نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دوم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۱

ISSN 2251-7480

تحلیل آورد رواناب، رسوب معلق و مواد مغذی ورودی‌های مختلف به دریاچه زریوار در پایه زمانی رگبار و آب پایه

شیرکو ابراهیمی محمدی[۱]، سید حمیدرضا صادقی[۲*] و کامران چپی

۱) دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ مازندران؛ ایران

۲*) استاد دانشکده منابع طبیعی؛ دانشگاه تربیت مدرس ؛ مازندران؛ ایران؛ مسئول مکاتبات: sadeghi@modares.ac.ir

۳) استادیار دانشکده منابع طبیعی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ مازندران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۳۰

چکیده

هر چند بررسی تغییرات زمانی و مکانی مولفه‌های هیدرولوژی اساس مدیریت صحیح و کارآی منابع آب و خاک در مقیاس حوزهٔ آبخیز محسوب می‌شود، لیکن این مهم کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بر همین اساس، در این تحقیق میزان آورد رواناب، رسوبات معلق و مواد مغذی محلول (نیترات و فسفات) از طریق ورودی‌های فعال دریاچه زریوار محاسبه و تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها بررسی گردیده است. برای این منظور، ۸ نقطه نمونه‌برداری روی ۷ ورودی دریاچه از فروردین ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ مورد پایش روزانه در شرایط جریان پایه و هم‌چنین نمونه‌برداری با فواصل زمانی یک ساعت در طول رگبارها قرار گرفت. طیّ سال ۱۳۹۰، میزان آورد رواناب، رسوب معلق، نیترات و فسفات ورودی به دریاچه به‌ترتیب برابر با ۹/۷ میلیون مترمکعب و ۶۸۵/۸ ،۲۵/۴ و ۱/۱۵ تن بود. با وقوع ۷ رگبار در دو دوره در این مدت به‌ترتیب ۱/۶ میلیون مترمکعب رواناب، ۶۸۵/۸ تن رسوب معلق، ۴ تن نیترات و ۲۱۱ کیلوگرم فسفات به دریاچه حمل گردید. در حالت آب پایه ۸/۱ میلیون مترمکعب رواناب، ۷۱۸/۶۵ کیلوگرم رسوب معلق، ۲۱/۴ تن نیترات و ۹۴۴/۳۵ کیلوگرم فسفات وارد دریاچه شد. نتایج تحقیق حاکی از مشارکت مکانی بسیار بیش‌تر بخش‌های شمالی حوزه آبخیز دریاچه زریوار در آورد رواناب و نیترات بود. همچنین بیش‌ترین آورد رسوبات معلق از بخش‌های شمالی و غربی دریاچه بود. در حالی‌که بخش غربی دریاچه بیش‌ترین آورد فسفات را داشت. از نظر زمانی نیز بیش‌ترین آورد رواناب، رسوب معلق، نیترات و فسفات به‌ترتیب در فصول بهار و زمستان اتفاق افتاد. همچنین، حدود ۸۲ درصد رسوب معلق در دوره مطالعاتی طی یک بارش بهاره ۵۰ ساعته وارد دریاچه زریوار شده که نشان‌گر تغییرپذیری بسیار زیاد رسوب معلق در شرایط رگبار و ضرورت لحاظ آن در مدیریت منابع آب و خاک در حوزهٔ آبخیز بسته این دریاچه است.

واژه‌های کلیدی: مواد مغذی؛ رواناب؛ رسوب معلق؛ مقیاس زمانی؛ دریاچه زریوار

مقدمه

حوزه‌های آبخیز دریاچه‌ای به دلیل دارا بودن پتانسیل‌های خاص خود از جمله تعادل اکوسیستم منطقه، حفظ و بقای گونه‌های خاص و ذخایر ژنتیکی موجودات آبزی، جاذبه-های گردشگری، پرورش‌ماهی و بهره‌برداری برای مصارف کشاورزی دارای اهمیت فراوانی هستند. ورود رسوبات - معلق و مواد مغذی[1] توسط رواناب به خروجی آبخیز یا سطوح اساس، یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کیفیت سامانه‌های آبی است. در دهه‌های اخیر، مقادیر زیاد مواد مغذی در رودخانه‌های حوزه‌های آبخیز کشاورزی، به یکی از مشکلات زیست محیطی جهان تبدیل شده است (Heathwaite *et al.*,1996; Blanco *et al.*, 2010) هم‌چنین

[1] - Nutrients

غلظت‌های بالای مواد مغذی در آب‌های سطحی نقش مهمی در افزایش جلبک‌ها و در نتیجه باروری اکوسیستم-های آبی[۲] دارد (Garnier *et al*., 1995; Sharpley *et al*., 2003; Jarvie *et al*., 2005). اگرچه انباشتگی مواد مغذی به‌عنوان پدیده‌ای موثر بر تغییر کیفیت آب شناخته شده است، اما رسوبات معلق به‌علت دارا بودن مواد مغذی ذره-ای و هم‌چنین تاثیر بر چگالی، نفوذ نور و دمای آب (Eder *et al*., 2010) تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر این فرایند دارند. از این‌رو، رسوب معلق به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد هیدرولوژیک، ژئومرفولوژیک و اکولوژیک حوزه‌های آبخیز و عامل اصلی کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها شناخته شده است (USEPA, 2000).

تغییرات حمل رسوبات معلق به‌صورت مکانی و زمانی در مقیاس حوزه آبخیز به‌طور گسترده‌ای مطالعه شده است (Walling and Kane, 1982; de Vente and Posen, 2005; Ali and De Boer, 2007; Nadal-Romero *et al*., 2008; Wilkinson *et al*., 2009) اگرچه بار رسوب معلق به‌وسیله مدل‌های فیزیکی[۳] قابل برآورد هستند (de Vente *et al*., 2006; Gao, 2008; Kliment *et al*., 2008) لیکن نتایج این مدل‌ها نیازمند ارزیابی با داده‌های رسوب اندازه-گیری شده می‌باشد.

عموماً دو دیدگاه پذیرفته شده برای محاسبه بار رسوب معلق با توجه به دقت و نوع داده‌ها وجود دارد. دیدگاه اول روش درون‌یابی[۴] (Walling and Webb, 1981) است که نیازمند نمونه‌برداری منظم رسوب است. در این روش بار رسوب به کمک میانگین غلظت رسوب معلق و دبی آب در دوره‌های زمانی خاص از قبیل یک ساعت، یک روز و یا یک ماه محاسبه می‌شود. بر اساس فرضیات مختلف، شش معادله برای محاسبه بار رسوب معلق در رابطه با تغییرات مختلف زمانی داده‌ها ارائه شده است (Walling and Webb, 1981). این روش‌ها در مورد برآورد بلندمدت بار رسوب معلق و تخمین بار مواد مغذی توسط محققین مختلف نیز به کار گرفته شده‌اند (Li *et al*., 2003; Bowes *et al*., 2005; Quilbe *et al*., 2006; Pepin *et al*., 2010). دیدگاه دوم، تجزیه و تحلیل رگرسیون یا روش برون‌یابی[۵] می‌باشد (Walling and Webb,1981) که متداول‌ترین آنها روش منحنی سنجه رسوب است (Kazama *et al*., 2005; Mano *et al*., 2009; Alexandrov *et al*., 2010). در هر صورت اندازه‌گیری داده‌های مختلف هیدرولوژیک برای ارزیابی دقیق عملکرد سامانهٔ آبخیز و رفتارسنجی آن ضروری است.

