نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره۴، سال ۱۳۹۷، صفحات ۶۴۱ تا ۶۵۴
DOI: 10.22060/ceej.2017.12803.5274

بررسی وضعیت خروجی فسفر از حوضه‌های مختلف در استان گیلان

حسین اسدی[1*]، وحید لطیفی[2]، عیسی ابراهیمی[2]

[1] دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه تهران، تهران، ایران
[2] گروه خاکشناسی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

چکیده: فسفر از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان و از آلاینده‌های مهم با منشاء غیرنقطه‌ای است که از مناطق مسکونی، صنعتی، زمین‌های کشاورزی و رواناب‌های شهری سرچشمه می‌گیرد. فسفر در اثر فرسایش و حرکت رواناب از حوضه‌ها خارج شده و وارد منابع آب می‌شود. در این پژوهش، خروج فسفر از حوضه‌های با کاربری متفاوت در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. حوضه‌ها شامل دیوشل، کمسار، جوکلبندان، سراوان و سنگر بودند. نمونه‌برداری از رواناب حوضه‌ها طی یک سال (به صورت ماهانه) از نقطه خروجی آن‌ها صورت گرفت. مقدار EC و pH، مواد جامد کل، محلول و معلق به روش وزنی و سه نوع فسفر کل، فسفر محلول و فسفر همراه ذرات اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین هدر رفت فسفر کل در بهمن ماه (۰/۲۲۸ میلی گرم بر لیتر) در حوضه سنگر با عمده کاربری جنگل و زراعی رخ داده است. تغییرات فسفر در حوضه‌ها وابسته به میزان بارندگی ماهانه است و با افزایش میزان بارندگی مقدار خروجی فسفر افزایش می‌یابد. بیش‌ترین میانگین فسفر محلول خارج شده از حوضه‌ها مربوط به جوکلبندان با کاربری غالب جنگل (۰/۳۶ میلی گرم بر لیتر) و سراوان با کاربری جنگل و فعالیت‌های صنعتی (۰/۳۳ میلی گرم بر لیتر) است. همچنین بیش‌ترین هدررفت فسفر همراه ذرات نیز در اردیبهشت در حوضه سنگر (۰/۱۹۲ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد. میزان فسفر خروجی از این حوضه‌ها به اندازه‌ای می‌باشد که بتواند باعث پدیده غنی‌شدن منابع آبی و در نتیجه سبب کاهش کیفیت آنها شود.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۲ اردیبهشت ۱۳۹۶
بازنگری: ۲۷ مرداد ۱۳۹۶
پذیرش: ۱۲ شهریور ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۱۱ مهر ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:
رواناب
ضریب گراولیوس
فرسایش
مواد جامد
فسفر محلول

۱- مقدمه

فرسایش خاک یکی مهم‌ترین مشکل‌ها در تخریب اراضی جهان است و اثرهای بسیار جدی بر روی بقای بشر، محیط زیست و مسایل اقتصادی دارد [۳-۱]. در اثر فرسایش آبی ذرات خاک جدا و به مکان دیگری منتقل شده و در نهایت ته‌نشین می‌شوند. بسیاری از مواد غذایی نیز با این ذرات منتقل شده و باعث کاهش کیفیت آب‌های موجود در منطقه می‌گردند. فرسایش خاک تأثیر قابل توجهی بر کیفیت آب دارد. افزایش سطح مواد غذایی (نیتروژن و فسفر) هنگامی‌که بار رسوبات زیاد می‌شود کیفیت آب را کاهش می‌دهد. نیتروژن و فسفر در اثر فرسایش و رواناب از خاک خارج شده و وارد جریان‌های سطحی می‌شوند [۴]. کیفیت آب‌های سطحی توسط عوامل زیادی تحت تأثیر قرار می‌گیرد که بسیاری از این عوامل مانند ترکیبات شیمیایی، مواد غذایی و عوامل زیستی به راحتی قابل مشاهده نمی‌باشند [۵]. فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است و مهم‌ترین عنصر محدودکننده رشد گیاهان آبی است. فسفر یکی از آلاینده‌های مهم با منشاء غیرنقطه‌ای است که از مناطق مسکونی و صنعتی، زمین‌های کشاورزی و رواناب‌های شهری سرچشمه می‌گیرد [۶]. سطح آلایندگی فسفر در آب با توجه به منشاء آن متفاوت است و حد بحرانی آلایندگی در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد [۷].

مقدار مصرف فسفر به صورت کود در کشاورزی مدرن امروزه نسبت به دهه شصت میلادی دو برابر شده است، در حالی که در ده سال گذشته کم‌تر از دو میلیون تن فسفر در سال تثبیت شده است [۸]. در حقیقت ورودی فسفر بیش‌تر از مقدار جذب آن توسط گیاه است [۹ و ۱۰]. به دلیل کاربرد زیاد کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی و جذب آن‌ها بر روی ذرات خاک رواناب خروجی از این زمین‌ها حاوی ذرات سرشار از فسفر می‌باشند [۱۱]. در اثر فرسایش ذرات سیلت و شن ریز، اجزای رس و خاکدانه جدا شده و توسط رواناب منتقل می‌شوند و همراه خود مقدار زیادی مواد غذایی نیز حمل می‌کنند [۱۴-۱۲]. انتقال رسوبات وابستگی شدیدی به سرعت و تنش برشی جریان و نیز پایداری خاکدانه‌ها دارد. برای مثال، مقدار رسوبی که از مناطق کشاورزی خارج می‌شود با رسوبی که از یک منطقه جنگلی خارج می‌شود، متفاوت است [۱۵]. مقدار زیاد رسوبات در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها زندگی گیاهان آبی را مختل می‌کند و باعث کاهش فتوسنتز می‌گردد، همچنین این آلودگی باعث مرگ موجودات آبزی می‌شود [۱۶].

ازعوامل تاثیرگذار بر روی انتقال فسفر از خاک به داخل آب می‌توان به هیدرولوژی، نوع خاک و مدیریت اراضی اشاره کرد [۱۷]. استاتر[1] و همکاران [۱۸] شان دادند که کاربری اراضی تاثیر بسیار مهمی بر مقدار فسفر در آبخیز دارد. به طور کلی، انتقال فسفر از خاک به جریان به چهار روش انجام

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ho.asadi@ut.ac.ir

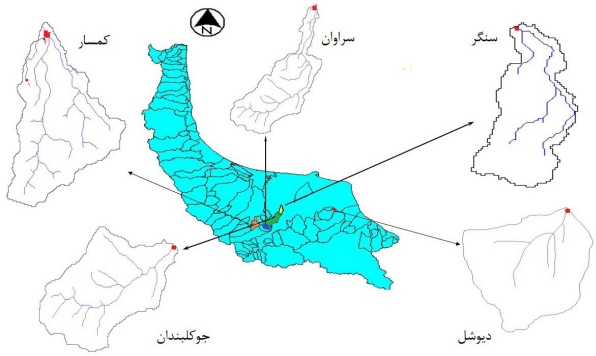
1 Stutter

می‌گیرد: ۱) جریان‌های سطحی ناشی از اشباع خاک، ۲) جریان ناشی از نفوذ زیاد، ۳) جریان‌های کم عمق زیرسطحی، ۴) انتقال با جریان آب زیرزمینی. در حوضه‌های آبخیز معمولاً انتقال فسفر توسط جریان‌های سطحی ناشی از اشباع زیاد خاک صورت می‌گیرد [۱۹]. تشکیل رواناب سطحی به شدت و مدت بارندگی و نیز درجه اشباع (رطوبت اولیه) خاک بستگی دارد [۱۹]. شدت انتقال فسفر به غلظت فسفر خاک، مقدار مواد آلی و ظرفیت جذب خاک وابسته است [۲۰]. تخمین دقیق و صحیح خروج رسوبات و مواد غذایی به دلیل داشتن تغییرات زمانی و مکانی بسیار مشکل است [۲۱]. افزایش فسفر به سامانه‌های آبی باعث زیاد شدن بیش از حد جمعیت جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها شده که نتیجه آن تخریب محیط خواهد بود [۲۲]. در سامانه آب‌های تازه، فسفر یک ماده غذایی برای رشد جلبک‌ها به شمار می‌رود [۲۳]. بنابراین غلظت زیاد فسفر در آب‌های سطحی منجر به ایجاد پدیده یوتریفیکاسیون یا غنی‌شدن می‌گردد؛ که نتیجه آن رشد نامناسب جلبک‌ها می‌باشد که استفاده از آب را برای مصارف صنعتی، مصرف خانگی و غیره دچار محدودیت می‌کند [۱۶]. مهم‌ترین عامل ایجاد پدیده غنی‌شدن، ورود مقدار زیادی مواد غذایی به درون آب است که باعث عدم تعادل در بافت غذایی شده و نیز مقدار زیست‌توده فیتوپلانکتون را بسیار افزایش می‌دهد،که این امر در نهایت به رشدجلبک‌ها منجر می‌گردد. نتیجه مستقیم افزایش زیست‌توده، مصرف زیاد اکسیژن در زیر آب و مرگ جاندارن آبزی است [۶]. نوع کاربری اراضی تاثیر بسیار مهمی بر روی فرایندهای هدررفت خاک و به دنبال آن هدررفت فسفر در خاک دارد. تا کنون مطالعه جامع در مورد نقش کاربری‌های مختلف اراضی بر شکل‌های خروجی فسفر و بررسی تغییرات زمانی خروجی فسفر و مواد جامد صورت نگرفته است، بنابراین هدف از این پژوهش ۱) بررسی مقدار و ریخت فسفر خروجی از زیرحوضه‌های سنگر، سراوان و جوکلبندان وحوضه‌های دیوشل و کمسار در استان گیلان و ۲) بررسی اثر تغییرات ماهانه بر مقدارخروجی فسفر و در نهایت ۳) بررسی تاثیر کاربری حوضه‌های مورد مطالعه بر مقدار و ریخت مواد جامد خروجی از این حوضه‌ها می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲- ۱- مشخصات مناطق مورد مطالعه:

