



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره سوم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.13864.2858

بررسی تغییرات زمانی آلودگی فسفر در طول رودخانه سیاه‌رود استان گیلان

وحید لطیفی^۱، *حسین اسدی^۲، عیسی ابراهیمی^۳ و سیدعلی موسوی^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ^۲دانشیار دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران،

^۳دانشجوی دکتری دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ^۴استادیار دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان و همچنین یکی از منابع آلودگی آب‌ها است که به دلیل مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به منابع آب ایجاد می‌شود. فسفر دارای تغییرات زمانی و مکانی بالایی است که ناشی از عواملی مانند شدت بارندگی، کاربری اراضی، شیب منطقه و فرسایش خاک می‌باشد. هدف از انجام این مطالعه بررسی تغییرات زمانی آلودگی فسفر در طول رودخانه سیاه‌رود واقع در استان گیلان بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در رودخانه سیاه‌رود رشت که حوضه آن دارای کاربری‌های جنگل (نواحی جوکلبندان و سراوان)، کشاورزی (ناحیه سنگر)، صنعتی (نواحی سراوان و دانشگاه) و شهری (نواحی گیل و گل‌سار) است، انجام شد. نمونه‌برداری طی یک دوره ده ماهه از نقاط مختلف با کاربری‌های متفاوت در طول رودخانه انجام شد. مقادیر فسفر کل، محلول و چسبیده به ذرات در نمونه‌های آب، مقدار مواد جامد کل، محلول و معلق اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فسفر کل با روش هضم با پرسولفات پتاسیم انجام شد. مقدار نیتروژن نیز در چهار ماه آذر، دی، بهمن و اسفند با استفاده از روش کج‌لدال اندازه‌گیری شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میزان آلودگی فسفر این رودخانه در محدوده کاربری شهری (منطقه گل‌سار ۰/۲۶۱ میلی‌گرم در لیتر) و صنعتی بیش‌تر از سایر کاربری‌ها می‌باشد. در فصل زمستان عمده فسفر محلول خروجی از کاربری کشاورزی بوده است و در تابستان از کاربری شهری بیش‌ترین مقدار خروجی فسفر محلول می‌باشد. بالاترین مقدار آلودگی فسفر (۰/۲۹۶ میلی‌گرم در لیتر) در منطقه گل‌سار مشاهده شده است. علت زیاد بودن میزان فسفر کل در نقطه جوکلبندان (۰/۱۸۸ میلی‌گرم در لیتر) را می‌توان به تخریب جنگل‌های موجود و شیب بالای این منطقه نسبت داد. بخش عمده ذرات جامد خارج شده از حوضه نیز به شکل معلق بوده است (میانگین سالانه ۵۰۳ میلی‌گرم در لیتر). نتایج نشان داد که میانگین زمانی غلظت اشکال مختلف فسفر شامل فسفر کل، فسفر محلول و فسفر چسبیده به ذرات در مکان‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری است و در بخش انتهایی رودخانه بیش‌ترین است. میانگین کل (زمانی- مکانی) غلظت فسفر محلول و فسفر چسبیده به ذرات در رودخانه مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نداشتند.

* مسئول مکاتبه: ho.asadi@ut.ac.ir

نتایج بیانگر وجود یک رابطه نمایی ($R^2=0/54$) بین غلظت فسفر محلول و مواد جامد محلول بود. همچنین مشاهده شد که خروجی فسفر نیز تابعی از زمان است و با تغییرات ماهانه میزان و شکل خروجی فسفر به شدت تغییر می‌کند. نتیجه‌گیری: به‌طور کلی میزان آلودگی فسفر از ابتدا تا انتهای رودخانه روند افزایش داشت و آلودگی فسفر دارای تغییرات زمانی بالایی بود. بالابودن میزان فسفر از حدمجاز در مناطق کشاورزی مانند سنگر عمدتاً در فصل بارندگی و ناشی از فرسایش خاک تشخیص داده شد، در حالی که زیادی فسفر در مناطق شهری را می‌توان به دلیل ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به داخل رودخانه دانست. بنابراین با ممانعت از فرسایش خاک در اراضی کشاورزی و جلوگیری از تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به داخل رودخانه به مقدار زیادی از آلودگی فسفر جلوگیری خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ضریب گراولپوس، فرسایش خاک، فسفر چسبیده به ذرات، فسفر محلول، مواد جامد محلول

مقدمه

فسفر یکی از عناصر مهم آلاینده غیرنقطه‌ای منابع آب است که از مناطق مسکونی و صنعتی، زمین‌های کشاورزی و رواناب‌های شهری سرچشمه می‌گیرد. در فواصل سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ میلادی با افزایش تولیدات صنعتی و مصارف خانگی حجم زیادی از آلاینده‌های حاوی فسفر وارد منابع آب و محیط‌زیست شد. اما در اواخر قرن بیستم با بهبود روش‌های تصفیه رواناب‌های شهری و کاهش فسفر در شوینده‌های خانگی، آلاینده‌های فسفر از این بخش روند کاهشی پیدا کرده است (۱۳ و ۲۵). فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان می‌باشد و مهم‌ترین عنصر محدودکننده رشد گیاهان آبی در بسیاری از سیستم‌های آبی است. افزایش فسفر در سیستم آبی باعث زیاد شدن بیش از حد جمعیت جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها^۱ شده که نتیجه آن تخریب محیط‌زیست است (۲۸). هیدرولوژی، نوع خاک و مدیریت اراضی عوامل تأثیرگذار بر انتقال فسفر از خاک به داخل آب هستند (۱۰). در حوضه‌های آبخیز معمولاً انتقال فسفر توسط جریان‌های سطحی ناشی از اشباع زیاد خاک انجام می‌گیرد (۸).

شدت انتقال فسفر به غلظت فسفر، مواد آلی و ظرفیت جذب خاک وابسته است (۷). فسفر پتانسیل کمی برای رسیدن به آب‌های زیرزمینی دارد، چون نسبت به نیتروژن دارای حلالیت کم‌تری است (۱۵). از سوی دیگر، ذرات خاک ظرفیت زیادی برای جذب شکل‌های غیرمحلول فسفر دارند. در واقع، خاک برای فسفر همانند یک فیلتر عمل می‌کند و عمدتاً به صورت چسبیده به ذرات انتقال می‌یابد. هدررفت فسفر از زمین‌های کشاورزی به سه سطح تقسیم می‌شود: (الف) هدررفت سریع فسفر محلول در مدت کوتاهی پس از مصرف کودهای دامی و شیمیایی، (ب) هدررفت آرام فسفر محلول پس از کوددهی و (پ) هدررفت توسط فرسایش خاک (۱۵). استاتر و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که کاربری اراضی تأثیر بسیار مهمی بر مقدار فسفر در آبخیز دارد (۲۴). شکل‌آبادی و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که خروجی فسفر از حوضه‌ها به شدت تابع کاربری موجود در حوضه بوده و قسمت عمده فسفر خروجی از زمین‌های کشاورزی مربوط به رسوبات است (۲۰). اسدی (۲۰۱۶) برآورد کرد که سالانه حدود ۲۴۵ تن فسفر از طریق رودخانه پسیخان وارد تالاب انزلی می‌شود که حدود ۸۵ درصد آن در فصول مرطوب و

برای مدیریت مناسب فسفر در حوضه سیاهرود، اطلاع داشتن از شدت و شکل خروجی فسفر بسیار دارای اهمیت است. همچنین مقدار ذرات جامد نیز برای جلوگیری از رسوب و آسیب‌زدن به ابزارها و سازه‌های آبی اهمیت فراوانی دارد. تاکنون از نظر تغییرات زمانی مقدار مواد جامد خروجی و آلودگی فسفری از بالادست (کاربری جنگل) تا پایین‌دست (کاربری شهری) حوضه سیاهرود مطالعه جامعی انجام نگرفته است. بنابراین هدف از انجام این مطالعه، بررسی مقدار و اشکال مختلف فسفر و مواد جامد خروجی از حوضه و بررسی وابستگی آن‌ها به موقعیت مکانی و زمانی در حوضه سیاهرود استان گیلان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