استفاده مفرط از کودها در اراضی کشاورزی یکی از بزرگ‌ترین منابع ورود مواد مغذی به سامانه‌های آب شیرین است (Cloern, 2001). از طرفی نیتروژن و فسفر در بین مواد مغذی متنوع، بیش‌ترین تاثیر را بر کیفیت آب دارند. وجود داده‌های بلندمدت غلظت مواد مغذی به متخصصین محیط زیست و مدیران آبخیزها امکان تجزیه و تحلیل میزان ورود آن‌ها به منابع آب، بررسی روند و رفتار آن‌ها، ارزیابی اقدامات حفاظتی/اصلاحی گذشته و اتخاذ تصمیمات موثر در خصوص کنترل مواد مغذی در آینده را می‌دهد (Burt, 2003). با انجام برنامه‌های پایش آبخیزها می‌توان چنین داده‌هایی را جمع‌آوری نمود (Oeurng, 2010). از طرفی به‌دلیل اضافه شدن منابع آب جدید طیّ وقایع سیلابی و در نتیجه فعال شدن منابع مختلف مواد مغذی در حوزه آبخیز، بررسی دوره‌های فعال هیدرولوژیکی به‌ویژه سیلاب‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است (Kronvang *et al*., 1997; Buda and DeWalle, 2009). انتقال مواد مغذی وابسته به خصوصیات آبخیز و فرآیندهای هیدرولوژیکی حاکم است (Cirmo and McDonnel, 1997) بنابراین اندازه‌گیری بار رسوب در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف برای مدیریت حوزه آبخیز بسیار مهم می‌باشد (Kuhnle and Simon, 2000) به

[2] - Eutrophication
[3] - Physically-Based Model
[4] - Interpolation
[5] - Extrapolation

ویژه اطلاع از میزان آورد رواناب، رسوبات معلق و آلاینده-های حوزه‌های آبخیز به‌خصوص حوزه‌های آبخیز دریاچه-ای و مدیریت ورودی‌های فعال آن‌ها بسیار ضروری است. حوزه آبخیز دریاچه زریوار یکی از منحصر به فردترین دریاچه‌های آب شیرین جهان به‌شمار می‌رود، اما تاکنون به‌جز انجام چند مطالعه محدود در خصوص وضعیت لیمنولوژیک دریاچه و فرسایش و رسوب به کمک مدل-های قدیمی، تحقیقی در خصوص میزان آورد رواناب، رسوب معلق و مواد مغذی در آن انجام نگرفته و با توجه به انباشتگی مواد مغذی در آن (استانداری کردستان، ۱۳۸٦) نیاز به بررسی بیشتر دارد. بر اساس مطالعات تفضیلی-اجرایی آبخیزداری حوزه آبخیز دریاچه زریوار (اداره کل منابع طبیعی استان کردستان، ۱۳۸٦) به‌دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در ورودی‌های دریاچه و هم‌چنین آمار و ارقام از وضعیت فرسایش و رسوب‌دهی این آبخیز، با استفاده از روش تجربی MPSIAC، میزان کل رسوب تولیدی توسط واحدهای این حوزه آبخیز در حدود ٤۳٥۱٦ متر مکعب در سال برآورد شد. در تحقیقی دیگر بر اساس مدل EPM، شدت فرسایش در حوزه آبخیز دریاچه زریوار ۱٤٦۰ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال برآورد و فرسایش بخش‌های زیادی از حوزه آبخیز دریاچه زریوار زیاد توصیف شده است (بیات و همکاران، ۱۳۹۲). با وجود این، مرور منابع نشان می‌دهد که هیچ‌گونه اطلاعاتی در خصوص آورد رواناب، رسوب معلق و مواد مغذی در منطقه مورد مطالعه و طبیعتاً در مقیاس‌های زمانی مختلف و توزیع مکانی وجود نداشته است. لذا در این تحقیق میزان آورد رواناب، رسوب معلق و مواد مغذی به دریاچه زریوار در شرایط مختلف هیدرولوژیک، وقایع رگباری و پایه و هم‌چنین تغییرات زمانی و میزان مشارکت مکانی ورودی-های مختلف دریاچه بررسی و تحلیل شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه زریوار در غرب شهرستان مریوان در استان کردستان در محدوده جغرافیایی طول شمالی "۵۲ '۰۳ °٤٦ تا "٤۷ '۱۰ °٤٦ و عرض شرقی "۳۰ '۳۱ °۳٥ تا "۰٦ '۳۷ °۳٥ می‌باشد. این منطقه شامل یک حوزه آبخیز تقریباً داخلی است که زهکش ارتفاعات اطراف وارد دریاچه‌ای در مرکز به نام زریوار شده و در صورت فزونی حجم رواناب از ظرفیت دریاچه، به‌طور طبیعی شروع به تخلیه رواناب مازاد از قسمت جنوبی آبخیز می‌نماید.

دریاچه زریوار با سطحی معادل ۲٤٤۱/۱ هکتار و محیطی برابر با ۲۷/۱ کیلومتر در بخش مرکزی آبخیز با امتداد تقریباً شمالی-جنوبی قرار گرفته که طول آن حدود ۸٥۹۰ متر و عرض آن در قسمت مرکزی دریاچه در حدود ۲٥٥٦ متر برآورد گردیده است. دریاچه به سه بخش عمده از داخل به خارج به‌صورت سطح آبی دریاچه در مرکز با مساحت ۹۱۱/۷ هکتار، سطح نیزار و چمن‌زارها با مساحت ۹۳٦/۹ هکتار و اراضی مرطوب و باتلاقی در بخش بیرونی با مساحت ٥۹۲/٥ هکتار تقسیم‌بندی می‌شود. در نگاه کلی به آبخیز، اراضی زراعی به‌خصوص به‌دلیل وجود اراضی مسطح با خاک عمیق و مناسب از دریاچه به‌سمت ارتفاعات گسترش یافته‌اند. این اراضی در مناطق مسطح‌تر به‌دلیل دسترسی به آب دریاچه، به‌صورت آبی و در مناطق دیگر به‌سمت دامنه ارتفاعات به‌دلیل ریزش‌های جوی مناسب در منطقه به‌صورت دیم مورد کشت قرار گرفته‌اند. به‌دلیل حجم ریزش‌های جوی مناسب در منطقه، تفکیک مرز زراعت آبی و دیم تا حدودی مشکل است ولی حدود آن تقریباً محدود به جاده آسفالته پیرامون دریاچه است. بدین شکل که تقریباً تمام اراضی واقع بین جاده دسترسی پیرامون دریاچه و سطح دریاچه، زیر کشت آبی و بقیه با اندکی اختلاف به‌صورت دیم مورد کشت و کار قرار می-گیرند.

ارتفاعات منطقه پوشیده از درختان جنگلی بلوط ایرانی است که با تراکم‌های متفاوت به‌چشم می‌خورد، این اراضی جنگلی به‌دلیل شرایط بهره‌برداری نادرست و به‌دلیل شرایط

خاک، سازند و شرایط توپوگرافی در برخی دامنه‌ها بسیار تنک شده ولی بیش‌ترین تراکم در ارتفاعات جنوب غرب، غرب و شمال غرب دیده می‌شود. در سرتاسر محدوده مطالعاتی حدود نه روستای مهم دره تفی، پیرصفا، کانی-سپیلکه، ینگیجه، برده‌رشه، کانی‌میران، محمده، سیف پایین و کولان وجود دارد که همگی پیرامون دریاچه و در دامنه ارتفاعات به‌طور تقریباً یکنواخت پراکنده شده‌اند.

