی‌های تراکم و یکنواختی چمن اما مقاوم‌تر در برابر تغییرات آب و هوایی و چرای دام و همچنین سازگار با اقلیم منطقه در جهت حفاظت آب و خاک و کنترل کیفیت و کمیت رواناب‌های خروجی از اراضی کشت شده در شیب‌هایی که به پیکره‌های آبی ختم می‌شوند، می‌تواند راهکاری مناسب جهت افزایش هرچه بیشتر کارایی این نوارها باشد. همانطور که اشاره شد نوارهای حائل گیاهی می‌توانند به عنوان منبع مواد مغذی و ر سوب نیز ایفای نقش نمایند که برداشت و کوتاه نمودن دوره‌ای گیاه به عنوان راهکاری موثر به منظور مقابله با این موضوع توصیه می‌گردد. مطالعه کامل نوارهای حائل گیاهی و استفاده از آن‌ها در کشور عزیزمان ایران، نیازمند انجام پژوهش‌های بیشتر و تخصیص منابع مالی کافی می‌باشد. انجام تحقیقاتی در زمینه نفوذپذیری خاک تحت تاثیر نوارهای حائل گیاهی مختلف و تاثیر آن بر شدت تولید رواناب و همچنین نفوذ آلاینده‌ها در خاک و میزان جذب آنها توسط پوشش گیاهی در نوار حائل گیاهی، همچنین بررسی ارتباط بین شدت بارندگی، مقدار بارندگی، رطوبت خاک و کارایی نوارهای حائل گیاهی در حفاظت آب و خاک نیز توصیه می‌گردد.

منابع

- انجمن ایرانی ترویج و توسعه گیاه وتیور. (۱۳۸۷). سیستم وتیور برای پیشگیری و درمان آلودگی‌های شیمیایی آب و خاک.
- صادقی روش، م. ح. (۱۳۸۹). مقایسه میزان آسایش حرارتی انسانی در شرایط آب و هوایی خشک و مرطوب (مطالعه موردی شهر یزد و ساری). فصلنامه علمی- پژوهشی خشکبوم، جلد ۱، شماره ۲: ۶۱-۵۰.
- غلامی، ل. (۱۳۸۶). تهیه مدل برآورد تولید رسوب رگبارها در بخشی از حوزه آبخیز قشلاق استان کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس: ۵-۱۵.
- Babalola, O., Oshunsanya, K and Are, K. 2007. Effects of vetiver grass (*Vetiveria nigriflora*) strips, vetiver grass mulch and an organomineral fertilizer on soil, water and nutrient losses and maize (*Zea mays*, L) yields. *Soil & Tillage Research* 96, 6-18.
- Barling, R. D. 1994. Role of Buffer Strips in Management of Waterway Pollution: A Review. *Environmental Management*. 18(4), 543-558.
- Bhattarai, R., Kalita, P. K. and Patel, M. K. 2009. Nutrient transport through Vegetative Filter Strip with subsurface drainage. *Journal of Environmental Management* 90, 1868-1876.
- Borin, M., Passoni, M., Thiene, M. and Tempesta, T. 2010. Multiple functions of buffer strips in farming areas. *Europ. J. Agronomy*, 32: 103-111.
- Borina, M., Vianello, M., Moraria, F. and Zanin, G. 2005. Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North-East Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 105, 101-114.
- Bu, H., X. Tan, S. Li and Q. Zhang. 2010. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73: 907-913.
- Campo-Bescos, M. A., Munoz-Carpena, R., Kiker, G. A., Bodah, B. W. and Ullman, J. L. 2015. Watering or buffering? Runoff and sediment pollution control from furrow irrigated fields in arid environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 205: 90-101.
- Dabney, S.M. 2003. Erosion control, vegetative. *Encyclopaedia of Water Science*. Marcel Dekker, Madison Ave, New York, USA.
- Delgado, A. N, Periago, E. L. Viqueira, F. D. 1995. Vegetated filter strips for wastewater purification: a review. *Bioresource Technology*. 51, 13-22.
- Duchemin, M. and Hogue, R. 2009. Reduction in agricultural non-point source pollution in the first year following establishment of an integrated grass/tree filter strip system in southern Quebec (Canada). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131, 85-97.