رودخانه سیاهرود در استان گیلان از کوه‌های کم‌ارتفاع هرازمرز، نیزه‌سر، جوکلبندان و کچا واقع در جنوب شهرستان رشت سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبخیز سیاهرود، بین عرض جغرافیایی $37^{\circ} 18' 53''$ تا $37^{\circ} 02' 55''$ شمالی و طول جغرافیایی $49^{\circ} 30' 03''$ تا $49^{\circ} 40' 10''$ شرقی، قرار دارد. این حوضه با مساحتی در حدود ۱۸۶ کیلومترمربع در جنوب‌غربی شهرستان رشت قرار دارد و میانگین ارتفاع آن حدود ۱۰۲ متر از سطح دریا است. سرشاخه این رودخانه در سراوان و سنگر محل دفن زباله‌های شهری است و آلودگی حاصل از زباله‌ها به رودخانه انتقال می‌یابد. در محدوده شهری نیز فاضلاب‌های خانگی، واحدهای صنعتی و کارگاه‌های شهری به داخل این رودخانه تخلیه شده و به همین دلیل از آلوده‌ترین رودخانه‌های استان گیلان محسوب می‌شود. این حوضه دارای شیب متوسط ۷/۵۹ درصد بوده و طول رودخانه اصلی آن تا آخرین نقطه نمونه‌برداری در این پژوهش

عمدتاً به صورت چسبیده به ذرات است (۴). مدیریت اعمال شخم در این اراضی منجر به کاهش فرسایش و در نهایت کاهش تلفات فسفر می‌گردد. شدت خروج فسفر از رودخانه‌ای به رودخانه دیگر متفاوت است، حتی این شدت در قسمت‌های مختلف یک رودخانه نیز فرق کرده و با تغییرات فصلی تغییر می‌کند (۱۲). ذخیره فسفر درون آب به عوامل زیادی مانند بیومس ماکروفیت‌ها، جذب آن توسط گیاهان آبی، گسترش حاشیه رودخانه و غلظت مواد غذایی وابسته است (۱۴). الکساندر و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی گزارش کردند که در خلیج مکزیک، ۷۰ درصد آلودگی فسفر، ناشی از فعالیت‌های کشاورزی قسمت غرب خلیج می‌باشد (۲). در برخی منابع (۳۱)، در بین انواع کشت‌ها، زمین‌های کشاورزی شخم‌خورده و شیب‌دار، به‌عنوان منشاء بالاترین درصد آلودگی غیرنقطه‌ای بودند.

رودخانه سیاهرود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی است که از شهر رشت می‌گذرد. حوضه آبخیز این رودخانه از نظر زمین‌شناسی دارای تنوع زیادی است، به طوری که در ارتفاعات به دوران پرمین و در خروجی حوضه به دوران کرتاسه ختم می‌شود. این تنوع، باعث تغییرات زیادی در جنس سنگ بستر رودخانه در طول مسیر شده و بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب تأثیر زیادی داشته است (۲۷). علاوه بر تنوع زمین‌شناسی، این حوضه دارای کاربری‌های متعددی از جمله جنگل، زراعی، مناطق صنعتی و شهری است که بر روی خصوصیات خاک و آب تأثیر مهمی دارد. افشاری آزاد و پورکی (۱۳۸۹) با استفاده از مدل E.P.M وضعیت فرسایش و رسوب رودخانه سیاهرود رشت را بررسی کردند. این پژوهشگران بیان کردند که از عوامل اصلی فرسایش در این حوضه تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری‌های صورت گرفته در آن می‌باشد (۱).

رودخانه سیاهرود جنگلی است و ۶۲/۲ درصد حوضه را جنگل‌های انبوه و نیمه‌انبوه تشکیل می‌دهد (شکل ۱-ب). حدود ۵/۲ درصد حوضه دارای کاربری زراعی است که عمده محصول کشت شده در آن محصول برنج است. با توجه به این‌که رودخانه اصلی از کنار شهرک صنعتی رشت می‌گذرد، در حدود ۲/۷ درصد مساحت حوضه دارای کاربری صنعتی است. این حوضه در انتها به بافت مسکونی و شهری ختم می‌شود که حدود ۲۹/۹ درصد از مساحت آن را به خود اختصاص می‌دهد.

(منطقه گلسار) ۴۹/۹۰ کیلومتر است که توسط نرم‌افزار WMS شده است (جدول ۱). ضریب گراولیوس^۱ (C) از رابطه ۱ محاسبه گردید.

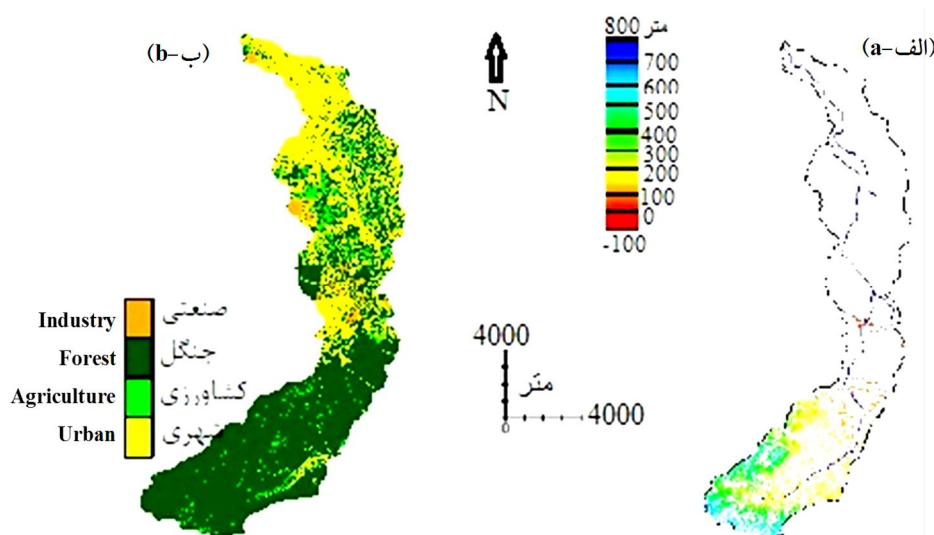
$$C = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

که در آن، P محیط حوضه بر حسب کیلومتر و A مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع است. شیب حوضه در قسمت بالادست نسبتاً تند (>۱۰٪) و در قسمت‌های میانی و پایین‌دست ملایم (<۲٪) است (شکل ۱-الف). عمده کاربری حوضه

جدول ۱- مشخصات کلی حوضه آبخیز سیاهرود.

Table 1. General characteristics of Siahrood watershed.

ضریب گراولیوس Gravlius coefficient	طول حوضه Length of watershed (km)	میانگین ارتفاع Average height (m)	شیب متوسط حوضه Watershed average slope (m m ⁻¹)	طول آبراهه اصلی Main river length (km)	محیط Circumference (km)	مساحت Area (km ²)
2.67	36.85	102.55	0.075	49.90	130.20	186.26



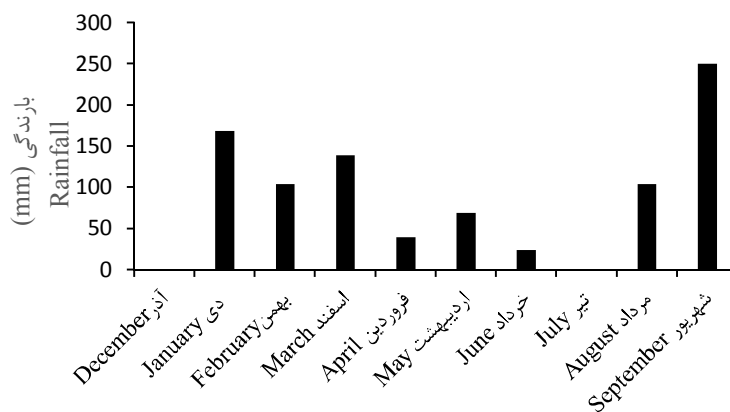
شکل ۱- (الف) نقشه توپوگرافی حوضه، (ب) نقشه کاربری اراضی حوضه.