ورودی‌های دریاچه متعدد است اما به دلایل زیر تنها ۸ نقطه نمونه‌برداری به‌شرح نمایش داده شده در شکل ۱ انتخاب گردید. نقاط ۱ و ۲ به‌ترتیب در بالادست و پایین-دست روستای دره‌تفی می‌باشند که رودخانه دائمی آن از وسط روستا عبور کرده و ضمن انتقال رسوبات در فصل بارش، فاضلاب قسمت اعظمی از خانه‌های روستایی را نیز مستقیماً به دریاچه حمل می‌کند. با برداشت نمونه از این دو محل می‌توان سهم آلایندگی دریاچه توسط حوزه آبخیز بالادست را از فاضلاب روستایی جدا کرد. نقاط نمونه-برداری ۳، ٤، ٥، ۷ و ۸ در آبراهه‌هایی انتخاب شده‌اند که مستقیماً وارد دریاچه می‌شوند. نقطه نمونه‌برداری ٦ نیز روی کانال جدا شده از بند انحرافی قزلچه‌سو قرار دارد. این کانال، رواناب فصلی یک حوزه آبخیز بزرگ شامل چندین روستا را به دریاچه می‌ریزد. ضمناً جهت رعایت نکات لازم برای نمونه‌برداری از قبیل دسترسی آسان به نقاط نمونه‌برداری و هم‌چنین محاسبه دبی در مقاطع ثابت، نقطه ۱ روی سرریز یک سد رسوب‌گیر قدیمی قرار گرفته اما دیگر نقاط در محل پل‌ها روی جاده آسفالته اصلی دور تا دور دریاچه مد نظر قرار گرفته است. هم‌چنین آبراهه-های مورد نظر ترجیحاً دائمی و یا حداقل فصلی بوده تا امکان ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی در آن‌ها میسر باشد. جدول ۱ خصوصیّات فیزیوگرافی و شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز دریاچه زریوار و نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

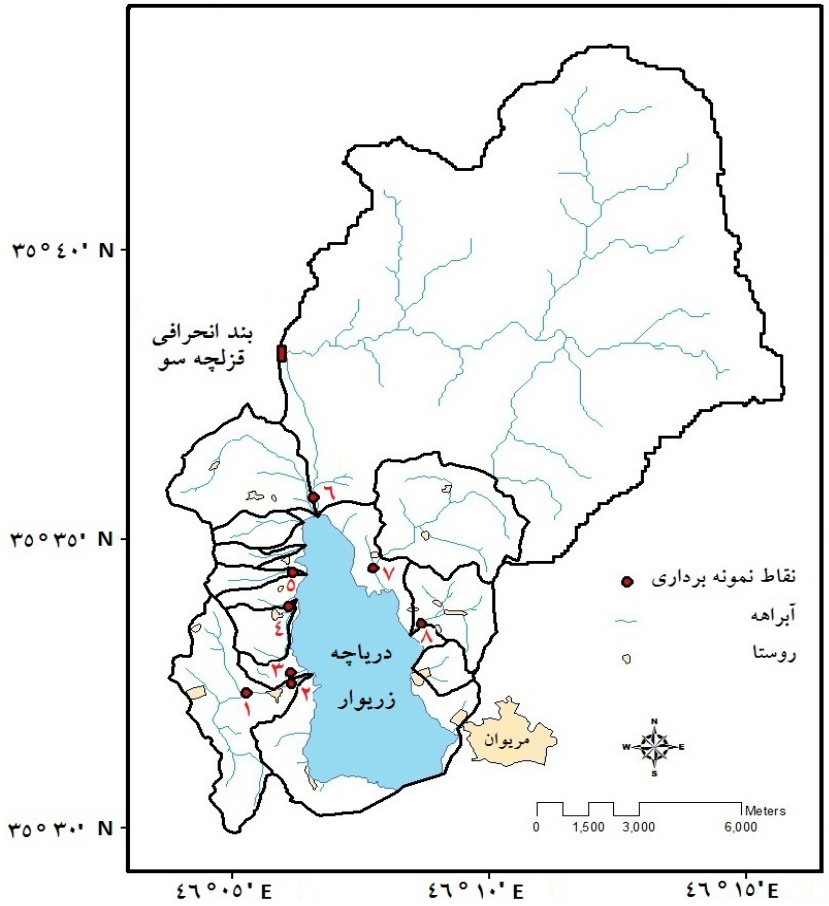
-نمونه برداری و انجام آزمایشات

نمونه‌برداری از ابتدای فروردین ماه ۱۳۹۰ شروع و تا اردیبهشت ۱۳۹۱ ادامه پیدا کرد. در هشت نقطه نمونه-برداری، دبی با برداشت ارتفاع آب در هر بار نمونه‌برداری و با استفاده از قوانین حاکم بر سرریز لبه‌پهن (May *et al.*, 2003) محاسبه شد. نمونه‌های رواناب و رسوب در آبراهه-ها توسط ظروف پلاستیکی یک لیتری به صورت یک بار در روز در زمان‌های دارای رواناب و همچنین نمونه‌های متوالی با فاصله زمانی یک ساعت در روزهای بارشی جمع‌آوری شدند. به‌منظور دست‌یابی به داده‌های بارش منطقه، از داده‌های باران‌نگار ایستگاه سینوپتیک مریوان مستقر در داخل حوزه آبخیز دریاچه زریوار استفاده شد.

در مواقع رگباری، نمونه‌برداری و ثبت دبی به محض کسب اطّلاع از وقوع سیلاب و یا پیش‌بینی‌های سازمان هواشناسی کشور، آغاز و تا پایان رگبار و قطع رواناب در ورودی‌های فصلی و رسیدن ارتفاع جریان آبراهه دائمی به ارتفاع اوّلیه قبل از رگبار، ادامه یافت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی ورودی‌های دریاچه زریوار

زیر حوضه	مساحت (هکتار)	درصد شیب متوسط وزنی	حد اکثر ارتفاع (متر)	طول آبراهه اصلی (متر)	زمان تمرکز (ساعت)	ضریب شکل هورتون
۱	۱۱۹۲/۸۲	۳۱/۹۸	۱۹۸٦/۸۳	۷۷۲۹	۳۱/۳	۰/۳۸
۲	۱۱۹٤/۰۱	۳۱/۹٤	۱۹۸٦/۸۳	۸۳۳۰	۳۱/٥	۰/۳۸
٤	۲۷٤/۱۳	۳۱/۱۲	۱۷۷۷/۸۲	۳٦۸٥/٦	۱۷/۳	۰/٤۸
٥	۱٥٥/۱۲	۳۱	۱۸۸۳/۸۲	۳۰۷۳	۱٤/۸	۰/۱۷
٦	۱٥۰۷٥/٥٦	۲۸/۱٤	۲٤۷۳/٤۱	۲۷٥۸۸/۷۲	۸۳/٤۸	۰/۱۹
۷	۱۳۱۲/٥۹	۲۲/۰۷	۱۸۷٤/۹۹	٦٦۱۰/۱	۳۰/٥	۰/٦٦
۸	٥۷۱/۷٦	۳۲/٤۰	۱۸٤۳/۱۸	۳۰٦٤/۹	۱٤/٦	۰/٦٤



شکل ۱- موقعیّت حوزه آبخیز دریاچه زریوار و نقاط نمونه‌برداری

برای حفظ خصوصیات نمونه‌ها طیّ انتقال به آزمایشگاه از اضافه نمودن ۸ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ٤ نرمال و رساندن pH نمونه‌ها به ۲ و هم‌چنین نگهداری نمونه‌ها در دمای کم‌تر از ٤ درجه سانتی‌گراد (Zhang, 2007) استفاده گردید. برای اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق از روش تخلیّه آب استفاده شد (Walling *et al.*, 2001).

کدورت نمونه‌ها توسط دستگاه Turbidity meter AL450T-IR در محدوده ۰/۰۱ تا ۱۱۰۰ NTU اندازه-گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان غلظت نیترات (NO_3^-) و اورتوفسفات (PO_4^{-3}) در نمونه‌های رواناب به‌ترتیب از روش‌های جذب در طول‌موج مادون‌قرمز و آسکوربیک اسید به‌کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (APHA, 2005) استفاده گردید.