این پژوهش در استان گیلان واقع در شمال ایران و حاشیه جنوبی دریای خزر انجام شد. استان گیلان دارای میانگین دمای سالانه معادل ۸/۱۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۸۰ درصد و میانگین بارندگی سالانه ۱۵۰۶ میلی‌متر می‌باشد. به منظور دست‌یابی به اهداف تحقیق، با بررسی نقشه‌ها و اطلاعات موجود و بازدیدهای صحرایی تعداد پنج زیر حوضه با کاربری غالب متفاوت انتخاب شد. این زیرحوضه‌ها شامل سراوان، جوکلبندان، سنگر و حوضه‌های دیوشل و کمسار می‌باشد (شکل ۱). زیرحوضه سنگر بین عرض جغرافیایی "۳۴′۱۲°۳۷ تا "۱۹′۰۸°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۲۴′۳۸°۴۹ تا "۵۲′۴۰°۴۹ شرقی، قرار دارد و یکی از سرشاخه‌های فرعی رودخانه سیاهرود است. خروجی این حوضه دارای عرض جغرافیایی "۲۷′۱۲°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۳۱′۳۸°۴۹ شرقی می‌باشد. زیرحوضه جوکلبندان بین عرض جغرافیایی "۰۷′۰۷°۳۷ تا "۳۲′۰۲°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۴۳′۳۱°۴۹ تا "۴۰′۳۸°۴۹ شرقی، قرار دارد. خروجی زیرحوضه جوکلبندان دارای عرض جغرافیایی "۲۱′۰۶°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۳۱′۳۸°۴۹ شرقی می‌باشد. زیرحوضه سراوان بین عرض جغرافیایی "۱۲′۲۷°۳۷ تا "۳۷′۰۲°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۳۷′۳۱°۴۹ تا "۵۷′۳۹°۴۹ شرقی، قرار دارد. خروجی زیرحوضه سراوان دارای عرض جغرافیایی "۵۶′۱۱°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۲۲′۳۹°۴۹ شرقی می‌باشد. حوضه‌ی آبخیز دیوشل بین عرض جغرافیایی "۲۲′۰۹°۳۷ تا "۳۵′۱۰°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۵۶′۰۶°۵۰ تا "۳۱′۰۵°۵۰ شرقی، در شرق استان گیلان و بین دو شهر لاهیجان و لنگرود قرار دارد. خروجی حوضه دارای عرض جغرافیایی"۲۵′۱۰°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۳۹′۰۶°۵۰ شرقی می‌باشد. حوضه‌ی آبخیز کمسار بین عرض جغرافیایی"۱۴′۰۱°۳۷ تا "۵۴′۰۸°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی"۱۰′۳۲°۴۹ تا "۱۵′۲۵°۴۹ شرقی، قرار داشته و یکی از زیر حوضه‌های، حوضه‌ی پسیخان رود می‌باشد. نقطه خروجی حوضه کمسار دارای عرض جغرافیایی "۲۰′۰۸°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی"۳۹′۲۷°۴۹ شرقی می‌باشد.



شکل ۱ : موقعیت حوضه‌های مورد مطالعه و محل نمونه برداری از هر حوضه

Fig. 1. The location of the watersheds studied and the sampling site from each basin

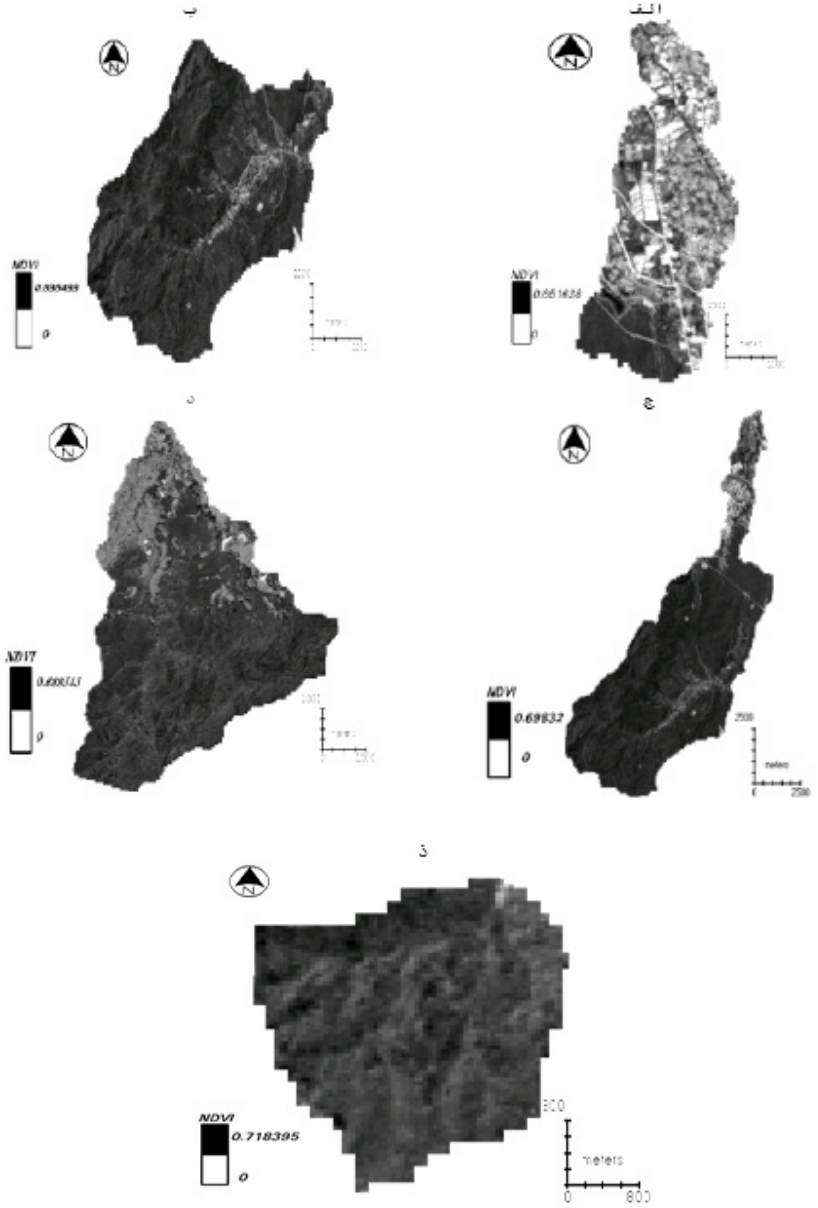
برای تهیه نقشه توپوگرافی حوضه‌ها از نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۹۰ متری استان استفاده شد. در این راستا از نرم‌افزار WMS استفاده شد، سپس بر اساس محدوده مشخص شده حوضه‌ها، نقشه توپوگرافی تهیه گردید و مشخصات حوضه از آن استخراج شد. در شکل ۲ نقشه پوشش گیاهی مناطق مورد مطالعه آمده است. برای تهیه نقشه نمایه گیاهی[1]، ابتدا از سایت Glovis[2] تصویر ماهواره‌ای لندست[3] ماه آگوست سال

1 NDVI
2 http://glovis.usgs.gov
3 Landsat

۲۰۱۰ استان گیلان در ۷ باند مجزا بارگذاری شد. در نرم‌افزار ERDAS این باندها با یکدیگر ترکیب گشته و تصویر ماهواره‌ای کامل استان به‌دست آمد. تصویر به‌دست آمده زمین‌مرجع گشته و در نرم‌افزار ERDAS تصویر ماهواره‌ای لندست حوضه‌ها با ترکیب باندی ۱، ۲، ۳ و ۴ تولید گردید و نقشه نمایه گیاهی به‌دست آمد که یک تصویر تک باندی می‌باشد. نقشه کاربری اراضی به‌صورت نظارت شده تهیه شد. برای تعیین درصد هر کاربری در هر حوضه تعداد پیکسل‌های آن بخش به تعداد کل پیکسل‌ها تقسیم و در صد ضرب شد.

۲- ۲- نمونه‌برداری از آب و تجزیه آن

نمونه‌برداری از آب رودخانه‌های اصلی زیرحوضه‌ها به طور ماهانه و در آخر هر ماه در طول دوازده ماه انجام گرفت (به استثنای زیرحوضه سنگر که در ماه‌های مهر و آبان اندازه‌گیری صورت نگرفته است). نمونه‌های جمع‌آوری شده در ظرف‌های پلی اتیلن و در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری و سپس به آزمایشگاه انتقال داده شدند.



شکل ۲ : نقشه پوشش گیاهی حوضه الف) سنگر، ب) جوکلبندان، ج) سراوان، د)کمسار و ذ) دیوشل

Fig. 2. watershed vegetation map a) Sangar, b) Jokolbandan, c) Saravan, d) Komsar and e) Divshel

۲- ۳- اندازه‌گیری شکل‌های فسفر

فسفر به شکل‌های مختلفی در طبیعت وجود دارد ولی فقط شکل‌های فسفات PO_4^{3-} و ارتوفسفات H_2PO^{4-} و HPO_4^{2-} آن قابل اندازه‌گیری است، از این رو باید فسفر موجود در نمونه‌ها را به شکل فسفات و ارتوفسفات تبدیل کرد تا قابل اندازه‌گیری شود. به این منظور نمونه‌ها را باید ابتدا هضم کرد که برای هضم از روش اسید پرسولفات پتاسیم استفاده شد. بعد از هضم، میزان فسفر با روش اسید آسکوربیک تعیین شد [۲۴].

$$Total\ P\ (mgP/lit) = \frac{mgP_{from\ the\ calibration\ curve} \times 1000}{ml\ sample} \qquad (۱)$$

اندازه‌گیری فسفر محلول مانند فسفر کل است با این تفاوت که قبل از هضم کردن نمونه‌ها باید آن‌ها را با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۴ فیلتر کرد. لازم به ذکر است که باید نمونه‌ها را از سه لایه فیلتر کاغذی عبور داد [۲۴]. فسفر همراه (پیوندخورده به) ذرات[1] از اختلاف بین فسفر کل و فسفر محلول به‌دست آمد.