Figure 1. (a) Topography map and (b) land use map of the watershed.

1- Gravelius

مترمکعب بر ثانیه)، رواناب (میلی‌متر) و دبی رسوب کل (مترمکعب در سال) را به ترتیب برابر با ۵/۶۶، ۱۱۰۰ و ۲۴۰۸۶ گزارش کرده‌اند (۱). بررسی نیمرخ طولی رودخانه، سه نقطه عطف و شکست ناگهانی شیب را مشخص می‌کند. به این ترتیب، این رودخانه از نظر بازه مکانی به سه قسمت کوهپایه، سردشت و دشت قابل تفکیک است. شیب متوسط قسمت‌های کوهپایه، سردشت و دشت به ترتیب برابر با ۲۰/۶۱، ۱/۸۹ و ۰/۲۴ است (۲۷).

مقدار بارندگی ماهانه حوضه آبخیز سیاهرود از ایستگاه سینوپتیک رشت در شکل ۲ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار بارندگی در شهریور رخ داده و در تیر و آذرماه نیز بارندگی رخ نداده است. میانگین بارندگی سی‌ساله این حوضه برابر با ۱۳۰۴ میلی‌متر در سال است (۱). افزایش آزاد و پورکی (۱۳۸۹) زمان تمرکز را بر اساس رابطه کریچ برای حوضه سیاهرود معادل ۵/۱۴ ساعت محاسبه کردند. این پژوهشگران میانگین دبی



شکل ۲- بارندگی ماهانه حوضه در سال آبی ۹۰-۸۹.

Figure 2. Monthly rainfall of the watershed during 2010-2011.

روش پرسولفات پتاسیم هضم و فسفر کل آن با روش اسید آسکوربیک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۸۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۲). برای تعیین فسفر محلول، نمونه‌ها قبل از هضم با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۴ فیلتر گردید. فسفر چسبیده به ذرات نیز از تفاضل فسفر کل و فسفر محلول به‌دست آمد (۲۲). 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 (سه لایه) فیلتر کرد (۲۲). میزان کل مواد جامد محلول (TDS) به روش وزنی اندازه‌گیری گردید (۲۷).

نمونه‌برداری از آب رودخانه سیاهرود در شش نقطه، به ترتیب از بالادست روستای جوکلبندان، پارک جنگلی سراوان، درب دانشگاه گیلان، شاخه سنگر قبل از پیوستن به رودخانه اصلی، میدان گیل (ابتدای شهر رشت) و گلزار (انتهای شهر رشت) انجام پذیرفت. نمونه‌برداری در طول ۱۰ ماه به‌طور ماهانه و در آخر هر ماه انجام شد. نمونه‌برداری از مرکز جریان با استفاده از ظروف پلی‌اتیلنی صورت گرفت. نمونه‌های جمع‌آوری شده در دمای ۴ درجه سلیسیوس نگهداری و سپس برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شدند. اولین نمونه‌برداری در ۳۰ آذرماه ۱۳۸۹ و آخرین نمونه‌برداری در ۳۰ شهریور سال ۱۳۹۰ انجام گرفت. برای اندازه‌گیری فسفر کل، ابتدا نمونه‌ها به

1- Total dissolved solid

تغییرات ماهانه فسفر کل در نقاط مورد اندازه‌گیری در رودخانه سیاهرود در شکل ۳ آمده است. حد استاندارد میزان فسفر کل در آب، ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر است (۳۰). برخی از پژوهشگران (۹ و ۲۱)، غلظت فسفر بین محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر را غلظتی دانستند که باعث رشد شدید جلبک‌های مضر در آب می‌شود. شاریلی و همکاران (۲۰۰۳) پیشنهاد کردند که اگر غلظت فسفر در آب دریاچه بالاتر از ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر باشد، معمولاً باعث تسریع در غنی‌شدگی^۱ می‌گردد (۱۹). البته باید اشاره کرد که میزان غلظت فسفر در آب برای تعیین غلظت آستانه، بستگی به منطقه مورد بررسی دارد. در این رودخانه، دامنه تغییرات میزان فسفر کل بین صفر تا ۰/۶۵ میلی‌گرم در لیتر بوده است و هرچه از مناطق جنگلی (سرشاخه رودخانه) فاصله گرفته و به مناطق شهری (انتهای رودخانه) نزدیک می‌شود، میزان فسفر آب بیش‌تر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در گلسار (انتهای محدوده شهر رشت)، میزان فسفر کل آب بیش‌تر از حد استاندارد است. همچنین در میدان گیل (ابتدای شهر رشت) نیز در نیمی از ماه‌های اندازه‌گیری‌شده (خرداد، تیر، مرداد، آذر و دی‌ماه)، میزان فسفر بیش از حد استاندارد است و باعث رخداد پدیده غنی‌شدگی می‌شود. به‌طورکلی، فسفر ارتباط زمانی و مکانی پیچیده‌ای با رواناب داشته و عواملی مانند شدت رواناب، دفعات تشکیل رواناب، مدیریت اراضی، فعالیت‌های انسانی، رخدادهای فصلی و شدت و مدت بارندگی بر روی خروج فسفر از اراضی تأثیر می‌گذارند. با پژوهش‌هایی که در نیوزیلند صورت گرفت غلظت ۰/۱۵ تا ۰/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر فسفر مشاهده شد (۱۷).

مقدار نیتروژن نیز با استفاده از روش هضم با دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد (۲۷). مقدار نیتروژن فقط در چهار ماه آذر، دی، بهمن و اسفند اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ در سطح ۵ درصد آماری با آزمون دانکن انجام شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ رسم شد.

نتایج و بحث

در جدول ۲ برخی آماره‌های مربوط به اشکال مختلف فسفر در مکان‌های مختلف رودخانه آمده است. به‌طور متوسط، در چهار نقطه، سهم فسفر محلول خروجی از فسفر چسبیده به ذرات بیش‌تر است، اما در نقاط جوکلبندان و سنگر میانگین فسفر چسبیده به ذرات از فسفر محلول بیش‌تر است. علت این موضوع را می‌توان به کاربری و وضعیت توپوگرافی این نقاط نسبت داد. در بخش جوکلبندان کاربری عمدتاً جنگل بوده و بر اساس فرسایش خاک فسفر منتقل می‌شود، در این منطقه شیب اراضی زیاد بوده و بر اثر بارندگی ذرات خاک که فسفر به آن‌ها متصل شده است به پایین‌دست منطقه انتقال می‌یابند. در منطقه سنگر نیز کاربری زراعی بخش زیادی از منطقه را شامل شده است و به‌دلیل فعالیت کشاورزی و اتصال فسفر به ذرات خاک و انتقال توسط رواناب‌های منطقه انجام گرفته است. یکی دیگر از منابع اصلی آلودگی فسفر، وجود محل دفن زباله در نزدیکی منطقه سنگر است. ایده و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که بیش‌ترین شکل هدررفت فسفر در اتصال به ذرات خاک می‌باشد که مقدار آن بسته به شرایط حاکم بر سیستم آبخیز در وقایع مختلف و حتی در طول یک بارش، دارای نوسانات زیادی است (۱۱).