محاسبه آورد و انجام آزمون‌های آماری

میزان آورد رواناب (مترمکعب) ورودی‌های فعال با مجموع حاصل‌ضرب دبی‌های لحظه‌ای در فواصل زمانی نمونه‌برداری و میزان آورد رسوب معلق و مواد مغذی (تن یا کیلوگرم) این ورودی‌ها با مجموع حاصل‌ضرب دبی‌های لحظه‌ای (لیتر در ثانیه) و غلظت‌های لحظه‌ای متناظر رسوب معلق و مواد مغذی (میلی‌گرم در لیتر) محاسبه شد.

از آزمون نیکویی برازش کلموگروف-اسمیرنوف برای سنجش نرمال بودن داده‌ها (Sarkar *et al.*, 2007) استفاده شد. به منظور بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین نقاط ۱، ۲، ٦ و ۷ در فصول بهار و تابستان، از آزمون کروسکال‌والیس و بین نقاط ۱ و ۲ در فصول تابستان و پاییز از آزمون من‌ویتنی‌U به سبب غیر نرمال بودن داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی وضعیت بارش

با توجه به داده‌های ماهانه بارش ایستگاه سینوپتیک مریوان واقع در قسمت جنوب شرقی حوزه آبخیز دریاچه زریوار در سال نمونه‌برداری، ارتفاع کل بارش سال، ۸٦۲ میلی‌متر بوده که ٦۰ درصد آن در فصل زمستان اتفاق افتاده است. با توجه به ارتفاع برف ۱۰۰ میلی‌متری در زمستان و میانگین دمای ۱/٦۷ درجه سانتی‌گراد مشخص است که هم زمانی بارش باران و ذوب برف در این فصل صورت گرفته است. خصوصیات فصلی بارش در دوره مطالعاتی در جدول ۲ نشان داده شده است. آب ایستگاه سینوپتیک مریوان در دوره مطالعاتی، حداکثر شدت‌های بارش برای بارش‌های ۱۳۹۰/۲/۱ و ۱۳۹۱/۱/۸ (حدود ٦۰ میلی‌متر در ساعت) و وقفه‌های بارشی در بارش‌های ۱۳۹۰/۲/۱ و ۱۳۹۰/۲/٦ (به‌ترتیب ایست‌های بارشی ۱٦ و ۱۵ ساعته در طول کل دوره بارش) در بارش‌های بهاره اتفاق افتاده است. این ویژگی‌ها ناشی از طبیعت بارش‌های این فصل بوده و در چنین حوزه‌ای با زیرحوزه‌های کوچک منجر به پاسخ‌های متفاوت در تولید رواناب، رسوب معلق و مواد مغذی شده است. جدول ۳ خصوصیات بارش‌های منجر به تولید رواناب در حوزه آبخیز دریاچه زریوار در دوره مطالعاتی را نشان می‌دهد.

خصوصیات آماری داده‌ها

در طول مدت نمونه‌برداری، نقاط ۱ و ۲ دارای رواناب دائمی، نقاط ٦ و ۷، فصلی و نقاط ٤، ۵ و۸ تنها در بعضی از بارش‌ها دارای رواناب بوده‌اند. نقطه ۳ در کل دوره، خشک و بدون رواناب بود. تعداد کل داده‌های دبی روزانه جمع‌آوری شده در طول سال نمونه‌برداری از نقاط فعال ۱، ۲، ٦ و ۷ به‌ترتیب ۳٦۲، ۳٦۲، ۱٤۰ و ۱۲۹ بوده است. بیش‌ترین میانگین دبی و هم‌چنین بالاترین حداکثر دبی روزانه مربوط به نقطه نمونه‌برداری ٦ است و در فصل بهار اتفاق افتاده که با توجه به بزرگ‌تر بودن مساحت این زیرحوزه و شدت‌های زیاد بارش در بهار قابل توجیه است. نقاط ۱ و ۲ با توجه به عدم وجود رطوبت در خاک و عدم وقوع بارش‌های منجر به تولید رواناب، دارای کم-ترین میانگین، حداقل و حداکثر رواناب (نقطه ۱ به‌ترتیب ۱/۹، ۱۵/٦ و ۹/۹ لیتر در ثانیه و نقطه ۲ به‌ترتیب ۷/۷، ۲۷/۹ و ٤/۹ لیتر در ثانیه) در پاییز بوده‌اند. تفاوت میانگین دبی نقاط ۱ و ۲ در فصول مختلف در طول سال بیان‌گر نحوه بهره‌برداری کشاورزان از رواناب موجود جهت آبیاری مزارع این زیرحوزه می‌باشد. به‌طوری‌که در فصول بهار و تابستان با برداشت آب از رودخانه میانگین دبی نقطه ۲ کم‌تر از نقطه ۱ (میانگین دبی نقاط ۱ و ۲ در بهار به ترتیب ۱۹۱/۲ و ۸۸ و در تابستان به‌ترتیب ٤۲ و ۱۵/٦ لیتر در ثانیه) اما در فصول پاییز و زمستان با بستن مسیر انحراف آب به مزارع و هم‌چنین اضافه شدن رواناب‌های روستایی حد فاصل دو نقطه نمونه‌برداری و فاضلاب روستای دره‌تفی میانگین دبی نقطه ۲ بیش از نقطه ۱ بوده است (میانگین دبی نقاط ۱ و ۲ در پاییز به ترتیب ۱۲ و ۱۵ و در زمستان به ترتیب ۱۸٤/۲ و ۲۲۵/٤ لیتر در ثانیه). بیش‌ترین تغییرات دبی در نقطه ۱ مربوط به فصل تابستان و در نقطه ۲ مربوط به فصل بهار است که متاثر از نحوه مدیریت بهره‌برداری از رواناب توسط کشاورزان می‌باشد.

جدول ۲- برخی از خصوصیات فصلی بارش در سال ۱۳۹۰ (برگرفته از سایت اداره کل هواشناسی استان کردستان)

فصل	جمع بارش (میلی‌متر)	تعداد روزهای بارندگی	تعداد روزهای یخبندان	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)
بهار	۲۱۹/۷	۲۹	٦	۱۵/٤۳
تابستان	۵/۷	۱	۰	۲٤/۰۳
پاییز	۱۱۵/۷	۱۷	٤۷	۸/۸٦
زمستان	۵۲۰/۹	٤۷	۷۰	۱/٦۷
کل	۸٦۲	۹٤	۱۲۳	۱۲/۵

جدول ۳- خصوصیات بارش‌های اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی

تاریخ بارش	مدت کل بارش (ساعت)	وقفه‌های بارشی ساعت)	ارتفاع بارش (میلی‌متر)	شدت متوسط (میلی‌متر در ساعت)	حداکثر شدت (میلی‌متر در ساعت)
۱۳۹۰/۱/۲۰	۲۰	۵	۱۲/۳	۰/۶۲	۳۶/۰
۱۳۹۰/۱/۲۳	۲۹	۸	۲۰/۹	۰/۷۲	۲۶/۴
۱۳۹۰/۲/۱	۵۰	۱۶	۵۹/۳	۱/۱۹	۶۰/۰
۱۳۹۰/۲/۶	۲۵	۱۵	۱۹/۵	۰/۷۸	۵۶/۴
۱۳۹۰/۲/۱۱	۱۷	۹	۱۰/۵	۰/۶۲	۵۵/۲
۱۳۹۰/۱۱/۲۷	۳۲	۳	۲۶/۷	۰/۸۳	۳۶/۰
۱۳۹۰/۱۲/۲۶	۵۲	۹	۵۵/۳	۱/۰۶	۳۰/۰
۱۳۹۱/۱/۸	۱۹	۸	۱۶	۰/۸۴	۶۰/۰

نقاط ۶ و ۷ با توجه به فصلی بودن و فعال شدن آن‌ها با ذوب برف و هم‌چنین افزایش شدید دبی به دلیل هم‌زمانی بارش باران و ذوب برف، در زمستان دارای بیش‌ترین تغییرات دبی با ضریب تغییرات به‌ترتیب ۱۷۹ و ۱۳۸ درصد بوده‌اند.