۲- ۴- اندازه‌گیری کل مواد جامد، کل مواد جامد معلق و کل مواد جامد محلول

برای تعیین کل مواد جامد درون نمونه‌های آب، حجم معینی از نمونه (معمولاً ۱۰ تا ۲۰۰ میلی‌لیتر) را درون بشر ریخته و در آون با دمای ۱۰۵°C قرار داده شد. پس آن را وزن می‌شود. برای تعیین کل مواد جامد محلول ابتدا با سه لایه فیلتر کاغذی واتمن شماره ۴۲ نمونه‌ها را فیلتر کرده سپس از نمونه‌های فیلتر شده حجم معینی (معمولاً ۱۰ تا ۲۰۰ میلی‌لیتر) را درون بشر ریخته و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. سپس آن را وزن کرده و از راه رابطه ۲ مقدار کل مواد جامد را بدست می‌آید:

$$Total\ Dissolved\ Solids(mg/lit) = \frac{(A-B)\times 1000}{ml\ Sample} \qquad (۲)$$

کل مواد جامد معلق از تفاضل کل مواد جامد و کل مواد جامد محلول به‌دست می‌آید [۲۶]. پس از مشخص شدن محدوده حوضه‌ها ضریب گردی یا ضریب گراولیوس آن‌ها با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌گردید.

$$C = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \qquad (۳)$$

که در رابطه ۳، C: ضریب گردی یا ضریب گراولیوس، P: محیط حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر، A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع. همچنین pH و EC در نمونه‌ها روانآب اندازه‌گیری شد.

۲- ۵- ویژگی حوضه‌های مورد مطالعه

در جدول ۱ میزان بارندگی ماهانه به تفکیک هر حوضه آمده است. مشاهده می‌شود که بیش‌ترین بارندگی در سال در منطقه کمسار رخ داده است و بین دیوشل و سراوان اختلافی از نظر میانگین بارندگی سالانه وجود ندارد. مشخصات کلی حوضه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. اگر حوضه دایره باشد ضریب گراولیوس برابر با یک است در غیر این صورت این ضریب بزرگ‌تر از یک خواهد بود. هرچه این شاخص بزرگ‌تر از یک باشد ریخت حوضه آبخیز کشیده‌تر خواهد بود. بزرگ‌بودن ضریب گراولیوس زیرحوضه سراوان و جوکلبندان بیانگر این است که حوضه‌ها کشیده می‌باشند (سراوان دارای طول ۲۰/۲ کیلومتر می‌باشد). بر مبنای ضریب گراولیوس، حوضه کمسار و دیوشل تقریباً گرد می‌باشند. حوضه دیوشل با مساحتی برابر با ۳/۳ کیلومتر مربع دارای کم‌ترین مساحت در بین مناطق مورد بررسی است. نقشه توپوگرافی و پراکندگی رودخانه‌های این حوضه‌ها نیز در شکل ۳ آمده است. در جدول ۳ نیز درصد کاربری‌های مختلف هر حوضه ارائه شده است. زیرحوضه سراوان در بالادست دارای پوشش جنگلی بوده و در پایین‌دست وارد منطقه شهری و صنعتی می‌شود. البته در قسمت جنگلی نیز اتوبان قرار داشته و قسمتی از این منطقه محل دفن زباله‌های شهری می‌باشد [۲۶]. کاربری چای‌کاری و مرکبات نیز فقط در حوضه دیوشل دیده می‌شود.

جدول ۱ : میزان بارندگی ماهانه (میلی‌متر) مناطق مورد مطالعه

Table 1. Monthly rainfall (mm) of studied areas

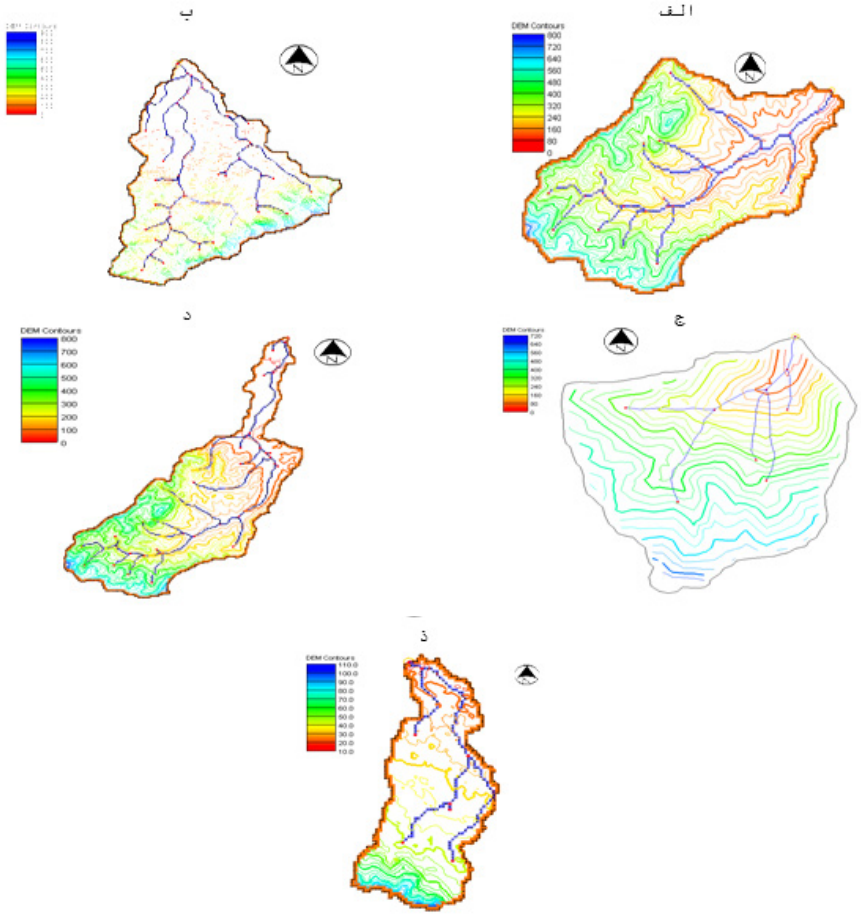
	سنگر	جوکلبندان	سراوان	کمسار	دیوشل
مهر	-	۱۰۰	۱۴۲	۱۲۱	۲۱۹
آبان	-	۱۶۴	۱۷۰	۱۳۷	۱۴۳
آذر	۰	۰	۰	۰	۰
دی	۲۰۲	۱۷۰	۱۸۶	۲۳۳	۱۴۵
بهمن	۱۸۳	۱۰۴	۱۴۶	۶۶	۱۶۶
اسفند	۱۸۱	۱۴۸	۱۶۷	۱۴۱	۱۶۰
فروردین	۳۴	۴۲	۳۹	۳۰	۴۵
اردیبهشت	۵۵	۷۲	۶۲	۵۷	۵۴
خرداد	۱۳	۲۰	۱۶	۹۴	۵
تیر	۲۶	۰	۱۴	۳۷۶	۶۷
مرداد	۱۰۰	۱۱۵	۱۰۹	۱۳۹	۶۰
شهریور	۲۷۸	-	۲۷۹	۲۱۸	۲۷۴
سالانه	۱۰۷	۸۵	۱۱۱	۱۳۴	۱۱۱

1 Particulate phosphorous

جدول ۲ : مشخصات حوضه‌های مورد مطالعه

Table 2. Characteristics of studied watersheds

	مساحت (km^2)	محیط (km)	طول آبراهه‌ی‌اصلی (km)	شیب متوسط حوضه ($m.m^{-1}$)	میانگین‌ارتفاع (m)	طول‌حوضه (km)	ضریب گراولیوس
سنگر	۱۵/۹	۲۶/۲۹	۸/۰۸	۰/۰۱	۳۹/۷۷	۷/۶۷	۱/۸۴
جوکلبندان	۵۰/۹	۴۰/۹۸	۱۲/۶۴	۰/۲۱	۲۹۸/۸۷	۱۱/۴۳	۱/۶۱
سراوان	۸۲/۷	۶۸/۸۹	۲۵/۵۴	۰/۱۶	۲۲۴/۱۶	۲۰/۲۰	۲/۱۲
کمسار	۷۶	۵۳/۶۹	۱۵/۲۳	۰/۲۱	۲۰۶/۰۹	۱۴/۲۰	۱/۷۲
دیوشل	۳/۳	۹/۲۱	۱۰۳۷/۹۰	۰/۳۵	۳۴۵/۵۴	۲/۵۳	۱/۴۲



شکل ۳ : نقشه توپوگرافی و پراکندگی رودخانه‌های حوضه الف) جوکلبندان، ب) کمسار ج) دیوشل د) سراوان ذ) سنگر

Fig. 3. Fig. 3. Topographic Map and Scattering of River watershed a) Jokolbandan, b) Komsar, c) Divshel, d) Saravan, e) Sangar

جدول ۳: درصد کاربری اراضی موجود در هر حوضه

Table 3. Percentage of land use in each watersheds

	جنگل	زراعی	شهری و روستای	صنعتی	چای-کاری	مرکبات
جوکلبندان	۹۲/۴۷	-	۷/۵۳	-	-	-
سنگر	۶۰	۳۱/۴۵	۸/۵۵	-	-	-
سراوان	۷۷/۵۰	۱۰/۷۰	۱۰/۳۸	۱/۴۲	-	-
کمسار	۶۹/۲۴	۱۳/۵۰	۱۷/۲۶	-	-	-
دیوشل	-	-	-	-	۷۵/۵۹	۲۴/۴۱