جدول ۲- مشخصات آماری اشکال مختلف فسفر (میلی گرم در لیتر).

Table 2. Statistical characteristic of various forms of phosphorus (mg/L).

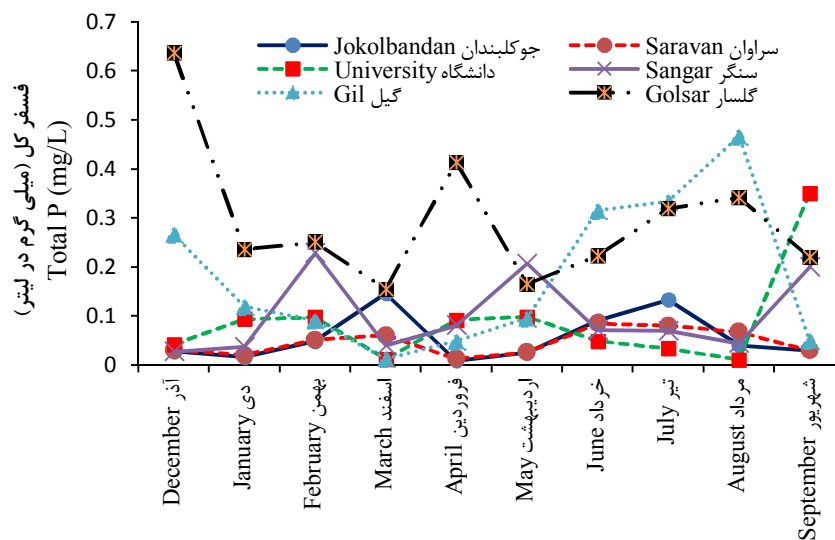
CV (%)	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	شکل فسفر Phosphorous Fractions	محل Location
82.4	0.008	0.146	0.057	فسفر کل Total P	
86.7	0.004	0.100	0.032	فسفر محلول Dissolved P	جوکلبندان Jokolbandan
140.6	0.001	0.126	0.025	فسفر چسبیده به ذرات Particulate P	
55.9	0.012	0.084	0.046	فسفر کل Total P	
76.0	0.002	0.066	0.029	فسفر محلول Dissolved P	سراوان Saravan
98.1	0.001	0.057	0.017	فسفر چسبیده به ذرات Particulate P	
111.7	0.010	0.350	0.088	فسفر کل Total P	
90.4	0.000	0.087	0.035	فسفر محلول Dissolved P	دانشگاه University
90.1	0.006	0.047	0.022	فسفر چسبیده به ذرات Particulate P	
78.4	0.027	0.228	0.100	فسفر کل Total P	
99.9	0.000	0.096	0.026	فسفر محلول Dissolved P	سنگر Sangar
86.8	0.001	0.192	0.069	فسفر چسبیده به ذرات Particulate P	
85.3	0.012	0.467	0.180	فسفر کل Total P	
105.1	0.003	0.366	0.116	فسفر محلول Dissolved P	گیل Gil
64.1	0.009	0.140	0.064	فسفر چسبیده به ذرات Particulate P	
48.6	0.154	0.637	0.296	فسفر کل Total P	
48.7	0.060	0.408	0.195	فسفر محلول Dissolved P	گلسار Golsar
59.0	0.018	0.229	0.101	فسفر چسبیده به ذرات Particulate P	

رودخانه است. با این حال، به طور یقین نمی توان بیان کرد که اگر بارندگی خیلی زیاد شود خروج فسفر افزایش می یابد (۲۹). اما نتایج به خوبی نشان می دهد

نتایج نشان داد که مقدار فسفر موجود در آب رودخانه دارای تغییرات فصلی است و به احتمال زیاد تا حدودی تابعی از رژیم بارندگی حوضه و دبی

آلودگی به داخل رودخانه پی برد. نتایج شکل ۳ نشان داد که ورود فاضلاب‌های شهری نقش مهمی در افزایش آلودگی رودخانه دارد. البته میزان بالای فسفر در منطقه گلزار فقط به‌خاطر ورود فاضلاب شهری نیست چرا که این منطقه در خروجی حوضه قرار دارد و سایر نقاط بالادست نیز در آلودگی آن نقش دارند. بیش‌ترین غلظت فسفر در آب را فصول کم‌باران و کم‌ترین مقدار در فصل زمستان که بارندگی زیاد است، مشاهده می‌شود. روند تغییرات فسفر در مناطق شهری بر خلاف مناطق کشاورزی و جنگلی است. در فصل زمستان به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی و افزایش بارندگی در مناطق جنگلی و کشاورزی، فرسایش باعث خروج فسفر از خاک می‌شود (شکل ۳).

که با حرکت از سرشاخه رودخانه به سمت پایین‌دست و تغییر کاربری اراضی از جنگل به کشاورزی و در نهایت کاربری شهری، میزان غلظت فسفر کل آب رودخانه افزایش یافته که بیانگر اثر زیاد فاضلاب‌های شهری و تأثیر هرزآب‌های کشاورزی در آلودگی رودخانه به فسفر است. در این مورد، زیادی غلظت فسفر در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در ایستگاه گیل که در ابتدای شهر و انتهای محدوده با کاربری کشاورزی واقع است را شاید بتوان به دوره کشت و کار برنج مرتبط دانست. مقدار خروجی فسفر کل در نقطه گلزار (انتهای کاربری شهری) بیش‌تر از گیل (ابتدای کاربری شهری) بود، با مقایسه این دو نقطه می‌توان به نقش ورود فاضلاب‌های شهری در ورود



شکل ۳- تغییرات ماهانه فسفر کل.

Figure 3. Monthly changes in total phosphorous.

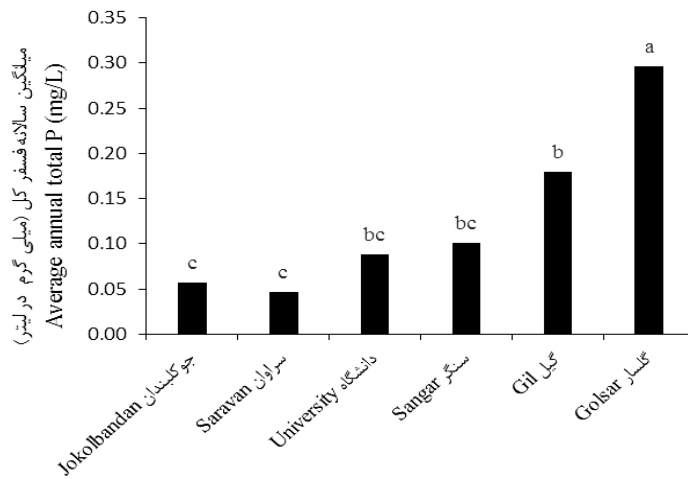
اختلاف معنی‌داری است. غلظت فسفر کل در منطقه گیل نیز نسبت به مناطق قبل (جوکلبندان، سراوان، دانشگاه و سنگر) و بعد (گلزار) دارای اختلاف معنی‌دار است.