با مقایسه داده‌های دبی و رسوب معلق ۶ بارش منجر به رواناب در فصل بهار و ۲ بارش منجر به رواناب در زمستان مشخص شد که غلظت رسوب معلق از الگوی فصلی دبی تبعیت می‌کند. به‌طوری‌که فصل بهار دارای بیش‌ترین میانگین غلظت رسوب معلق در نقطه ۴ (۱/۵۷ میلی‌گرم در لیتر) و بیش‌ترین حداکثر غلظت رسوب معلق در نقطه ۷ (۱۲/۶۲ میلی‌گرم در لیتر) در بارش ۱۳۹۰/۲/۱ و بالاترین ضریب تغییرات غلظت رسوب معلق در نقطه ۶ (۲/۷۹) در بارش ۱۳۹۰/۲/۶ بوده است. غلظت‌های زیاد رسوب معلق در بهار تا حدی ناشی از مشارکت رسوبات ذخیره شده در دامنه‌ها و همچنین مسیر آبراهه‌ها در زمان ذوب برف زمستان و تخلیه شدن در رگبارهای شدید و بعضی اوقات طولانی مدت بهار بوده است. البته تاثیر تغییرپذیری وقایع رگباری اتفاق افتاده و هم‌چنین وضعیت پوشش‌گیاهی و تغییرات نوع کشت محصول در فصول مختلف بر میزان رواناب، حمل رسوب و مواد مغذی قابل ملاحظه است. به‌طوری‌که پوشش زمین در بهار کم و پراکنده اما در پاییز گسترده و متراکم است. در واقع حمل رسوبات معلق نه تنها تحت تاثیر دبی جریان، بلکه متاثر از تغییرات فصلی پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی نیز می‌باشد که خود کنترل‌کننده فرآیند تولید رسوب و ورود آلاینده‌ها از شیب‌های بالادست به شبکه جریان هستند.

بررسی داده‌های رسوب معلق بیان‌گر بالاترین میانگین و حداکثر غلظت لحظه‌ای به‌ترتیب برابر با ۱/۵۷ و ۱۲/۶۲ میلی‌گرم در لیتر و بیش‌ترین ضریب تغییرات و انحراف معیار به‌ترتیب برابر با ۲/۷۴ و ۲/۸ در رگبار ۱۳۹۰/۲/۱ در نقطه نمونه‌برداری ۷ می‌باشد که می‌توان علت آن را به شیب تند پروفیل طولی آبراهه این ورودی نسبت داد.

بالاترین میانگین، حداکثر غلظت لحظه‌ای و انحراف معیار نیترات ثبت شده به‌ترتیب برابر با ۶/۷ و ۷/۸۴ میلی‌گرم در لیتر در نمونه‌های رگباری مربوط به بارش ۱۳۹۰/۱/۲۳ و نقطه نمونه‌برداری ۸ بوده است. در مورد فسفات بالاترین حداکثر غلظت لحظه‌ای و انحراف معیار به‌ترتیب برابر با ۱/۸۳ و ۰/۵۷و مربوط به اولین بارش زمستانه پس از ۹ ماه عدم وقوع بارش‌های منجر به رواناب در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۲۷ در نقطه نمونه‌برداری ۷ بوده است. با توجه به فصلی بودن نقطه نمونه‌برداری ۷ و خشک بودن آن از اواسط خرداد و تجمع فاضلاب دو روستای بالادست و هم‌چنین کودهای مصرفی در اراضی کشاورزی، با اولین بارش پس از فصل خشک، حجم عظیمی از آلاینده‌ها به خصوص فسفات همراه با رواناب به‌سمت نقطه خروجی

حمل می‌شوند. عموما" فسفات به‌صورت ذره‌ای حمل می‌شود و توان بالایی تبرای حل شدن در آب‌های نفوذی به خاک در اثر باران‌های پاییزی فاقد رواناب را نداشته و نمی‌تواند مانند نیترات به آب‌های زیرزمینی بپیوندد. جدول ٤ آماره‌های توصیفی دبی نمونه‌های روزانه ورودی‌های فعال دریاچه زریوار در فصول مختلف را نشان می‌دهد.

-آورد رواناب، رسوب معلق و مواد مغذی

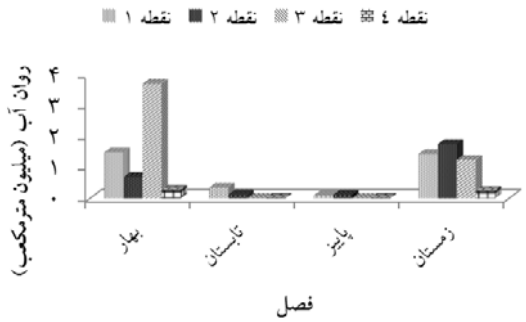
بر اساس داده‌های روزانه دبی در فصول مختلف، حجم رواناب فصلی ورودی‌های مختلف در طول یک‌سال نمونه‌برداری محاسبه گردید. حجم کل آورد رواناب از طریق ورودی‌های مختلف به دریاچه زریوار برابر با ۸/۱۲ میلیون مترمکعب و سهم فصول بهار و زمستان به ترتیب ۵۷/۳ و ۳۹/۷ درصد بود.

فصل زمستان به‌رغم برخورداری از بارش بیش‌تر باران (۵۲۱ میلی‌متر) و هم‌چنین ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متری برف، دارای آورد رواناب کم‌تری نسبت به فصل بهار است. دلیل این مسأله را می‌توان تعداد روزهای زیاد یخبندان (۷۰ روز) در این فصل دانست. حدود ۵ میلیون مترمکعب (٦١ درصد) رواناب ورودی به دریاچه از نقطه نمونه‌برداری ٦ در شمال حوزه (کانال بند انحرافی قزلچو) تامین شده است. با توجه به این‌که نقاط ۱ و ۲ روی یک ورودی (دره‌تفی) قرار دارند، تغییرات حجم آورد رواناب در این دو نقطه نشان‌گر نحوه تاثیر انسان بر این ورودی می‌باشد. به‌طوری‌که در فصول بهار و تابستان با توجه به نیاز آبی برای کشت محصول، رواناب بین این نقاط به مزارع منحرف شده و در نتیجه حجم آورد رواناب در پایین‌دست (نقطه ۲) نسبت به بالادست (نقطه ۱) کم‌تر است. مقدار رواناب در بهار و تابستان به‌ترتیب حدود ۱/۵ و ۰/۳٤ میلیون مترمکعب در نقطه ۱ و ۰/۷ و ۰/۱۲ میلیون مترمکعب در نقطه ۲ می‌باشد. لیکن در دو فصل دیگر به علت کاهش نیاز آبی و اتمام عملیات آبیاری و هم‌چنین اضافه شدن رواناب و ذوب برف اراضی بین این نقاط و هم چنین فاضلاب روستای دره‌تفی، این مسأله برعکس است. حجم آورد رواناب در پاییز و زمستان در نقطه ۱ به‌ترتیب ۰/۰۹ و ۱/٤ و در نقطه ۲ به‌ترتیب ۰/۱۲ و ۱/۷۵ میلیون مترمکعب است. شکل ۲ تغییرات فصلی حجم رواناب ورودی‌های حوزه را نشان می‌دهد.