۳- نتایج و بحث

۳- ۱- ویژگی‌های کیفی آب حوضه‌ها

نتایج pH و EC نمونه‌های برداشته شده از حوضه‌ها در جدول ۴ آمده است. با توجه به جدول ۴، بیش‌ترین مقدار EC را در دو ماه تیر و مرداد زیرحوضه سنگر که بارندگی کم است، مشاهده می‌شود. در اثر بارندگی هنگامی که فرسایش وجود نداشته باشد، باران باعث افزایش رقت آب رودخانه‌ها شده و مقدار EC را کاهش می‌دهد [۲۷]. نتایج مقایسه میانگین EC نشان می‌دهد که حوضه دیوشل با دیگر حوضه‌ها دارای اختلاف معنی‌داری است. اما حوضه‌های کمسار، جوکلبندان و سراوان دارای اختلاف معنی‌داری در EC نبوده‌اند. همچنین حوضه سنگر با میانگین سالانه ۶۴/۲ $\mu S.m^{-1}$ نیز با سایر حوضه‌ها تفاوت چشمگیری دارد. کم‌ترین مقدار EC به‌دست آمده در بین حوضه‌ها مربوط به بهمن ماه در حوضه دیوشل بوده است ($\mu 17/0 S.m^{-1}$) که فاقد کاربری زراعی و شهری است و عمدتا تحت کشت چای و مرکبات می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین انحراف استاندارد به‌دست آمده به ترتیب برای حوضه‌های کمسار (۰/۹۹) و دیوشل (۰/۰۶) می‌باشند. همچنین کم‌ترین ضریب تغییرات (۲۵/۲٪) به‌دست آمده نیز مربوط به حوضه دیوشل است. به طورکلی نتایج نشان داده که در حوضه دیوشل، تغییرات ماهانه EC اندک بوده و تاثیرپذیری کم‌تری از زمان دارد. بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که دامنه تغییرات pH در حوضه کمسار بین ۶/۵ تا ۷/۵ می‌باشد. میانگین سالانه pH در حوضه کمسار (۷/۲۸) نسبت به سایر حوضه به نسبتا ناچیزی بیش‌تر است، اما بیش‌ترین مقدار pH به‌دست آمده از این حوضه در تیرماه برابر با ۷/۲۶ بوده است. کم‌ترین میانگین سالانه pH نیز مربوط به حوضه سراوان با میانگین ۶/۷۵ اندازه‌گیری شده است، این حوضه دارای بیش‌ترین تنوع کاربری (جنگل، زراعی، شهری-روستایی و صنعتی) است. نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که حوضه سراوان با حوضه‌های سنگر، دیوشل و کمسار اختلاف چشمگیری دارد اما با حوضه جوکلبندان این اختلاف معنی‌دار نیست. همچنین اختلاف معنی‌داری بین pH حوضه‌های دیوشل، سنگر و کمسار مشاهده نشد. بیش‌ترین و کم‌ترین ضریب تغییرات pH به‌دست آمده به ترتیب برای حوضه‌های دیوشل (۲/۰۲٪) و سراوان (۱۲/۳۹٪) می‌باشد.

۳- ۲- مواد جامد خارج شده از حوضه‌ها

در شکل ۴ میزان خروجی ماهانه مواد جامد کل، محلول و معلق در حوضه‌ها آمده است. با مقایسه میانگین سالانه مواد جامد کل خروجی از حوضه‌ها مشاهده می‌شود که حوضه دیوشل از دیگر حوضه‌ها دارای میانگین سالانه کم‌تری است، علت این موضوع را باید کاربری عمده این حوضه که چای‌کاری و باغ‌های مرکبات است، نسبت داد. همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود، حوضه جوکلبندان دارای بیش‌ترین درصد کاربری جنگل (۹۲/۴۷٪) و حوضه دیوشل بدون کاربری جنگل هستند. بخش عمده حوضه دیوشل تحت کشت چای است. مقایسه این دو کاربری نشان می‌دهد که کاربری جنگل مواد جامد خروجی بیش‌تری نسبت به کاربری چای دارد. یکی از علت‌های این مسئله را شاید بتوان به ارتفاع پوشش گیاهی در این دو کاربری نسبت داد. ارتفاع درختان جنگلی بیش‌تر بوده و سطح پوشش دهنده در آنها نیز کمتر از اراضی تحت کشت چای است. بنابراین فرسایش خاک منطقه بیش‌تر خواهد شد و مقدار خروجی مواد از حوضه نیز افزایش خواهد یافت. علت دیگر این مسئله را باید به مساحت این دو حوضه ارتباط داد. مک دوول[1] و همکاران [۱۵] بیان کردند که جابجایی ذرات خاک ارتباط زیادی به سرعت، تنش برشی جریان و پایداری خاکدانه دارد. برای مثال مقدار رسوبی که از مناطق کشاورزی خارج می‌شود با رسوبی که از یک منطقه جنگلی خارج می‌شود متفاوت است. نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین مواد جامد کل حوضه‌ها نشان داد که بین حوضه‌های دیوشل و سنگر اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. همچنین اختلاف بین دیوشل و سراوان نیز معنی‌دار بوده است. یکی از دلایل تفاوت بین دو منطقه دیوشل و سراوان کاربری‌های مختلفی است که در این دو منطقه وجود دارد. به این‌صورت که دیوشل دارای کاربری‌های چای و مرکبات است که سطح پوشیده شده از زمین بسیار بیش‌تر از سراوان است، بنابراین برخورد مستقیم

1 McDowell

قطرات باران بر روی سطح این حوضه به طور چشم‌گیری کاهش یافته و رواناب کمتری نیز تولید خواهد کرد، که در نهایت موجب کاهش خروج مواد جامد از حوضه شده است. با بررسی اثر زمان بر تغییرات مواد جامد خروجی از حوضه دیوشل مشاهده می‌شود در سه ماه دی، بهمن و اسفند که بارندگی زیاد بوده و پوشش سطح زمین کاهش یافته است، خروج مواد افزایش یافته است. بی‌گمان بخشی از تفاوت بین حوضه‌ها نیز به عواملی چون تفاوت در توپوگرافی آنها بر می‌گردد.

جدول ۴ : مقدار pH و EC ($\mu S.m^{-1}$) ماهانه در حوضه‌های مختلف

Table 4. Value pH and EC ($\mu S.m^{-1}$) monthly in different watersheds

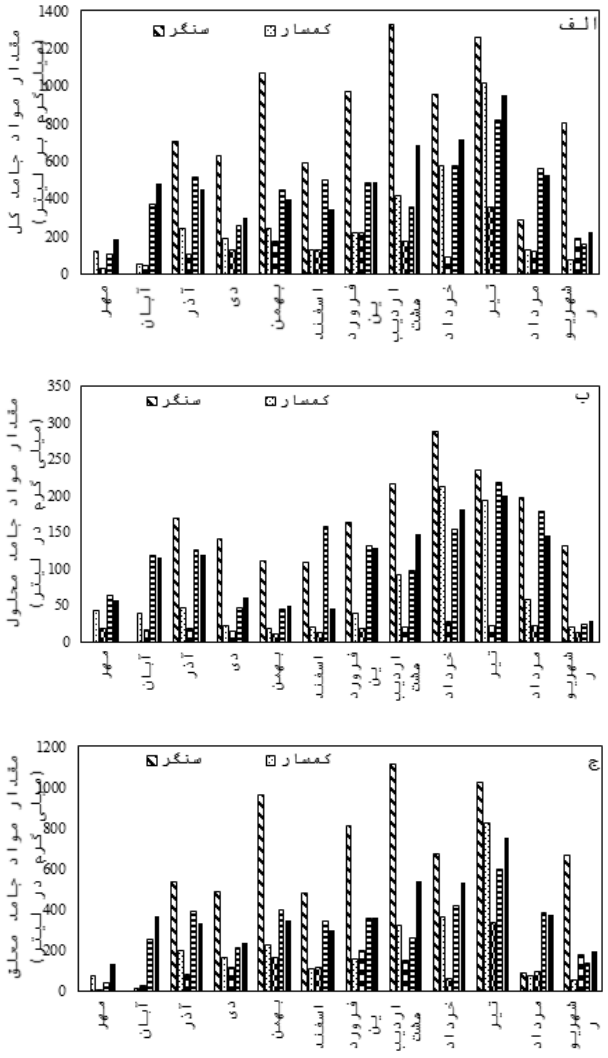
		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
جوکلبندان	pH	۶/۴۱	۷/۴۰	۷/۴۵	۶/۸۹	۷/۱۲	۶/۷۵	۷/۲۲	۶/۸۴	۶/۹۰	۷/۳۴	۷/۲۰	۷/۱۴
	EC	۰/۹۵	۱/۷۵	۱/۸۷	۰/۶۸	۰/۶۵	۲/۳۶	۱/۹۵	۱/۴۴	۲/۳۰	۳/۲۴	۲/۶۵	۰/۳۸
سنگر	pH	–	–	۶/۹۲	۷/۰۸	۷/۱۸	۷/۰۸	۷/۴۴	۷/۱۳	۷/۲۷	۷/۴۴	۷/۲۷	۷/۹۴
	EC	–	–	۲/۵۲	۲/۱۱	۱/۶۵	۱/۶۱	۲/۴۴	۳/۲۳	۴/۳۰	۳/۵۱	۲/۹۳	۲/۱۳
سراوان	pH	۶/۲۱	۷/۰۸	۷/۱۰	۷/۳۰	۷/۴۰	۶/۵۳	۷/۰۹	۶/۹۱	۶/۹۴	۷/۳۲	۷/۱۰	۷/۰۴
	EC	۰/۸۴	۱/۷۰	۱/۷۸	۰/۹۱	۰/۷۲	۰/۶۶	۱/۹۱	۲/۱۹	۲/۷۱	۲/۹۷	۲/۱۷	۰/۴۵
دیوشل	pH	۶/۹۶	۷/۲۱	۷/۱۲	۷/۵۰	۷/۳۶	۷/۱۳	۷/۲۲	۷/۳۲	۷/۳۷	۷/۱۸	۷/۳۲	۷/۳۸
	EC	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۲۹۹	۰/۴۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۹
کمسار	pH	۶/۹۴	۷/۲۷	۷/۰۶	۶/۹۷	۷/۶۱	۷/۲۷	۷/۲۵	۷/۲۲	۷/۵۸	۷/۶۲	۷/۲۸	۷/۳۰
	EC	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۶۹	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۵۷	۱/۳۸	۳/۱۷	۲/۸۸	۰/۸۶	۰/۳۲