شکل ۵ نشان می‌دهد که به‌طور کلی روند تغییرات فسفر محلول شبیه تغییرات فسفر کل است. در منطقه

در شکل ۴ مقایسه میانگین سالانه فسفر کل مناطق مختلف مورد مطالعه آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین جوکلبندان، سراوان، دانشگاه و سنگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین مقدار فسفر کل سالانه در منطقه گلزار به‌دست آمد و با سایر مناطق دارای

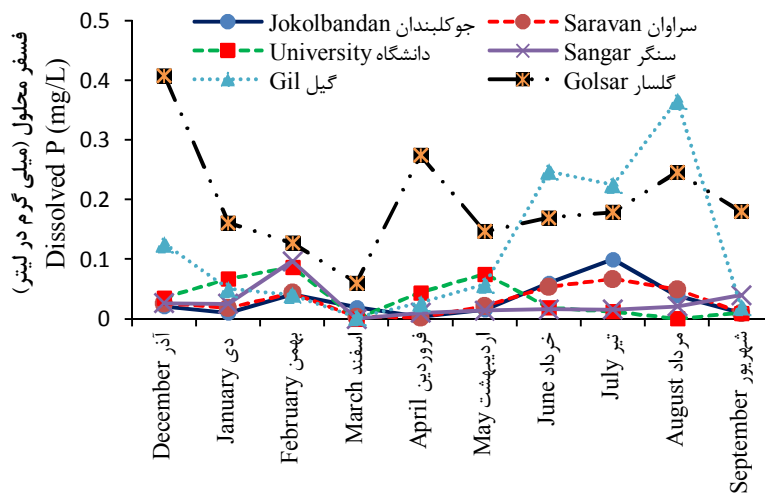
واکنش‌پذیر محلول تبدیل شده و مورد استفاده موجودات آبی قرار می‌گیرد (۶). در شکل ۶ نیز مقایسه میانگین سالانه فسفر محلول ارائه شده است. بیش‌ترین مقدار فسفر محلول سالانه نیز در ناحیه گلسار (۰/۱۹۵ میلی‌گرم در لیتر) به‌دست آمده و با سایر نقاط اختلاف معنی‌داری دارد، همچنین در ناحیه گیل (۰/۱۱۶ میلی‌گرم در لیتر) نیز بعد از گلسار دارای بیش‌ترین مقدار فسفر محلول بوده و با چهار منطقه دیگر دارای تفاوت معنی‌داری است.

شهری (گلسار)، میزان فسفر محلول در آب بیش از سایر کاربری‌ها است که علت آن ورود فاضلاب‌های شهری به داخل آب رودخانه در این منطقه است که به‌طور مستقیم فسفر را وارد پیکره آب می‌کند. در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد، بیش‌ترین غلظت فسفر محلول مربوط به ایستگاه گیل است که تأیید دیگری بر منشاء کشاورزی بودن آن در اثر مصرف زیاد کود در این منطقه است. به اعتقاد برخی از پژوهشگران، فسفر پیوند شده به مواد معلق، در طول زمان به فسفر



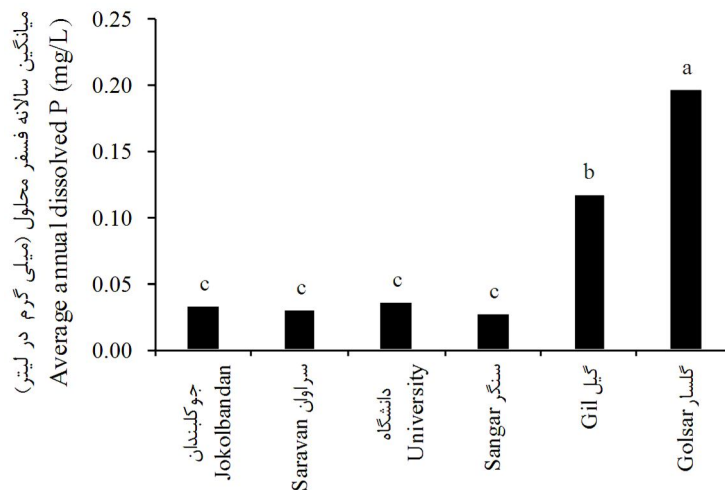
شکل ۴- تغییرات متوسط سالانه فسفر کل در مکان‌های مختلف.

Figure 4. Mean annual changes in total phosphorous at different sites.



شکل ۵- تغییرات ماهانه فسفر محلول.

Figure 5. Monthly changes in dissolved phosphorous.

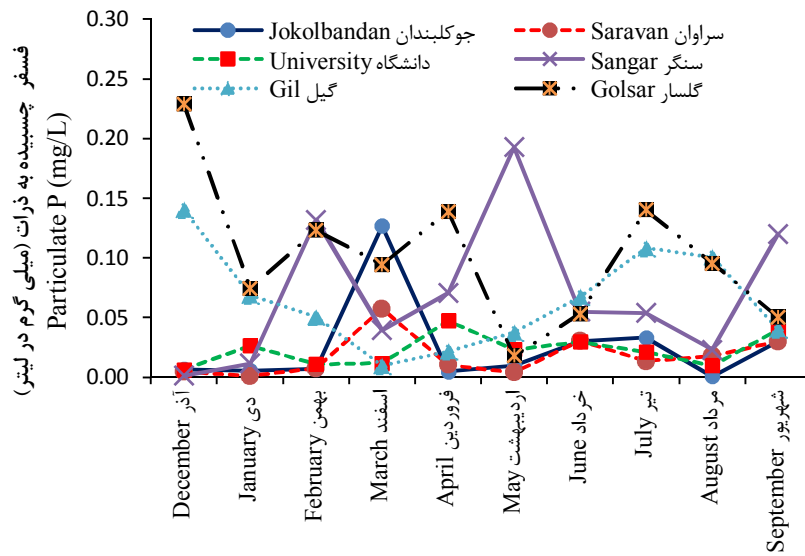


شکل ۶- تغییرات متوسط سالانه فسفر محلول در مکان‌های مختلف.

Figure 6. Mean annual changes in dissolved phosphorous at different sites.

مناطق جنگلی کاهش می‌یابد. علت این مسأله این است که وقتی جریان رواناب کاهش یابد طبیعتاً میزان خروج خاک نیز کاهش خواهد یافت و در مناطق جنگلی به دلیل وجود پوشش گیاهی شامل برگ‌های ریزش کرده سال‌های قبل خروج مواد کاهش بیش‌تری می‌یابد. در رودخانه‌های با حجم زیاد آب، فسفر معمولاً از طریق مواد معلق و اکسیدهای فلزی منتقل می‌شود ولی در رواناب‌های جاری و رودخانه‌های کوچک، فسفر بیش‌تر به صورت محلول وجود دارد (۱۶). انتقال فسفر، به فرسایش و تحرک رسوبات نیز بستگی دارد (۲۳). وقتی مقدار سزکوئی اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک زیاد باشد به دلیل داشتن ظرفیت جذب بالای فسفر، هدررفت فسفر به صورت محلول کاهش می‌یابد، ولی وقتی در اثر فرسایش وارد آب می‌شوند فسفر آن‌ها به تدریج آزاد شده و فسفر آب را افزایش می‌دهد (۱۸).

در شکل ۷ وضعیت تغییرات فسفر چسبیده به ذرات در نقاط مختلف در طول سال ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ماه‌هایی که بارندگی زیاد است (فصل زمستان)، در مناطق کشاورزی و جنگلی که خاک از پوشش کافی برخوردار نیست به دلیل فرسایش و ورود رسوبات به داخل رودخانه‌ها، میزان فسفر چسبیده به ذرات افزایش می‌یابد. اما در مناطق شهری افزایش بارندگی باعث افزایش اثر رقت گردیده در نتیجه در این مناطق غلظت فسفر آب کاهش پیدا می‌کند. افزایش ناگهانی و بسیار شدید غلظت فسفر چسبیده به ذرات در نقطه نمونه‌برداری جوکلبندان در اسفندماه می‌تواند مرتبط با ریزش دیواره رودخانه به دلیل ساخت و ساز دستکاری حاشیه رودخانه در روستای جوکلبندان و در نتیجه افزایش غلظت رسوب باشد. با کاهش بارندگی میزان جریان‌های سطحی ورودی به داخل رودخانه نیز کاهش یافته و میزان خروج فسفر چسبیده به ذرات در

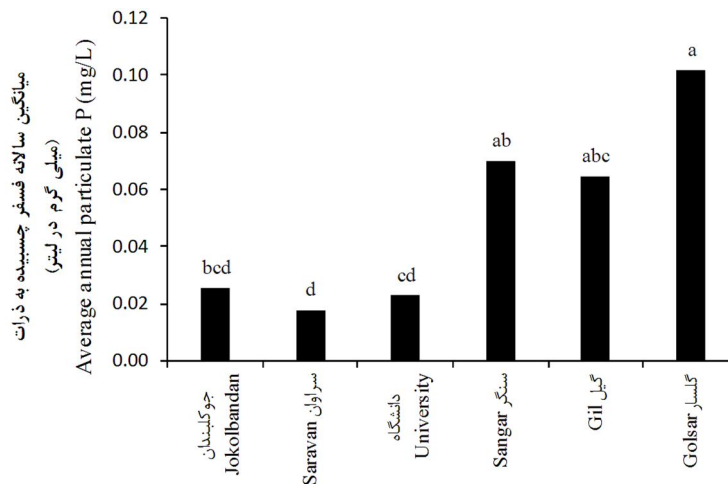


شکل ۷- تغییرات ماهانه فسفر چسبیده به ذرات.