آزمون کلموگروف اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها نرمال نیستند و نتایج آزمون کروسکال والیس بیان‌گر تفاوت معنی‌دار (p=۰) رواناب‌های نقاط ۱، ۲، ٦ و ۷ در فصول بهار و زمستان بود.

جدول٤- آماره‌های توصیفی دبی (لیتر در ثانیه) نمونه‌های روزانه ورودی‌های فعال دریاچه زریوار در فصول مختلف

فصل	نقاط	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	ضریب تغییرات
بهار	۱	۹۰	۱۹۱/۲	۱۰٦/٤	۵۱۱/٤	۵٦/٦	۰/۵۵
	۲	۹۰	۸۸	۱۱۲/۳	۵۹۵/۷	۱۳/۵	۱/۲۷
	٦	۸۱	۵۲۹/۵	٦۸۹/۳	۲۷۳۱/۸	۰	۱/۳
	۷	۷۰	٤۳/۸	۲۲/۲	۱۲۹/۱	۰	۰/۵۱
تابستان	۱	۹۳	٤۲	۳۰/۱	۱۰۲/۸	۱۱/۹	۰/۷۲
	۲	۹۳	۱۵/٦	۷/٤	۳٦/۸	۵/۹	۰/٤۷
پاییز	۱	۸۹	۱۲	۱/۹	۱۵/٦	۹/۹	۰/۱٦
	۲	۸۹	۱۵	۷/۷	۲۷/۹	٤/۹	۰/۵۲
زمستان	۱	۹۰	۱۸٤/۲	۸۰/۹	۵۲۰/۳	۱۱/۹	۰/٤٤
	۲	۹۰	۲۲۵/٤	۱۰۳/۲	٦۸۰/۵	۱۹/۵	۰/٤٦
	٦	۹۰	۱۵۹/۵	۲۸۵/۹	۱٤۲۸	۰	۱/۷۹
	۷	۹۰	۳۰/۱	٤۱/۸	۳۲۵	۰	۱/۳۸



شکل ۲- تغییرات فصلی حجم رواناب ورودی‌های دریاچه زریوار

همچنین نتایج آزمون من‌ویتنی U بیان‌گر تفاوت معنی‌دار حجم رواناب نقاط ۱ و ۲ در فصل تابستان (p=۰) و پاییز (p=۰/۰۱۱) بود. جزئیات مربوط به حجم آورد رواناب در رگبارهای اتفاق افتاده در حوزه و سهم هر یک از ورودی-ها در جدول ۵ نشان داده شده است. این جدول نشان می-دهد که حجم کل آورد رواناب از این طریق حدود ۱/٦ میلیون مترمکعب بوده که ۱/۲٤ میلیون مترمکعب (۷٦/۷ درصد) آن صرفاً از نقطه ٦ تامین شده است که با توجه به مساحت بسیار بزرگ‌تر این زیرحوزه (حدود ۱۵۰۰۰ هکتار) قابل توجیه است. هم‌چنین ٤۱ درصد این رواناب از بارش بهاری ۱۳۹۰/۲/۱ با شدت متوسط ۱/۱۹ میلی‌متر در ساعت و مدت زمان ۵۰ ساعت با ارتفاع بارش کل حدود ٦۰ میلی‌متر ناشی شده است. نقاط ۱ و ۲ روی یک ورودی دارای آورد تقریباً یکسانی هستند. علت آن را می-توان متوازن شدن اثر بهره‌برداری از آب در حد فاصل این نقاط در بهار با اضافه شدن حجم رواناب ناشی از بارش و ذوب برف اراضی میان این دو نقطه در فصل زمستان دانست که اثر آن در طی بارش‌ها نیز مشهود بوده است.

با پایش و نمونه‌برداری روزانه دبی و هم‌چنین در پایه رگبار در کلیه ورودی‌های فعال حوزه آبخیز دریاچه زریوار مشخص شد که آب پایه در کلیه زیرحوزه‌ها غالباً دارای کدورت ناشی از مواد آلی کشاورزی و اراضی جنگلی بالادست بوده به‌نحوی‌که فقط توان حمل رسوب در حدود ۰/۷۱۹ تن را داشته است. به‌عبارت دیگر، رسوبات معلق عمدتاً در مواقع رگباری و با افزایش مقادیر دبی حمل شده‌اند. این وضعیت ویژه ضرورت استفاده از روش درون‌یابی را جهت محاسبه بار رسوب معلق حوزه بیان می‌کند چرا که نمونه‌گیری روزانه هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد میزان رسوب معلق ارائه نخواهد داد و شاید محقق یا مدیران دستگاه‌های اجرایی را دچار خطا کند. تحلیل نتایج نشان داد که ٦۸۵/۵ تن رسوب معلق طیّ ۷ رگبار اتفاق افتاده در سال ۱۳۹۰ از طریق ورودی‌های مختلف به دریاچه زریوار وارد شده است (جدول ٦).

جدول ۵- حجم رواناب (هزار مترمکعب) رگبارهای دوره مطالعاتی بر اساس ورودی‌های فعال دریاچه زریوار

تاریخ بارش	نقاط							کل
	۱	۲	٤	۵	٦	۷	۸	
۱۳۹۰/۱/۲۰	۵	۳	×	×	×	×	×	۳
۱۳۹۰/۱/۲۳	۱۵	۸	×	×	۱۳۹	۳	×	۱۵۰
۱۳۹۰/۲/۱	۱۰۵	۸۵	٦	۸	۵۲۲	۳۵	٦	٦٦۲
۱۳۹۰/۲/٦	۲۳	۲۰	×	×	۲۳۷	٦	۱	۲٦٤
۱۳۹۰/۲/۱۱	۲۰	۲٤	۱	۱	۱٦۷	۸	۵	۲۰٦
۱۳۹۰/۱۱/۲۷	۲۲	۳۱	۱	۲	۲۰	۱۱	٤	٦۹
۱۳۹۰/۱۲/۲٦	۵٤	٦٦	٤	٦	۱۵۳	۲۷	٤	۲٦۰
۱۳۹۱/۱/۸	۲۱	۲۸	۱	۳	۱۰۵	۱۳	۳	۱۵۳
کل	۲٤٤	۲۳۷	۱۲	۱۷	۱۲۳۸	۹۰	۲۰	۱٦۱٤

جدول ٦- میزان آورد رسوب معلق (تن) رگبارهای دوره مطالعاتی بر اساس ورودی‌های فعال دریاچه زریوار

تاریخ بارش	نقاط							کل
	۱	۲	٤	٥	٦	۷	۸	
۱۳۹۰/۱/۲۰	۳	۱/٥	×	×	×	×	×	۱/٥
۱۳۹۰/۱/۲۳	۱/۷	۲/٦	×	×	۱/۲	۰/٤	×	٤/۲
۱۳۹۰/۲/۱	۱٥۲	۱٦۹	۱٥	۱۰٥	۱٦۹/٥	۹۱	۱۱	٥٦۰/٥
۱۳۹۰/۲/٦	۱۲	۱۱/٤	×	×	٤٦	۲/٦	۱	٦۱
۱۳۹۰/۲/۱۱	۰/۷	۰/۹	۰/۳	۰/۹	٤/٦	۰/٥	۰/٤	۷/٦
۱۳۹۰/۱۱/۲۷	۱	٤/٤	۰/۲٥	۰/٥٥	۲/٥	۱/۸	۲/٦	۱۲/۱
۱۳۹۰/۱۲/۲٦	۱۱	۲۱/۷	۰/۲	۰/۹	۱٤/٤	۱/۳	۰/٤	۳۸/۹
۱۳۹۱/۱/۸	۳/۸۸	۲۰	۰/٤	۰/۹	۱۹	٦/۸	۱/۲	٤۸/۳
کل	۱۸۱/٤	۲۱۱/٥	۱٥/۷٥	۱۰۷/۳٥	۲۳۸/۲	۹۷/٦	۱٥/٤	٦۸٥/۸

× فاقد رواناب

نتایج تحقیقات مختلف بیان‌گر این واقعیت است که قسمت اعظم رسوبات سالانه حمل شده از حوزه، معمولاً طی یک یا چند واقعه اتفاق می‌افتد (Kronvang et al., 1997 ; سعیدی و صادقی، ۱۳۸۹). در این حوزه نیز حدود ۸۲ درصد (٥٦۰/٥ تن) رسوبات معلق طی یک واقعه رگباری بهاره در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۱ حمل و وارد دریاچه زریوار شده است.