مقایسه میانگین مقدار مواد جامد محلول نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین حوضه‌های کمسار با حوضه‌های دیوشل و سنگر وجود دارد اما با سایر حوضه‌ها جوکلبندان، سراوان این اختلاف معنی‌دار نیست. همچنین مقدار مواد جامد محلول خارج شده از حوضه سنگر نیز با دیگر حوضه‌ها اختلاف معنی‌داری را داشته است. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول به ترتیب مربوط به حوضه دیوشل در ماه بهمن (۱۱/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر) و حوضه سنگر در خرداد ماه (۲۸۸/۱ میلی‌گرم بر لیتر) به‌دست آمده است. در حوضه سراوان نیز تنوع کاربری زیاد است بین فصول زمستان (میانگین سه ماهه ۵۱/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر) و بهار (۱۵۲/۲۸ میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری در مواد جامد محلول مشاهده شده است. فصل زمستان به دلیل بارندگی زیاد و نبود پوشش گیاهی مناسب شرایط برای رخداد فرسایش مناسب است از این رو با مقایسه خروج مواد جامد محلول در این فصل نشان داده می‌شود که بین حوضه سنگر با حوضه‌های کمسار، دیوشل و سراوان اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین حوضه جوکلبندان نیز با حوضه‌های دیوشل و کمسار دارای اختلاف معنی‌داری در خروج مواد جامد محلول است. نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین مواد جامد محلول در سه ماهه زمستان نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین حوضه‌های جوکلبندان و سراوان وجود ندارد. چرا که این دو حوضه دارای بیش‌ترین درصد کاربری جنگل هستند. به طور کلی نتایج مقایسه میانگین نشان داد حوضه‌های که دارای کاربری نسبتا نزدیکی هستند اختلاف زیادی در خروج مواد جامد ندارند. بیش‌ترین ضریب تغییرات در طول سال برای مواد جامد معلق (۱۹۰/۶۱٪) و کل (۱۶۶/۲۵٪) در حوضه جوکلبندان مشاهده شده است. همچنین کم‌ترین ضریب تغییرات نیز در مواد جامد محلول در حوضه دیوشل (۲۵/۸۵٪) به‌دست آمده است.

با توجه به نتایج شکل ۴ در حوضه سنگر مشخص می‌شود در فصل زمستان به دلیل بارندگی زیاد و اثر رقت کم‌ترین مقدار کل مواد جامد محلول بوده است و در فصل بهار و اوایل تابستان به دلیل تبخیر زیاد مقدار کل مواد جامد محلول افزایش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه زهکش‌های زیادی به رودخانه اصلی این حوضه وارد می‌شود، مقدار مواد معلق در این حوضه بالا می‌باشد. در ماه‌های کم باران با کاهش حجم آب مقدار غلظت رسوبات افزایش یافته و در نتیجه مقدار مواد معلق جامد افزایش می‌یابد. در حوضه سنگر که بیش‌ترین درصد کاربری زراعی را دارد، در فصل بهار بیش‌ترین مقدار مواد جام کل، محلول و معلق خروجی از حوضه به‌دست دیده شد (به ترتیب ۱۰۸۵/۷۱، ۲۲۲/۶۶، ۸۶۳/۰۵ میلی گرم بر لیتر).

در زیرحوضه جوکلبندان، روند تغییرات کل مواد جامد محلول مشابه روند تغییرات EC است و با افزایش بارندگی از مقدار آن کاسته می‌شود به شرطی که بارندگی باعث فرسایش نشود. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، بیش‌ترین مقدار مواد جامد کل را در فصل تابستان وجود دارد، البته با افزایش بارندگی از تیر ماه تا شهریور، مقدار آن کاهش می‌یابد. ولی روند تغییرات در

زمستان بر عکس است، یعنی با افزایش بارندگی مقدار مواد جامد کل و مواد جامد محلول افزایش می‌یابد، چون در فصل زمستان سطح زمین عاری از پوشش گیاهی بوده و فرسایش بیش‌تر است. همچنین با توجه به نتایج شکل ۴، در تمام ماه‌ها میزان مواد جامد معلق از مواد جامد محلول بیش‌تر است. در حوضه دیوشل که ترکیبی از باغ‌های چای و مرکبات است، بین فصول پاییز و تابستان مواد جامد کل، محلول و معلق خروجی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به منظور مقایسه بار آلودگی رواناب در مناطق شهری، کشاورزی و روستایی سازمان حفاظت محیط زیست امریکا [۲۸] پژوهشی انجام داد و به این نتیجه رسیدند که مقدار مواد معلق جامد و نیتروژن در رواناب‌های شهری بیش‌تر از رواناب‌های کشاورزی است.



شکل ۴ : تغییرات ماهانه الف) مواد جامد کل، ب) مواد جامد محلول، ج) مواد جامد معلق در حوضه‌های مختلف

Fig. 4. Monthly changes in A) total solids, B) dissolved solids, and C) suspended solids out flow from different watersheds

۳- ۳- مقدار هدر رفت فسفر در حوضه‌کمسار

در شکل ۵-الف تغییرات فسفر در ماه‌های مختلف آمده است. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار فسفر کل خروجی از حوضه کمسار مربوط به ماه بهمن (۰/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. انحراف استاندارد به‌دست آمده از این حوضه برابر با ۰/۰۲۷ می‌باشد. به دلیل لخت بودن سطح زمین و نیز باراندگی زیاد، مقدار فرسایش آبی زیاد است. به همین دلیل در این فصل عمده هدر رفت فسفر به صورت انتقال توسط ذرات سیلت و رس است [۲۹]. فسفر بر روی ذرات خاک از راه جذب سطحی نگهداری شده و در اثر فرسایش از خاک خارج گشته و باعث کاهش کیفیت آب می‌گردد. همچنین شیب حوضه کمسار (۰/۲۱ متر بر متر) نسبت به دیگر حوضه‌های مورد مطالعه نسبتا بیش‌تر بوده (به استثنای حوضه دیوشل با شیب ۰/۳۵ متر بر متر) و این موضوع باعث حرکت بیش‌تر فسفر چسبیده به ذرات شده است. فسفر به صورت محلول به ندرت از خاک خارج می‌شود و منشاء فسفر محلول در آب در واقع رسوبات هستند. فسفر مهم‌ترین عنصری است که از راه رواناب منتقل و باعث کاهش کیفیت آب می‌شود. چون در زمین‌های کشاورزی کوددهی انجام می‌شود، پس از آبیاری و یا بارندگی فسفر از خاک خارج شده و از راه زهکش‌ها به هدر می‌رود. علاوه بر این، در زمستان و اوایل بهار به دلیل عدم پوشش گیاهی در شالیزارها و عمل شخم، رسوبات زیادی وارد زهکش‌ها می‌شود که این رسوبات مقدار قابل توجهی از فسفر را وارد زهکش‌ها می‌کنند. ولی در رودخانه اصلی به دلیل اثر رقت میزان هدررفت کم‌تر دیده می‌شود. فسفر عمدتاً به صورت چسبیده به ذرات منتقل می‌شود و با گذشت زمان به صورت محلول در می‌آید. البته آزاد شدن فسفر از ذرات و محلول شدن آن یک روند بسیار کند است. به دلیل وجود کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی در صورتی که بارندگی رخ دهد فسفر به صورت محلول از راه زهکش‌ها خارج می‌گردد. بنابراین در این مناطق، عمده خروج فسفر به صورت محلول می‌باشد [۳۰]. در حوضه‌ی آبخیز کمسار، تقریباً ۳۱ درصد فسفر خروجی را فسفر محلول تشکیل می‌دهد و عمده هدررفت فسفر به صورت چسبیده به ذرات (۶۹ درصد) است. غلظت و مقدار فسفر خروجی از زمین‌های کشاورزی به متغیرهای زیادی مانند شدت رواناب، فعالیت‌های کشاورزی و غیره بستگی دارد. وقتی شدت و مقدار رواناب زیاد است، مقدار کل مواد جامد معلق در آب زیاد شده و این ذرات مقدار قابل توجهی از مواد غذایی را همراه خود خارج می‌کند. حال اگر فعالیت‌های انسانی به گونه‌ای باشد که زمینه را برای ایجاد رواناب فراهم کند، فرسایش افزایش یافته و به دنبال آن خروج مواد غذایی از خاک افزایش می‌یابد [۳۱]. آلودگی فسفر در حوضه کمسار به دلیل مصرف بی‌رویه کودهای فسفر در کاربری زراعی و همچنین در کاربری شهری نیز به دلیل ورود پساب‌های خانگی به داخل آبراهه‌ها است.

۳- ۴- میزان هدر رفت فسفر در حوضه دیوشل

حوضه دیوشل همان‌گونه که در جدول ۳ آمده است، دارای کاربری

چای‌کاری و باغ مرکبات است. به طور کلی، در این حوضه به دلیل انجام عملیات راه‌سازی در بالادست حوضه و انتقال ذرات خاک به داخل رودخانه اصلی، مقدار فسفر چسبیده به ذرات در این حوضه زیاد است. نتایج نشان می‌دهد که ۵۵ درصد از فسفر خروجی به صورت چسبیده به ذرات بوده است (شکل ۵–ب). بخشی از فسفر چسبیده به ذرات خارج شده از حوضه را باید به شیب این حوضه نسبت داد، حوضه دیوشل نسبت به سایر حوضه‌ها مورد مطالعه دارای شیب بیش‌تری است (۰/۳۵ متر بر متر). با بررسی وضعیت فسفر خروجی در هر ماه مشاهده می‌شود که در بهمن بیش‌ترین مقدار فسفر کل (۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر) و کم‌ترین مقدار آن در اسفند (۰/۰۰۶ میلی‌گرم در لیتر) به دست آمده است. نتایج مقایسه میانگین فسفر کل نشان داد که بین حوضه‌های دیوشل، کمسار و سروان اختلاف معنی داری مشاهده نشده است. تارولی[1] و همکاران [۳۲] بیان کردند که اراضی دارای کاربری انگور اگر رها شوند، میزان فرسایش و خروج مواد از این اراضی به شدت افزایش پیدا خواهد کرد.