Figure 7. Monthly changes in particulate phosphorous.

نتایج مقایسه میانگین نشان داده است که بین فسفر محلول و فسفر چسبیده به ذرات از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. در حالی که اسدی (۲۰۱۶) طی مطالعه‌ای بر روی حوضه پسیخان نشان داد که فسفر عمدتاً به صورت چسبیده به ذرات منتقل می‌شود (۴).

نتایج مقایسه میانگین سالانه فسفر چسبیده به ذرات در طول رودخانه در شکل ۸ ارایه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در انتهای منطقه مورد مطالعه (گیل و گلسار) تفاوت معنی‌داری در مقدار فسفر چسبیده به ذرات مشاهده نشد، هر چند که در منطقه گلسار افزایش یافته است. کم‌ترین مقدار نیز در منطقه سراوان (۰/۰۱۷ میلی‌گرم در لیتر) مشاهده شد.

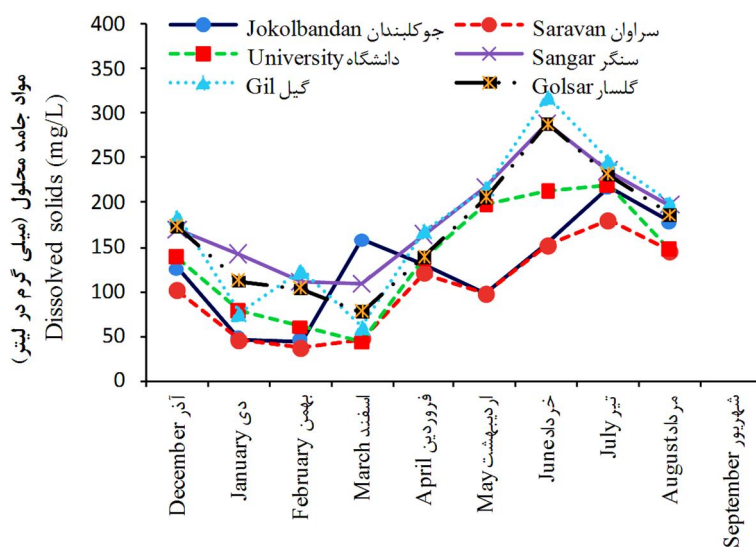


شکل ۸- تغییرات متوسط سالانه فسفر چسبیده به ذرات در مکان‌های مختلف.

Figure 8. Mean annual changes in particulate phosphorous at different sites.

که هر دو دارای کاربری شهری هستند، اختلاف زیادی مشاهده نشد. شاید بتوان علت زیاد بودن مواد جامد محلول در منطقه گیل را به فعالیت‌های پل‌سازی و عمرانی در منطقه نسبت داد (این فعالیت در سال انجام پژوهش در حال انجام بوده است). مواد جامد محلول موجود در منطقه گل‌سار مربوط به عوامل ایجادکننده مواد جامد محلول در بالادست آن می‌باشد. در فصل زمستان به دلیل بارندگی زیاد و اثر رقت کم‌ترین مقدار کل مواد جامد محلول مشاهده شده و در فصل بهار و اوایل تابستان به دلیل کاهش حجم آب مقدار غلظت مواد جامد محلول افزایش پیدا می‌کند. با توجه به این‌که زهکش‌های زیادی به شاخه اصلی این رودخانه وارد می‌شود، مقدار مواد معلق در این حوضه بالا است.

تغییرات زمانی و مکانی میزان مواد جامد محلول در رودخانه سیاهرود در شکل ۹ ارایه شده است. مواد جامد محلول در مناطق شهری بیش‌ترین و در مناطق جنگلی کم‌ترین مقدار را دارد. منطقه سراوان با کاربری عمده جنگلی دارای کم‌ترین مقدار مواد جامد محلول است. احتمالاً علت این موضوع را می‌توان به شیب نسبتاً ملایم این منطقه نسبت به منطقه بالادست آن و همچنین وجود پوشش گیاهی در این منطقه نسبت داد. سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (۱۹۷۳) پژوهشی به منظور مقایسه بار آلودگی رواناب در مناطق شهری، کشاورزی و روستایی انجام داد و به این نتیجه رسیدند که مقدار مواد معلق جامد در رواناب‌های شهری بیش‌تر از رواناب‌های کشاورزی است (۲۶)، که با نتایج به دست آمده از این پژوهش (شکل ۹) مطابقت دارد. بین دو منطقه گیل و گل‌سار



شکل ۹- تغییرات ماهانه کل مواد جامد محلول.

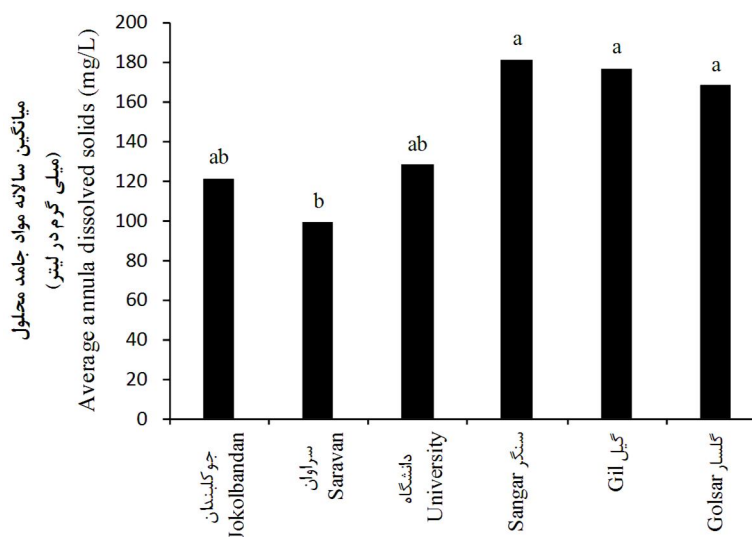
Figure 9. Monthly changes in dissolved solids.

مواد جامد محلول در این پژوهش و حد استاندارد ذکر شده مشاهده می‌شود که در منطقه مورد مطالعه از نظر مواد جامد محلول به حد بحرانی نرسیده است. در شکل ۱۰ مقایسه میانگین مواد جامد محلول نواحی

حد استاندارد مواد جامد محلول در آب ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است و اگر مقدار آن از حد استاندارد بیش‌تر شود، زندگی گیاهان و جانوران آبی دچار مخاطره می‌شود (۵). با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده

مواد جامد محلول وجود ندارد و بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب در سنگر (۱۸۰/۹ میلی گرم در لیتر) و (۹۸/۸ میلی گرم در لیتر) اندازه گیری شد.