- Dunn, A. M., Julien, G., Ernst, W. R., Cook, A., Doe, K. J. and Jackman, P. M. 2011. Evaluation of buffer zone effectiveness in mitigating the risks associated with agricultural runoff in Prince Edward Island. *Science of the Total Environment* 409: 868–882.
- Golabi, M. H., Iyekar, C., Minton, D., Raulerson, C. L. and Drake, J. C. 2005. Watershed Management to Meet Water Quality Standards by Using the Vetiver System in Southern Guam. *AU J.T.* 9(1): 63-70.
- Gvancheng, H. 2004. Consideration on the integrated watershed management in the western China. In the proceeding of Symposium on Hydropower and sustainable Development. 24-27.
- Hay, V., Pittroff, W., Tooman, E. E. and Meyer, D. 2006. Effectiveness of vegetative filter strips in attenuating nutrient and sediment runoff from irrigated pastures. *Journal of Agricultural Science.* 144, 349–360.
- Hellberg, C., Easton, H. R. and Davis, M. D. 2008. Integrated catchment management planning in Auckland, New Zealand - experiences and lessons learned. *World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua'a.*
- Hussein, J., Yu, B., Ghadiri, H and Rose, C. 2007. Prediction of surface flow hydrology and sediment retention upslope of a vetiver buffer strip. *Journal of Hydrology.* 338, 261– 272.
- Lam, Q. D., Schmalz, B., and Fohrer, N. 2011. The impact of agricultural Best Management Practices on water quality in a North German lowland catchment. *Environ Monit.* 183: 351–379.
- Lambrechts, T., Francois, S., Lutts, S., Munoz-Carpena, R. and Biielders, C. 2014. Impact of plant growth and morphology and of sediment concentration on sediment retention efficiency of vegetative filter strips: Flume experiments and VFSSMOD modeling. *Journal of Hydrology* 511: 800–810.
- Lee, K. H., Isenhardt, T. M., and Schultz, R. C. 2003. Sediment and nutrient removal in an established multi-species riparian buffer. *Journal of Soil and Water Conservation.* 58(1), 1-8.
- Lee, K-H., Isenhardt, T. M., Schultz, R. C. and Mickelson, K. S. 1999. Nutrient and sediment removal by switchgrass and cool-season filter strips in Central Iowa, USA. *Agroforestry Systems*, 44: 121-132.
- Mankin, K. R., Daniel, M. N., Charles J. B., Stacy L. H., and Wayne A.G. 2007. Grass-Shrub Riparian Buffer Removal of Sediment, Phosphorus, and Nitrogen from Simulated Runoff. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 43(5), 1108-1116.
- Milan, M., Ferrero, A., Letey, M., De Palo, F. and Vidotto, F. 2014. Effect of buffer strips and soil texture on runoff losses of flufenacet and isoxaflutole from maize fields. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 48: 1021–1033.
- Norris, V. 1993. The use of buffer zones to protect water quality: A review. *Wat. Resources Manage.* 7, 257-272.
- Osborne, L. L. and Kovacic, D. A. 1993. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *freshmler Biology* 29, 243-258.
- Otto, S., Cardinali, A., Marotta, E., Paradisi, C. and Zanin, G. 2012. Effect of vegetative filter strips on herbicide runoff under various types of rainfall. *Chemosphere* 88: 113–119.
- Patty, L., Real, B. and Gril, J. 1997. The Use of Grassed Buffer Strips to Remove Pesticides, Nitrate and Soluble Phosphorus Compounds from Runoff Water. *Pestic. Sci.*, 49: 243-251.
- Stutter, M., Langan, S. and Lumsdon, A. 2009. Vegetated buffer strips can lead to increased release of phosphorus to waters: A biogeochemical assessment of the mechanisms. *Environment Science Technology.* 43, 1858–1863.
- Wang, L., Duggin, J. and Nie, D. 2012. Nitrate-nitrogen reduction by established tree and pasture buffer strips associated with a cattle feedlot effluent disposal area near Armidale, NSW Australia. *Journal of Environmental Management*, 99: 1-9.
- Yuan, Y., Bingner, R. L. and Locke, M. A. 2009. A Review of effectiveness of vegetative buffers on sediment trapping in agricultural areas. *Journal of Ecohydrology.* 2: 321–33