۳- ۵- میزان هدر رفت فسفر زیرحوضه سنگر

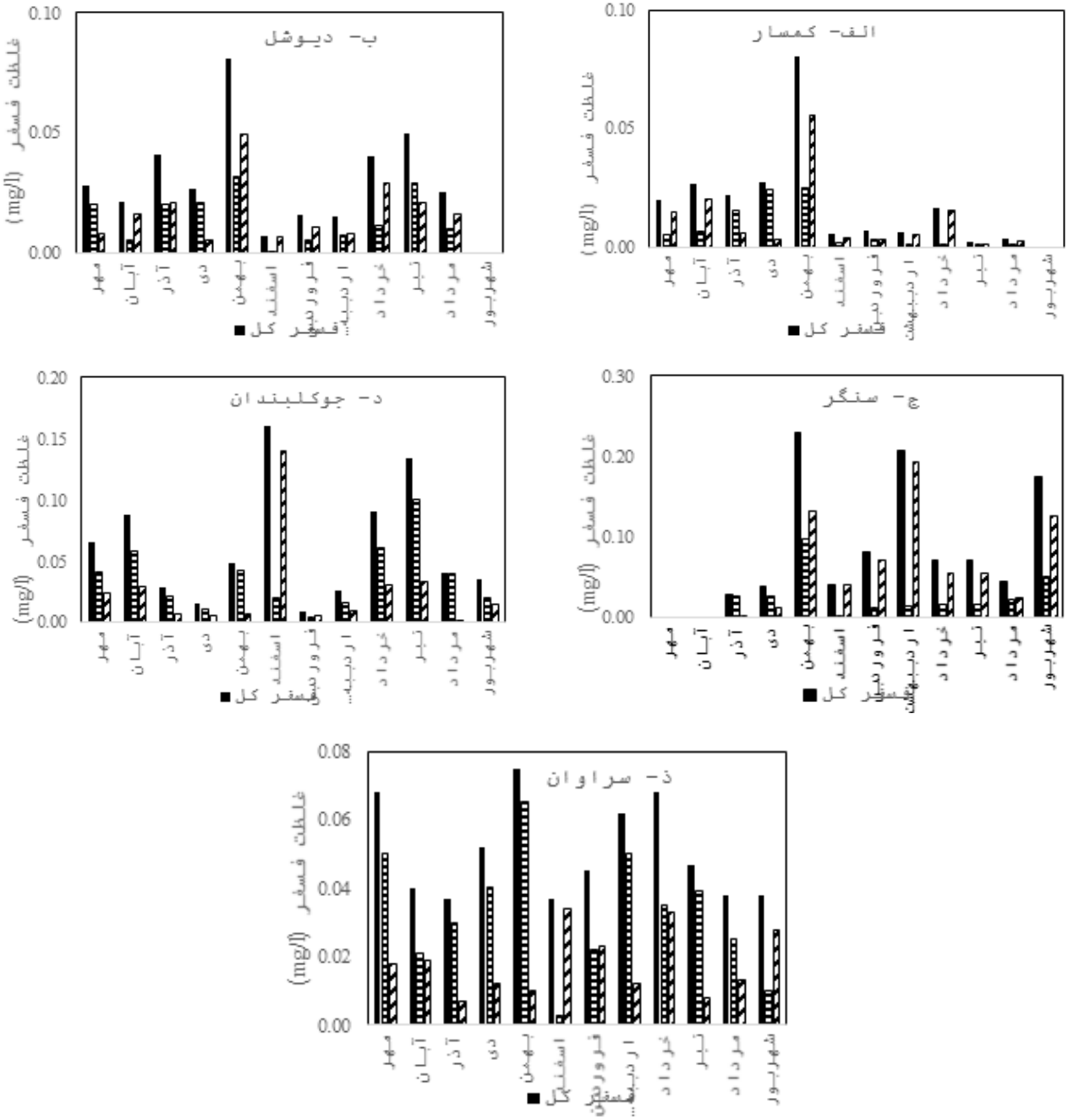
با توجه به شکل ۵–ج، بیش‌ترین مقدار فسفر کل خروجی در ماه بهمن (۰/۲۲۸ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد که دلیل آن بارندگی زیاد و مرطوب بودن خاک است و کم‌ترین مقدار آن در ماه آذر می‌باشد که بارندگی در سطح حوضه وجود نداشته است. عمده کاربری این حوضهب ه صورت کشاورزی می‌باشد. آب زهکش‌ها نیز به رودخانه اصلی وارد می‌شود و علاوه بر آن قسمتی از کاربری نیز به صورت شهری است. به همین دلیل، رودخانه اصلی همیشه گل‌آلود بوده و مقدار فسفر چسبیده به ذرات خروجی از این حوضه بیش‌تر از فسفر محلول است. چون در فصل زمستان میزان بارندگی زیاد است و خاک نیز از پوشش گیاهی مناسبی برخوردار نیست، بارندگی باعث فرسایش خاک شده و ذرات خاک توسط رواناب حمل شده و عناصر غذایی به صورت چسبیده به ذرات از خاک خارج شده و انتقال آن‌ها به صورت محلول محدود می‌شود. البته باید توجه داشت که در ماه آذر چون میزان بارندگی صفر بوده، بنابراین فرسایش و انتقال ذرات نیز وجود ندارد و عمده فسفر موجود در آب به صورت محلول وجود داشت. به طور کلی، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تفاوتی بین فصل‌ها در خروجی فسفر وجود ندارد. انحراف استاندارد مقادیر خروجی فسفر کل از زیرحوضه سنگر در دوازده ماه اندازه‌گیری معادل ۰/۰۷۷ به‌دست آمد. در طول رخداد رواناب سطحی در زمین‌های کشت شده،۸۰ درصد از تلفات فسفر به شکل پیوند یافته با رسوبات بوده است [۳۳]. در حالی‌که در رواناب‌هایی که از اراضی چمنی و علفزارها، خاک‌های کشت نشده و جنگل‌ها سرازیر می‌شوند، رسوبات کمتری منتقل می‌شود. بنابراین قسمت فراوانی از فسفری که به پایین دست انتقال می‌یابد، به ریخت محلول در آب است [۳۴]. اگر مقدار فسفر خروجی از حوضه به صورت فصلی بررسی شود، مشاهده می‌شود با اینکه در فصل زمستان بیش‌ترین مقدار بارندگی رخ می‌دهد، اما بیش‌ترین خروج فسفر در فصل بهار اتفاق می‌افتد، زیرا در زمستان علاوه بر فرسایش اثر رقت هم وجود دارد. ولی در بهار با اینکه مقدار بارندگی کم‌تر است ولی تأثیر فرسایش بیش‌تر است، چون به دلیل عملیات شخم و کاشت محصول خاک به فرسایش حساس‌تر است. همان‌طور که دیده می‌شود، مقدار فسفر چسبیده به ذرات و کل مواد جامد خروجی در فصل بهار نسبت به فصل‌های دیگر بیش‌تر است (شکل ۵–ج).

۳- ۶- میزان هدر رفت فسفر در زیرحوضه جوکلبندان

با توجه به شکل ۵–د حوضه جوکابندان، در ماه اسفند بیش‌ترین مقدار خروجی فسفر (۰/۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده می‌شود، که علت آن جنگل‌تراشی در بالادست حوضه، بارش زیاد باران و عدم پوشش گیاهی کافی در سطح حوضه می‌باشد. با توجه به عوامل گفته شده مقدار زیادی از خاک حوضه توسط رواناب وارد رودخانه اصلی شده و باعث هدر رفت عناصر غذایی به ویژه فسفر و کاهش کیفیت آب شده است. مشاهده می‌شود که ۵۸ درصد فسفر خروجی از حوضه جوکلبندان به صورت محلول بوده است و علت این مسئله وجود کاربری شهری و روستایی در منطقه است. از ماه فروردین تا تیر با کاهش بارندگی و افزایش پوشش گیاهی از مقدار فرسایش کاسته شده و رسوباتی خروجی در بستر رودخانه ته‌نشین شده و فسفر به تدریج افزایش پیدا می‌کند. در اواسط تابستان باران‌های پراکنده باعث رقیق شدن آب و در نتیجه کاهش میزان فسفر در آن می‌شود. انحراف استاندارد مقادیر فسفر کل خروجی از این حوضه در طی دوازده ماه اندازه‌گیری معادل ۰/۰۴۶ محاسبه شده است. با توجه به شکل ۵–د بیش‌ترین مقدار خروج فسفر در سه ماه زمستان (۰/۰۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) و کم‌ترین مقدار آن در بهار (۰/۰۴۲ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده می‌شود. اما نتایج مقایسه میانگین بین فصول در زیر حوضه جوکلبندان نشان داد که مقدار فسفر کل، محلول و پیوند خورده با ذرات دارای تفاوت معنی‌داری نیستند، بنابراین نتایج نشان می‌دهد که در این حوضه مقدار خروجی و ریخت فسفر تحت تاثیر فصل نیست. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد علت بالا رفتن فسفر در زمستان بارندگی زیاد، عدم پوشش گیاهی مناسب و فرسایش است که باعث انتقال ذرات به درون آب می‌شود. در فصل بهار چون پوشش گیاهی مناسب وجود دارد و از طرفی شدت و مدت بارندگی آنقدر زیاد نیست که باعث فرسایش شود، باران اثر رقت را افزایش داده و مقدار فسفر در آب کاهش می‌یابد. مقدار هوازدگی و همچنین مقدار آزاد شدن فسفر از سنگ‌های فسفاته بسیار کم بوده و چیزی درحدود ۰/۰۱ تا ۵ کیلوگرم برهکتار در سال تخمین زده می‌شود [۳۵]. هوازدگی و آزاد شدن بیش‌تر فسفر، تابع عوامل موثری از قبیل نوع سنگ فسفره، اندازه‌ی آن‌ها، دما و کیفیت آب است. بین مقدار هوازدگی شیمیایی و رواناب‌های ایجاد شده در یک حوضه آبخیز همبستگی مثبتی وجود دارد. به طوری که وقتی میزان رواناب بالاست تقریباً میزان هوازدگی ده برابر بیش از زمانی است که میزان رواناب پایین است [۳۶]، بنابراین در حوضه‌هایی که خروجی آب بالایی دارند، انتظار می‌رود که فسفر زیادی از راه

1 Tarolli

هوازدگی آزاد شود. در مناطق جنگلی خروج فسفر بیش‌تر به صورت محلول می‌باشد اما چنانچه شدت و حجم رواناب زیاد بوده و خاک از پوشش کافی برخوردار نباشد فرسایش ایجاد شده و بار رسوب رودخانه افزایش می‌یابد [۳۱]. چون حوضه‌جوکلبندان جنگلی می‌باشد مقدار فرسایش در این حوضه کم بوده و عمده فسفر خروجی به محلول است و به همین دلیل مقدار فسفر محلول در آب در این حوضه‌نسبت به فسفر چسبیده به ذرات بیش‌تر است. قسمت‌های آلی رسوبات‌توسط ریزجاندارها تجزیه می‌شود و فسفر آن طی فرایندهای آنزیمی به ریخت ارتو فسفات‌ها در می‌آیند [۳۷]. فسفر به صورت محلول به ندرت از خاک خارج می‌شود منشاء فسفر محلول در آب در واقع رسوبات هستند. فسفر عمدتاً به صورت چسبیده به ذرات منتقل می‌شود و با گذشت زمان به صورت محلول در می‌آید. فسفر محلول پیوندی بسیار قوی با آلومینوسیلیکات‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی مانند آلومینیوم و آهن برقرار می‌کند [۸].