مختلف مورد مطالعه در رودخانه نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، از نظر آماری اختلاف زیادی بین نواحی مختلف در طول سال برای

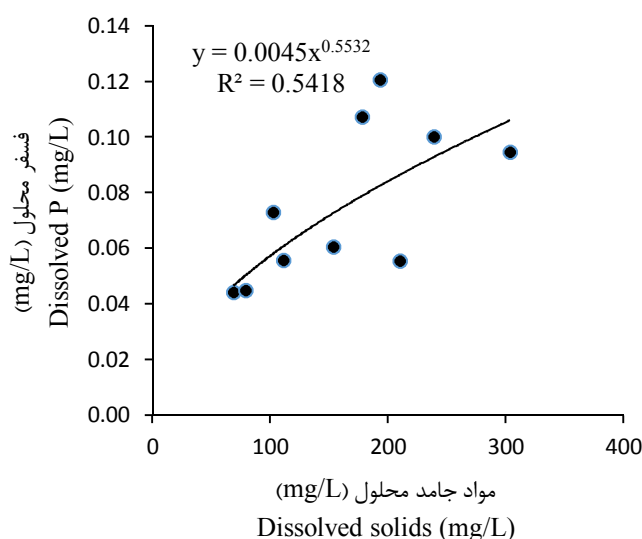


شکل ۱۰- مقایسه میانگین سالانه مواد جامد محلول.

Figure 10. Mean annual changes in dissolved solids.

مدت بسیار طولانی تری ته نشین می شوند و با کوچکترین تلاطم آب، دوباره به حالت معلق ظاهر می شوند. با تشدید شرایط دینامیکی آب یا با تغییر در پتانسیل رداکس، ذرات جامد ممکن است دوباره معلق گشته و عناصر جذبی خود مانند فسفر و نیتروژن را در آب آزاد کنند (۳۲). اصولاً فسفر به شکل کمپلکس درون کره ای روی سطوح کلویید جذب می شود. یعنی جذب فسفر در موقعیت های به خصوصی از سطوح کلویید صورت می گیرد طوری که بین سطح و یون فسفات هیچ مولکول آبی حضور نداشته و یون فسفات مستقیماً به گروه های عاملی موجود در روی سطوح کلوییدها جذب می شود. جذب فسفر در دو مرحله جذب سطحی و رسوب به شکل پی در پی صورت می گیرد (۳).

در شکل ۱۱ رابطه بین مواد جامد محلول و فسفر محلول آمده است. همانگونه که مشاهده می شود، بین این دو ویژگی یک رابطه نمایی وجود دارد و با افزایش مقدار مواد جامد محلول مقدار فسفر محلول نیز افزایش یافته است. رسوبات در طول شیب از طریق آبراهه به پایین دست حرکت می کنند، به این نحو که ابتدا ذرات درشت تر با طی مسیری، در اثر کاهش قدرت انتقال رواناب رسوب می کند و ذرات ریزتر مانند مواد آلی و رس ها و ذراتی در اندازه سیلت به همراه فسفر محلول آب وارد اکوسیستم های آبی می شوند. درحوضه های آبخیزی که این وقایع روی می دهد در نهایت رسوبات به رودخانه ها، مخازن آب مانند دریاچه های طبیعی، برکه ها و مخازن پشت سدها رسیده و ته نشین می شود. برخی از بخش های ریز مواد فرسایش یافته به قدری ریز هستند که در



شکل ۱۱- ارتباط بین (الف) فسفر محلول و مواد جامد محلول.

Figure 11. Relationship between dissolved P and dissolved solids.

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 است. هدررفت مواد غذایی از جنگل‌ها به تغییرات اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و اعمال مدیریتی بستگی دارد. ولی به‌طور کلی هدررفت عناصر غذایی از مناطق جنگلی کم‌تر از مناطق کشاورزی و شهری است. در فصل بهار فسفر خروجی بیشتر به‌صورت محلول است که با افزایش بارندگی و رواناب مقدار هدررفت آن افزایش می‌یابد. خروج فسفر از زمین‌های کشاورزی به‌شدت 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 به‌صورت چسبیده به ذرات است چون مقدار مواد معلق جامد افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که حوضه دارای موقعیت‌های مختلفی از نظر شیب است، در قسمت‌هایی از حوضه که شیب بالا بوده

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تغییرات مکانی و زمانی آلودگی فسفر و مواد جامد در رودخانه سیاهرود استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که مناطق شهری بیش‌ترین میزان خروج فسفر را داشته و این حوضه در فصول کم‌باران نیز نسبت به این عنصر دارای آلودگی می‌باشند. علت این موضوع ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به داخل رودخانه است. همچنین میزان آلودگی در مناطق انتهایی حوضه (گیل و گلسار) فقط به منابع آلودگی موجود در شهر بستگی ندارد چرا که آلودگی از بالادست و از نواحی جنگلی و کشاورزی نیز به این منطقه اضافه می‌شود. بررسی نتایج فسفر کل نشان داد که در فصل زمستان مقدار خروج فسفر از کاربری کشاورزی نسبت به سایر کاربری‌ها بیشتر است که علت این موضوع را به زمان کوددهی و عملیات‌های کاشت در فصل پاییز باید نسبت داد. اما در فصل تابستان در کاربری شهری مقدار خروج فسفر بیشتر می‌شود که ناشی از تأثیر بارندگی، جریان و نیز نوع مدیریت اراضی است. بررسی نتایج فسفر محلول نیز نشان داد که روند

جدا شدن ذرات و در نتیجه انتقال فسفر افزایش یافته است. فرسایش تأثیر بسیار زیادی در خروج فسفر از خاک دارد چون فسفر بیش تر به صورت چسبیده به ذرات در خاک وجود دارد به همین دلیل در اثر فرسایش مقدار زیادی فسفر به همراه ذرات خاک خارج می شود.

منابع

1. Afshariyad, M.R., and Pourkey, H. 2010. Estimation of erosion and sediment using geomorphologic qualitative methods and E.P.M and its comparison with sediment yield statistics in Siahroud basin of Guilan. *Geography Quarterly*, 4: 13. 60-78. (In Persian)
2. Alexander, R.B., Smith, R.A., Schwarz, G.E., Boyer, W., Nolan, J.V., and Brakebill, J.W. 2008. Differences in phosphorus and nitrogen delivery to the Gulf of Mexico from the Mississippi River Basin. *Environ. Sci. Technol.* 42: 822-830.
3. Arias, M.J., Carballal, S., Garcia-Rio, L., Mejuto, J., and Nunez, A. 2005. Retention of phosphorus by iron and aluminum-oxides-coated quartz particles. *Adv. Coll. Interface Sci.* 295: 65-70.
4. Asadi, H. 2016. Estimation of sediment, organic carbon and phosphorous loads from Pasikhan River into Anzali Wetland, Iran. *J. Environ. Prot.* 6: 1. 129-133.
5. Carbonaro, R.F. 2007. Effect of urban runoff on seasonal and spatial trends in the water quality of the Saw Mill River. Project No. 2006NY83B, Report submitted to the New York State Water Resources Institute, May 2, 2017, 13p.
6. Correll, D.L. 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A Review. *J. Environ. Qual.* 27: 261-266.
7. Daly, K., Jeffrey, D., and Tunney, H. 2001. The effect of soil type on phosphorus sorption capacity and desorption dynamics in Irish grassland soils. *Soil Use Manage.* 17: 12-20.
8. Diamond, J., and Sills, P. 2001. Soil water regimes. Final Project Report. Teagasc, Johnstown Castle, Wexford, Ireland, 33p.
9. Foy, R.H., and Withers, P.J.A. 1998. The contribution of agricultural phosphorus to eutrophication. In: *Proceedings of the fertilizer Society*, Vol. 365. Greenhill House, Thorpe Wood, Peterborough, UK.
10. Haygarth, P.M., and Jarvis, S.C. 1999. Transfer of phosphorus from agricultural soils. *Adv. Agron.* 66: 195-249.
11. Ide, J.I., Haga, H., Chiwa, M., and Otsuki, K. 2008. Effects of antecedent rain history on particulate phosphorus loss from a small forested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *J. Hydrol.* 352: 322-335.
12. Keup, L.E. 1968. Phosphorus in flowing waters. *J. Water Res.* 2: 373-86.
13. Klein, G., and Perera, P. 2002. Eutrophication and Health. *Environment Quality and Natural Resources European Commission*. L-2985, Luxembourg, 32p.
14. Kronvang, B., Laubel, A., and Grant, R. 1997. Suspended sediment and particulate phosphorus transport and delivery pathways in an Arable catchment, Gelbek stream, Denmark. *J. Hydrol. Process.* 11: 627-642.
15. Lory, J.A. 1995. Agriculture phosphorus and water quality. Department of Agronomy and Commercial Agriculture Program. Published by MU Extension, University of Missouri Columbia, 4 p. <https://extension2.missouri.edu/g9181>, last acquired on March 4, 2018.
16. Neal, C., Jarvie, H.P., Williams, R.J., Neal, M., Wickham, H., and Hill, L. 2002. Phosphorus-calcium carbonates saturation relationships in a lowland chalk river impacted by sewage inputs and phosphorus remediation: an assessment of phosphorus self-cleansing mechanisms in natural waters. *Sci. Total Environ.* 282: 295-310.
17. Nguyen, L., and Sukias, J. 2002. Phosphorus fractions and retention in drainage dish sediments receiving surface runoff and subsurface drainage from agricultural catchments in the North Island, New Zealand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 92: 49-69.