علی‌رغم بالا بودن حجم رواناب نقطه ٦ نسبت به نقطه ۲ میزان آورد رسوب معلق از نقاط ۲ و ٦ به‌ترتیب ۲۱۱/٥ و ۲۳۸/۲ تن بوده که تقریباً به هم نزدیک است. نقطه ٦ علی‌رغم مساحت بسیار بزرگ‌تر، دارای متوسط شیب وزنی کم‌تر و طول آبراهه بسیار طولانی‌تر با شیب بسیار کم خصوصا در انتهای زیرحوزه می‌باشد که به بند انحرافی رسیده و پس از آن با شیب بسیار ملایم توسط کانال سنگ‌فرش شده به خروجی می‌رسد. لذا غلظت‌های نمونه‌های رسوب معلق این نقطه نسبت به نقطه ۲ کم‌تر بوده است.

بررسی مقادیر آورد نیترات و فسفات طی رگبارهای اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (جداول ۷ و ۸)، حاکی از ورود حدود ٤ تن نیترات و ۲۱۱ کیلوگرم فسفات می‌باشد. سهم نقطه ٦ در آورد نیترات به دریاچه زریوار به‌علت حجم زیاد رواناب حدود ۷٦ درصد (۳۰۱۲ کیلوگرم) است و پس از آن نقطه ۲ با سهمی حدود ۱۳ درصد (٥۲۹ کیلوگرم) در رتبه دوم قرار دارد. با مقایسه آورد رگبارهای مختلف، رگبار بهاره ۱۳۹۰/۲/۱ با ۳۸/٦ درصد (۱٥۳۳ کیلوگرم) بیش‌ترین سهم را دارد. الگوی آورد فسفات از نیترات تبعیت نمی‌کند، به‌طوری‌که بیش‌ترین آورد فسفات در بارش زمستانه ۱۳۹۰/۱۲/۲٦ با میزان حدود ۸۰ کیلوگرم صورت گرفته که ناشی از تجمع کودهای فسفاته در طول فصول پاییز و زمستان و تخلیه آن در اواخر زمستان پس از وقوع اولین بارش منجر به رواناب است. میزان آورد فسفات از نقاط ۲ و ٦ به‌ترتیب با مقادیر ۹۱ و ۸۲ کیلوگرم نشان‌دهنده میزان مشارکت تقریبا یکسان در ورود این آلاینده به دریاچه زریوار است. تفاوت زیاد میزان آورد فسفات در نقاط ۱ و ۲ طی رگبارها ناشی از تجمع فضولات دامی مازاد کشاورزان منطقه است. حد فاصل نقاط ۱ و ۲ علی‌رغم ورود فاضلاب روستایی، مملو از فضولات دامی است که توسط روستاییان در این بازه از رودخانه ریخته می‌شود. طی رگبارها، کودهای تجمع یافته در این بازه همراه با رواناب به دریاچه حمل می‌شود.

علت بالا بودن مقدار نیترات نسبت به فسفات ورودی، محلول بودن نیترات و حمل سریع آن همراه با رواناب است اما فسفات بیش‌تر به حالت ذره‌ای و چسبیده به ذرات رسوب حمل می‌شود در نتیجه فسفر محلول سهم کمی نسبت به حالت کل دارد (Gunes, 2008). از طرف دیگر خاک‌های منطقه جزو خاک‌های با میزان فسفات کم می‌باشند و قسمت اعظم فسفات حمل شده ناشی از مصرف کود فسفاته در اراضی کشاورزی به‌خصوص کشت توتون است. کود عامل اصلی تولید توتون به‌شمار می‌رود.

جدول ۷- میزان آورد نیترات (کیلوگرم) ورودی به دریاچه زریوار طی رگبارهای اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی

تاریخ بارش	نقاط							جمع
	۱	۲	٤	٥	٦	۷	۸	
۱۳۹۰/۱/۲۰	٤/٤۷	٤/۳۹	×	×	×	×	×	٤/۳۹
۱۳۹۰/۱/۲۳	۲٥/٤٦	۱۹/۰۱	×	×	۲٦٦/۳٦	۱۰/۳۳	×	۲۹٥/۷
۱۳۹۰/۲/۱	۱۹۲/۸	۱۹۷/٦	٦/۸	۹/۳۹	۱۱۹٤/۷٦	۱۰٦/۸۸	۱۷/٤۹	۱٥۳۲/۹۲
۱۳۹۰/۲/٦	٥٥/۲۱	٤٥/٤	×	×	٦٥۳/۷۸	۱۹/۰۹	۳/۰۹	۷۲۱/۳٦
۱۳۹۰/۲/۱۱	۳٥/۹	٤٦/٦	۱/۸۷	۳/۲٦	۳٦۹/۹۷	۲٦/۹۱	۲٤/۸۱	٤۷۳/٤۲
۱۳۹۰/۱۱/۲۷	٦٤/٤۷	۷۷/۰۲	۲/۲۷	٥/۳۷	۸۹/۸۱	۲٤/۷۲	۱۰/۱۹	۲۰۹/۳۸
۱۳۹۰/۱۲/۲٦	۱٦۸/۲	۱۹۲/۷۹	۱۱/۸٦	۱۸/۱٤	٤۳۷/۱۹	٦۰/۸۳	۷/۸۷	۷۲۸/٦۸
۱۳۹۱/۱/۸	٥۲/٤۱	٦۳/۹۹	۲/٥٥	٦/۷۳	۳۱٥/۳۷	٥۱/۱۲	۸/٥۳	٤٤۸/۲۹
کل	٥٤٦/٥۱	٥۲۸/۸۱	۲۲/۸	۳٦/۱٥	۳۰۱۱/۸۷	۲٤۸/۷٦	٥۳/٤٥	۳۹٦٥/۸٥

× فاقد رواناب

آزمایش‌هایی که در شمال کشور انجام شده نشان می‌دهد که کم‌ترین نیاز کودی توتون مربوط به نیتروژن است. در شمال کشور که اکثراً ارقام غربی کشت می‌شود میزان ٤۰ تا ٦۰ کیلوگرم و فسفر خالص حدوداً ۱۳۰ تا ۱۸۰ کیلوگرم توصیه شده است. شهرستان مریوان رتبه دوم را بعد از مجتمع‌های بزرگ شمال کشور از نظر کشت تنباکو کسب کرده است. بیش‌ترین حجم آورد نیترات (۱۱/٥ تن) بر اساس داده‌های روزانه (آب پایه) و مستند به شکل ۳ به - دلیل حجم بالای رواناب و حلالیت بالای نیترات در آب و هم‌چنین تداخل آب‌های سطحی و زیرزمینی در حالت آب پایه از طریق نقطه ٦ و بیش‌ترین میزان فسفات (٦۲۲ کیلوگرم) از طریق نقطه ۲ صورت می‌گیرد. شکل‌های ٤ و ٥ به‌ترتیب حجم آورد نیترات و فسفات در فصول مختلف را نشان می‌دهند. بر این اساس آورد نیترات در فصل بهار و زمستان به‌ترتیب با مقادیر ۱۰/۱٥ و ۱۰/۱۹ تن برابر می-باشند اما بیش‌ترین آورد فسفات از طریق آب‌پایه در فصل زمستان با مقدار ٤۹۱/۲٤ کیلوگرم صورت گرفته که علت آن را می‌توان به کشت محصول توتون در منطقه نسبت داد. در این منطقه کشت توتون با نیاز بسیار مبرم به کود فسفات، از اوایل تابستان شروع و تا اواخر مهر ماه ادامه دارد لذا به‌دلیل عدم بارش‌های منجر به تولید رواناب، مقادیر زیاد فسفات در حوزه تجمع و در هنگام زمستان با شروع بارش‌های موثر در تولید رواناب و هم‌چنین ذوب برف در منطقه شروع به حمل و تخلیه به دریاچه زریوار می‌کنند. فصل زمستان با مجموع آورد ٦۰۹/٥ کیلوگرم فسفات در پایه‌های رگبار و آب‌پایه ، بیش‌ترین تاثیر را بر دریاچه داشته است.