شکل ۵: تغییرات ماهانه فسفر کل، محلول و چسبیده به ذرات در حوضه‌های مختلف

Fig. 5. Monthly changes in total, dissolved, and particulate phosphorus in different sub-watersheds

بیش‌ترین مقدار فسفر در آب را در فصل پاییزکه بارندگی زیاد است مشاهده می‌شود (شکل ۵). روند تغییرات فسفر در مناطق شهری بر خلاف مناطق کشاورزی و جنگلی است. شرایط پویایی بین فسفر محلول آب و فسفر پیوند شده به رسوبات وجود دارد. یعنی در برخی از موارد ممکن است رسوبات، فسفر خود را به داخل آب آزاد کنند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات نقش تعیین کننده‌ای در کیفیت آب به عهده دارند. توزیع اندازه‌ای ذرات، pH و ترکیبات فلزی رسوبات نقش بسیاری مهمی در کنترل فسفر آب به عهده دارند [۳۷]. علت بیش‌تر بودن کل فسفر محلول در این حوضه را می‌توان به رواناب‌های خانگی و زباله‌های شهری نسبت داد که به طور مستقیم وارد جریان آب رودخانه‌ها می‌شوند (شکل ۵) . البته نباید نقش ته‌نشست اتمسفری را نیز در مناطق شهری نادیده گرفت. به طور کلی میزان فسفر موجود در رودخانه اصلی این حوضه در ماه‌های کم باران بیش‌تر از سطح استاندارد جهانی بوده و یکی از آلوده‌ترین رودخانه‌های استان گیلان به شمار می‌رود.

۳- ۷- میزان هدر رفت فسفر در زیرحوضه سراوان

از ماه آذر تا بهمن با افزایش بارندگی به علت فرسایش روند خروج فسفر به صورت افزایشی است ولی در اواخر اسفند به علت کاهش بارندگی و جریان آب از مقدار فسفر کاسته می‌شود. در بهار علی‌رغم اینکه کاهش بارندگی‌وجود دارد مقدار فسفر افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان به رواناب‌های شهری و جریان‌های داخل زهکش نسبت داد. بیش‌ترین مقدار فسفر خروجی را در فصل بهار (۰/۰۵۸ میلی‌گرم بر لیتر) و کم‌ترین مقدار را در تابستان (۰/۰۴۱ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده می‌شود (شکل ۵–ذ). همان‌طور که در شکل ۵–ذ قابل مشاهده است در این حوضه بیش‌ترین فسفر خروجی در فصل بهار اندازه‌گیری شده است. که علت آن افزایش بارندگی و خروج مواد غذایی به صورت محلول می‌باشد. البته نباید فراموش کرد که قسمتی از این حوضه نیز محل دفن زباله می‌باشد و عوامل انسانی نیز می‌تواند در افزایش آلودگی دخیل باشد. نتایج نشان می‌دهند که ۶۵ درصد از فسفر خروجی از حوضه سراوان به صورت محلول است و فسفر چسبیده به ذرات نقش کمتری در آلودگی آب‌ها دارد. در بررسی‌های آزمایشگاهی مشخص شده است که غلظتی از فسفات که بتواند رشد متعادل جلبک‌ها را تأمین کند بسیار متفاوت است به طوری‌که از ۰/۰۰۳ تا ۰/۸ میکروگرم در لیتر تغییر می‌کند [۳۸]. اما اگر غلظت فسفات به ۱۵ میکروگرم بر لیتر افزایش پیدا کند مشاهده شده است که میزان تثبیت کربن و غلظت کلروفیل در دریاچه میشیگان بسیار افزایش پیدا کرده است. بسیاری از یافته‌ها نشان داده‌اند که غلظت فسفر در حد چند میکروگرم در لیتر برای تشدید رشد جلبک‌ها در اغلب سامانه‌های آبی کفایت می‌کند. هر چند باید اشاره کرد که غلظتی از فسفر که مورد توافق همه پژوهشگران باشد وجود ندارد. حتی اشاره شده است که به جای فسفر محلول در آب جهت رسیدن به غلظتی که باعث غنی شدن (یوتریفیکاسیون) می‌شود، باید فسفر کل آب را اندازه‌گیری کرد [۳۷].

برخی از پژوهشگران [۳۹ و۴۰] غلظت فسفر بین محدوده‌ی ۰/۰۱ تا ۰/۰۱۵ میلی‌گرم بر لیتر را غلظتی دانستند که باعث رشد شدید جلبک‌های مضر در آب می‌شود. در این حوضه عمده خروج فسفر به صورت محلول می‌باشد. به طوری‌که در زمستان فسفر محلول بیش از ۸۰ درصد فسفر خروجی از حوضه را تشکیل می‌دهد فقط در ماه‌های اسفند و شهریور است که به علت بارندگی زیاد و فرسایش مقدار فسفر چسبیده ذرات افزایش می‌یابد (شکل ۵–ذ). جذب فسفر روی رسوبات تابع شرایط پیچیده‌ای است. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی رسوبات نقش تعیین کننده‌ای ویژگی‌های شیمیایی مهمی که نقش شناخته شده‌ای در جذب و نگهداری فسفر بر عهده دارند می‌توان به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم اشاره کرد. این فلزها به قدری در جذب و کمپلکس کردن فسفر توانایی از خود نشان می‌دهند که در خاک‌های شنی و اسیدی تنها با اندازه‌گیری این دو فلز می‌توان به وضعیت فسفر در رسوبات پی برد [۴۱].

۳- ۸- مقایسه اثر کاربری حوضه‌ها بر خروجی فسفر

نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین فسفر کل خروجی در طول سال نشان می‌دهد که بین حوضه کمسار با سنگر و جوکلبندان اختلاف معنی‌داری وجود دارد. علت این اختلاف در خروجی فسفر رو به طور عمده می‌توان به وجود کاربری زراعی و شهری–روستایی در حوضه کمسار نسبت داد. غلظت و مقدار فسفر خروجی از زمین‌های کشاورزی به متغییرهای زیادی مانند شدت رواناب، فعالیت‌های کشاورزی و غیره بستگی دارد، وقتی شدت و مقدار رواناب زیاد است مقدار کل مواد جامد معلق در آب زیاد شده و این ذرات مقدار قابل توجهی از مواد غذایی را همراه خود خارج می‌کند. در این حوضه بیش‌ترین مقدار فسفر در آب در فصل تابستان مشاهده می‌شود که علت آن افزایش شدت فعالیت انسانی و تخریب باغ‌های چای و تبدیل آنها به جاده است. در اثر تخریب باغ‌های چای و افزایش بارندگی در تابستان فرسایش نیز افزایش یافته که در نهایت منجر به افزایش خروج فسفر گردیده است (شکل ۵–ب). با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که شیب حوضه سنگر نسبتا کم (۰/۰۱) بوده و همچنین با توجه به جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود که دارای پوشش نسبت خوبی از گیاهان می‌باشد. بنابراین می‌توان عمده خروجی فسفر از این حوضه را به وجود کاربری شهری و روستایی موجود نسبت داد. در همین راستا اندرل[1] [۴۲] و اسپلید[2] و همکاران [۴۳] نیز بیان کردند که کاربری‌های شهری باعث افزایش آلودگی به خصوص آلودگی فسفری در آب‌ها می‌شود. ایده[3] و همکاران [۴۴] بیان کردند که فرسایش خاک یکی از عوامل اصلی خروج فسفر از حوضه‌ها است و با تغییرات بارندگی تغییر می‌کند. این پژوهشگران بیان کردند که عمدتا فسفر به صورت چسبیده به ذرات از حوضه‌ها خارج می‌شود و تابع عوامل مختلفی است و حتی در یک دوره بارندگی نیز تغییراتی دارد.