18. Reddy, K.R., Kadlec, R.H., Flaig, E., and Gale, P.M. 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 29: 83-146.
19. Sharpley, A.N., Daniel, T.T., and Sims, J. 2003. *Agricultural Phosphorus and Eutrophication*. 2th ed. United States Department of Agriculture, ARS-149.
20. Sheklabadi, M., Mahmoudzadeh, H., Mahboubi, A.A., Gharabaghi, B., and Ahrens, B. 2014. Land use effects on phosphorus sequestration in soil aggregates in western Iran. *Environ. Monit. Assess.* 186: 6493-6503.
21. Smith, C.M., Wilcock, R.J., Vant, W.N., Smith, D.G., and Cooper, A.B. 1993. Towards sustainable agriculture: Freshwater quality in New Zealand and the influence of agriculture. MAF Policy Technical Paper 93/10. New Zealand, Wellington, 208p.
22. Standard Analytical Procedures for Water Analysis. 1999. Government of India and Government of the Netherlands. Technical Assistance Hydrology Project. 80p.
23. Steegen, A., Govers, G., Takken, I., Nachtergaele, J., Poesen, J., and Merckx, R. 2001. Factors controlling sediment and phosphorus export from two Belgian agricultural catchments. *J. Environ. Qual.* 30: 1249-1258.
24. Stutter, M.I., Charles, A.Sh., Timothy, S.G., Martin, S.A.B., Liz, D., Roland, B., Regina, L.M., Alan, E.R., Leo, M.C., and Philip, M.H. 2015. Land use and soil factors affecting accumulation of phosphorus species in temperate soils. *Geoderma*. 257: 29-39.
25. Tarolli, P., and Sofia, G. 2016. Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. *Geomorphology*. 255: 140-161.
26. US. Environmental Protection Agency. 1973. 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.
27. Water and Watershed Research Jahad Company. 1999. Comprehensive flood control in Guilan province, soil science. Land evaluation and classification. Technical and Development Deputy of Guilan Provincial Office. (In Persian)
28. Winter, J.G., and Duthie, H.C. 2000. Export coefficient modeling to assess phosphorus loading in urban watersheds. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 36: 1053-1061.
29. Withers, P.J.A., and Jarvie, H.P. 2008. Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review. *Sci. Total Environ.* 400: 379-395.
30. Wood, C.W., Mullins, G.L., and Hajek, B.F. 2005. Phosphorus in Agriculture. Soil Quality Institute Technical Pamphlet, Bull. No. 2. 5p.
31. Xiaowen, D. 2010. The Simulation Research on Agriculture Non-Point Source Pollution in Yongdin River in Hebei Province. *Procedia Environ. Sci.* 2: 1770-1774.
32. Yang, Y.G., He, Z.L., Lin, Y., and Stoffella, P.J. 2010. Phosphorus availability in sediments from a tidal river receiving runoff water from agricultural fields. *Agric. Water Manage.* 97: 1722-1730.
33. Zhang, F., He, X., Gao, X., Zhang, C., and Keli, T. 2005. Effects of erosion patterns on nutrient loss following deforestation on the Loess Plateau of China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108: 85-97.



Study of temporal variations of phosphorus pollution along Siahroud river in Guilan province

V. Latifi¹, *H. Asadi², E. Ebrahimi³ and S.A. Moussavi⁴

¹M.Sc. Graduate, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, ²Associate Prof., Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, ³Ph.D. Student, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, ⁴Assistant Prof., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

Received: 08.21.2017; Accepted: 04.15.2018

Abstract

Background and Objectives: Phosphorus (P) is one of the essential elements for plant growth, which is considered as one of the potential sources of water pollution due to its excessive use as chemical fertilizers and also due to discharge of municipal and industrial wastewater into water resources. P has high spatial and temporal variations due to factors such as rainfall intensity, land use, slope and soil erosion. The aim of this study was to investigate the temporal variations of phosphorus pollution at various regions along the Siahroud river, located in Guilan province.

Materials and Methods: The study was conducted in the Siahroud watershed of Rasht with different land uses including forest (Jokolbandan and Saravan regions) as well as agricultural (Jokolbandan region), industrial (Saravan and University regions) and urban area (Gil and Golsar regions). Water samples were collected from the various regions of the river with different land uses during ten months. The contents of total, dissolved and suspended solids, along with total, soluble and particulate P were measured in water samples. Total P was measured by potassium persulfate digestion method. Nitrogen content was also determined according to *Kjeldahl method* in the samples taken on December, January, February and March.

Results: The results showed higher level of P pollution in the urban (Golsar with the value of 0.261 mg.L⁻¹) and industrial regions compared to other regions of the river. In winter, most of soluble P discharge was observed from the agricultural areas, while in summer the highest the urban areas. The maximum P pollution (0.296 mg.L⁻¹) was related to the Golsar region. In addition, the high level of total P in Jokolbandan (0.188 mg.L⁻¹) can be due to the destruction of forest and the steepness of slope in this region. The majority of the solid particles discharged from the watershed were also in the form of suspended solids (annual average, 503 mg.L⁻¹). The results of the mean comparison showed that there was a significant difference in the spatial variations of the concentration of various forms of P including total, soluble and particulate P and the highest amount of P was observed at the end of the river. Furthermore, the results showed that there was no significant difference between soluble and particulate P in the study area. The results showed an exponential relationship ($R^2 = 0.54$) between soluble phosphorus concentration and soluble solids. It was also observed that the output of phosphorus is also a function of time and the amount and form of P output significantly change with monthly variations.

Conclusion: In general, the rate of P pollution increased from the upstream to the downstream and showed high temporal variations. While soil erosion was recognized as the reason for high levels of P pollution in agriculture regions such as Sangar in rainy season, the discharge of municipal and industrial wastewater into the river was the reason for P pollution in the urban areas. Therefore, control of soil erosion in agricultural lands and preventing municipal and industrial wastewater discharge into the river will effectively reduce P pollution.

Keywords: Gravelius coefficient, Particulate phosphorus, Soil erosion, Soluble phosphorus, Soluble solids

* Corresponding Author; Email: ho.asadi@ut.ac.ir

Arc