1 Anderle
2 Spliid
3 Ide

۴- نتیجه‌گیری

هدررفت مواد غذایی از جنگل‌ها به تغییرات اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و اعمال مدیریتی بستگی دارد. ولی به طور کلی هدررفت عناصر غذایی از مناطق جنگلی کم‌تر از مناطق کشاورزی و شهری می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود خروج فسفر از مناطق شهری بیش‌تر از مناطق جنگلی است. در مناطق جنگلی که جنگل‌تراشی صورت گرفته فرآیند فرسایش باعث خروج فسفر می‌شود. البته به دلیل وجود مواد آلی زیاد در خاک سطحی این مناطق فسفر عمدتاً به صورت محلول خارج می‌شود. جنگل‌تراشی باعث افزایش غلظت عناصر محلول در رواناب‌های سطحی می‌شود. در فصل بهار فسفر خروجی بیش‌تر به صورت محلول است که با افزایش بارندگی و رواناب مقدار هدررفت آن افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهند که خروج فسفر از زیرحوضه‌های سنگر و سراوان در فصل بهار بیش‌تر از فصول دیگر است. خروج فسفر از زمین‌های کشاورزی به شدت رواناب، فعالیت‌های کشاورزی، فصل و شرایط خاک بستگی دارد. در فصل زمستان که زمین لخت بوده و بارندگی زیاد مقدار رواناب بیش‌تر شده در نتیجه فرسایش افزایش می‌یابد که نتیجه آن خروج فسفر بیش‌تر از این مناطق است. عمده خروج فسفر از مناطق کشاورزی به صورت چسبیده به ذرات است چون مقدار مواد معلق جامد افزایش می‌یابد. در زمین‌های شخم خورده ۶۰ تا ۹۰ درصد فسفر خروجی از راه ذرات خاک است. فسفر محلول خروجی از زمین‌های کشاورزی بیش‌تر به محتوای فسفر خاک بستگی دارد. زمان به کاربردن کودهای شیمیایی و دامی نیز نقش مهمی در خروج فسفر از این مناطق بازی می‌کند. بیش‌ترین مقدار فسفر آب از مناطق شهری گزارش شده‌اند. چون علاوه بر رواناب‌های شهری، فاضلاب‌های مسکونی و اداری که در واقع جز منابع متمرکز آلودگی می‌باشند نیز وارد رودخانه‌های این مناطق می‌شوند. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که مناطق شهری (حوضه‌ی آبخیز سیاهرود) بیش‌ترین مقدار خروج فسفر را داشته و این حوضه در فصول کم باران نسبت به این عنصر دارای آلودگی می‌باشند. بررسی نتایج فسفر کل نشان داد که در فصل زمستان مقدار خروج فسفر از کاربری کشاورزی نسبت به سایر کاربری بیش‌تر است ولی در فصل تابستان در کاربری شهری مقدار خروج فسفر بیش‌تر می‌شود که ناشی از تاثیر بارندگی، جریان و نیز نوع مدیریت اراضی است. بررسی نتایج فسفر محلول نیز نشان داد که روند تغییرات فسفر محلول نیز تقریباً مانند فسفر کل است. یعنی در زمستان فسفر محلول خروجی از کاربری کشاورزی بیش‌تر بوده و در تابستان از کاربری شهری بیش‌تر می‌باشد. فرسایش تاثیر بسیار زیادی در خروج فسفر از خاک دارد چون فسفر بیش‌تر به صورت چسبیده به ذرات در خاک وجود دارد به همین دلیل در اثر فرسایش مقدار زیادی فسفر به همراه ذرات خاک خارج می‌شود.

مراجع

[1] A. Galati, L. Gristina, M. Crescimanno, E. Barone, A. Novara, Towards more efficient incentives for agri-environment measures in degraded and eroded vineyards, Land Degradation & Development, 26(6) (2015) 557-564.

[2] J. Lieskovský, P. Kenderessy, Modelling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: a case study in Vráble (Slovakia) using WATEM/SEDEM, Land Degradation & Development, 25(3) (2014) 288-296.

[3] P. Tarolli, G. Sofia, Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes, Geomorphology, 255 (2016) 140-161.

[4] M.M. Al-Kaisi, Hanna, M., Litch, M., and Peterson, T. S., Soil Erosion and Water Quality, iowa State University Extension. Washington, DC, (2003) 8.

[5] D. McCool, K. Renard, Water erosion and water quality, in: Advances in soil science, Springer, 1990, pp. 175-185.

[6] G. Klein, and Perera, P., Eutrophication and Health. Environment Quality and Natural Resources European Commission, Luxembourg. L-2985., (2002).

[7] A. Van Ginkel, Walmsley, G., and Butty, J., , Eutrophication. National Eutrophication Monitoring Programmer Design, Germany, (2000).

[8] C.W. Wood, Mullins, G. L., and Hajek, B. F., Phosphorus in Agriculture, Soil Quality Institute Technical Pamphlet, 2 (2005).

[9] A.E. Richardson, J.P. Lynch, P.R. Ryan, E. Delhaize, F.A. Smith, S.E. Smith, P.R. Harvey, M.H. Ryan, E.J. Veneklaas, H. Lambers, Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture, Plant and soil, 349(1-2) (2011) 121-156.

[10] S.Z. Sattari, A.F. Bouwman, K.E. Giller, M.K. van Ittersum, Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle, Proceedings of the National Academy of Sciences, (2012) 201113675.

[11] P.J. Withers, A. Edwards, R. Foy, Phosphorus cycling in UK agriculture and implications for phosphorus loss from soil, Soil use and Management, 17(3) (2001) 139-149.

[12] C. Mainstone, R. Dils, P. Withers, Controlling sediment and phosphorus transfer to receiving waters–a strategic management perspective for England and Wales, Journal of Hydrology, 350(3-4) (2008) 131-143.

[13] J.N. Quinton, J.A. Catt, T.M. Hess, The selective removal of phosphorus from soil, Journal of Environmental Quality, 30(2) (2001) 538-545.

[14] A. Sharpley, The Enrichment of Soil Phosphorus in Runoff Sediments 1, Journal of Environmental Quality, 9(3) (1980) 521-526.

[15] R. McDowell, A. Sharpley, G. Folmar, Modification of phosphorus export from an eastern USA catchment by fluvial sediment and phosphorus inputs, Agriculture, Ecosystems & Environment, 99(1-3) (2003) 187-199.

[16] J.D. Sutton, Bagdon, J., Bernard, J., Brady, S., Burgan, B., and Carriker, N., , Water Quality and Agriculture, NRCS and USDA, Working Paper, 16 (1997).

[17] P.M. Haygarth, S.C. Jarvis, Transfer of phosphorus from agricultural soil, in: Advances in agronomy, Elsevier, 1999, pp. 195-249.

[18] R. Schulte, J. Diamond, K. Finkele, N. Holden, A. Brereton, Predicting the soil moisture conditions of Irish grasslands, Irish Journal of Agricultural and Food Research, (2005) 95-110.

[19] S. Warner, G. Kiely, G. Morgan, J. O'Halloran, Does quantifying antecedent flow conditions improve stream phosphorus export estimation?, Journal of hydrology, 378(1-2) (2009) 97-104.

[20] K. Daly, D. Jeffrey, H. Tunney, The effect of soil type on phosphorus sorption capacity and desorption dynamics in Irish grassland soils, Soil use and management, 17(1) (2001) 12-20.

[21] B. Kronvang, A. Laubel, R. Grant, Suspended sediment and particulate phosphorus transport and delivery pathways in an arable catchment, Gelbaek stream, Denmark, Hydrological Processes, 11(6) (1997) 627-642.

[22] J.G. Winter, H.C. Duthie, EXPORT COEFFICIENT MODELING TO ASSESS PHOSPHORUS LOADING IN AN URBAN WATERSHED 1, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 36(5) (2000) 1053-1061.

[23] A. Schwemm, R. Pasker, M. Clayton, E. Brown, Phosphorus sorption by sediments from wetlands in the Cedar River watershed, American Journal of Undergraduate Research, 5(3) (2004) 21-28.

[24] R.E. Carlson, J. Simpson, A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods, North American Lake Management Society, 96 (1996) 305.

[25] Standard Analytical Procedures for Water Analysis., government of India and Government of the Netherlands, Technical Assistance Hydrology Project., (1999).

[26] Water and Watershed Research Jahad., flood control studies Gilan province. Soil, land evaluation and classification, Technical assistance and development Gilan Province Disaster Committee. (In Persian). (1999).

[27] F. Shigaki, A. Sharpley, L.I. Prochnow, Rainfall intensity and phosphorus source effects on phosphorus transport in surface runoff from soil trays, Science of the Total Environment, 373(1) (2007) 334-343.

[28] U.E.P. Agency., Methods for Identifying and Evaluating the Nature and Extent of Nonpoint Sources of Pollutant, EPA, 430/9-73/014, U. S. EPA, Washington, D. C., (1973).

[29] P. Jordan, A. Arnscheidt, H. McGrogan, S. McCormick, Characterising phosphorus transfers in rural catchments using a continuous bank-side analyser, Hydrology and Earth System Sciences, 11(1) (2007) 372-381.

[30] P.J. Withers, B. Ulén, C. Stamm, M. Bechmann, Incidental phosphorus losses–are they significant and can they be predicted?, Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 166(4) (2003) 459-468.

[31] J. Dorioz, E. Cassell, A. Orand, K. Eisenman, Phosphorus storage, transport and export dynamics in the Foron River watershed, Hydrological processes, 12(2) (1998) 285-309.

[32] P. Tarolli, G. Sofia, S. Calligaro, M. Prosdocimi, F. Preti, G. Dalla Fontana, Vineyards in terraced landscapes: new opportunities from lidar data, Land Degradation & Development, 26(1) (2015) 92-102.

[33] A.N. Sharpley, S. Smith, O. Jones, W. Berg, G. Coleman, The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff, Journal of environmental quality, 21(1) (1992) 30-35.

[34] A. Sharpley, Assessing phosphorus bioavailability in agricultural soils and runoff, Fertilizer Research, 36(3) (1993) 259-272.

[35] E. Newman, Phosphorus inputs to terrestrial ecosystems, Journal of Ecology, (1995) 713-726.

[36] D. Dethier, Weathering rates and the chemical flux from catchments in the Pacific Northwest, USA, Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals, (1986) 503-530.

[37] D.L. Correll, The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review, Journal of environmental quality, 27(2) (1998) 261-266.

[38] J.P. Grover, Phosphorus-dependent growth kinetics of 11 species of freshwater algae, Limnology and Oceanography, 34(2) (1989) 341-348.

[39] R.H. Foy, and Withers, P. J. A. The contribution of agricultural phosphorus to eutrophication, Proceedings of the fertilizer Society, Greenhill House, Thorpe Wood, Peterborough, UK., 365 (1998).

[40] C.M. Smith, M. Policy, Towards sustainable agriculture: freshwater quality in New Zealand and the influence of agriculture, Ministry for the Environment, 1993.

[41] J.L. Kovar, G.M. Pierzynski, Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters second edition, Southern cooperative series bulletin, 408 (2009).

[42] T. Anderle, Analysis of Stormwater Runoff, Lake Waters Quality for the Twin Cities Metropolitan area, Ms Thsis., (1991).

[43] H. Spliid, et al., . Stormwater Quality Concerns and Modeling., (2000).

[44] J.i. Ide, H. Haga, M. Chiwa, K. Otsuki, Effects of antecedent rain history on particulate phosphorus loss from a small forested watershed of Japanese cypress (Chamaecyparis obtusa), Journal of Hydrology, 352(3-4) (2008) 322-335.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

H. Asadi, V. Latifi, E. Ebrahimi, Study of the Phosphorus Losses from Different Watersheds in Guilan Province, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(4) (2018) 641-654.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12803.5274