جدول ۸- میزان آورد فسفات (کیلوگرم) ورودی به دریاچه زریوار طی رگبارهای اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی

تاریخ بارش	نقاط							جمع
	۱	۲	٤	٥	٦	۷	۸	
۱۳۹۰/۱/۲۰	۲/۲۱	٥/٤٥	×	×	×	×	×	٥/٤٥
۱۳۹۰/۱/۲۳	۱/۲۲	۰/۸	×	×	۱۱/۰٦	۰/۳٦	×	۱۲/۲۲
۱۳۹۰/۲/۱	۸/۱٦	۷/۷٥	۰/٥۰	۰/۸٦	٤۱/۳۸	۲/٦۳	۰/۷۲	٥۳/۸٤
۱۳۹۰/۲/٦	۱/۹	۱/۷٥	×	×	۱۷/۷٦	۰/٤۹۳	۰/۱٤	۲۰/۱٤
۱۳۹۰/۲/۱۱	۱/٦۷	۰/۱٥۹	۰/۰۰۱٦	۰/۰۰۲	۰/٥۲۹	۰/۰۲	۰/۱۰۳	۰/۸۱٥
۱۳۹۰/۱۱/۲۷	۱۳/۳۱	۱٦/٤۸	۰/۸٥	۱/٥	۱/۹	۱۲/٤	٥/۲۲	۳۸/۳٥
۱۳۹۰/۱۲/۲٦	٦/۳۸	٥۸/٥٥	۲/٤	۳/٥	۹/٥۷	٤/۸۳	۱/۱۳	۷۹/۹۸
۱۳۹۱/۱/۸	۲/۳	۱٦/۰٦	۰/٦۸	۰/۷۳	۲۹/۱۳	٦/۲۷	۲/٥٥	٥٥/٤۲
کل	۳٤/۸٥	۹۰/۹٤	۳/۷٥	٥/۹	۸۲/۲	۲۰/۷۳	۷/۳	۲۱۰/۸

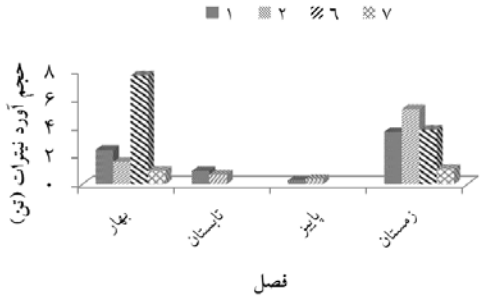
× فاقد رواناب

حجم آورد فسفات توسط آب‌پایه در فصل زمستان بیش‌تر از بهار است بدون احتساب حجم آورد نیترات در پایه رگبار، فصول بهار و زمستان وضعیت یکسانی دارند اما با احتساب میزان آورد نیترات در پایه رگبار در هر دو فصل و محاسبه مجموع آورد نیترات توسط آب‌پایه و رگبار، فصل بهار با میزان آورد ۱۳/۲ تن بیش‌ترین تاثیر را بر دریاچه داشته است.

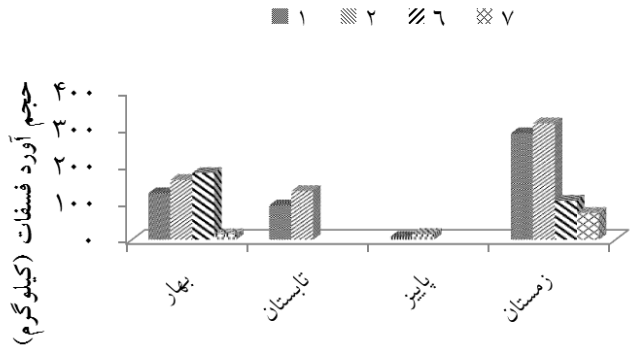
نتیجه‌گیری

نتایج بررسی مکانی آورد مولفه‌ها حاکی از بیش‌ترین آورد رواناب، رسوب معلق و آلاینده از نوع نیترات از نقطه ٦ یعنی بند انحرافی قزلچه‌سو می‌باشد که ضرورت برنامه-ریزی صحیح برای مدیریت این بند را تاکید می‌نماید. از طرفی نقطه نمونه‌برداری ۲ در خروجی زیرحوزه طبیعی روستای دره تفی دارای آورد رسوب معلق نسبتاً برابر با نقطه ٦ و بیش‌ترین آورد فسفات می‌باشد که نیازمند برنامه‌ریزی جهت اجرای سیستم دفع فاضلاب روستایی و مدیریت فضولات دامی مازاد دامداران است. بررسی زمانی آورد مولفه‌ها حاکی از ورود بیش‌ترین رواناب، رسوب معلق و نیترات در فصل بهار و بیش‌ترین فسفات در فصل زمستان است. علت این امر ماهیت ذره‌ای بودن فسفات بوده و نشان‌گر پایین بودن غلظت فسفات محلول در حوزه می‌باشد. متفاوت بودن الگوی فصلی فسفات با دیگر مولفه‌ها نیازمند مدیریت صحیح کشاورزی به‌خصوص میزان و زمان کوددهی و هم‌چنین انتخاب محصول مناسب جهت کشت در اراضی کشاورزی منطقه می‌باشد.

شکل ۳- حجم کل آورد نیترات و فسفات (تن) بر اساس داده‌های روزانه نقاط نمونه‌برداری مختلف



شکل ٤- حجم آورد نیترات (تن) بر اساس داده‌های روزانه نقاط نمونه‌برداری در فصول مختلف



شکل ۵- حجم آورد فسفات (کیلوگرم) بر اساس داده‌های روزانه نقاط نمونه‌برداری در فصول مختلف

فهرست منابع

اداره کل منابع طبیعی استان کردستان، ۱۳۸٦. مطالعات تفضیلی- اجرایی آبخیزداری حوزه زریوار. مطالعات هیدرولوژی و فرسایش و رسوب. جلدهای ششم و نهم. شرکت ایده پردازان توسعه، ۱۷۱ ص.

استانداری کردستان، ۱۳۸٦. مطالعات ارزیابی زیست محیطی، لیمنولوژیکی و حفظ تعادل اکولوژیک دریاچه زریوار- مریوان. گزارش نهایی لیمنولوژیکی، ۱٤٦ ص.

بیات، ر.، قرمزچشمه، ب. و خالدیان، ح. ۱۳۹۲. بررسی رابطه بین برخی مشخصات اقلیمی و فرسایش خاک دریاچه زریوار. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی هیدرولوژی مناطق نیمه-خشک، سنندج، ۵ ص.

سعیدی، پ. و صادقی، س. ح. ر. ۱۳۸۹. تحلیل رسوب نگارها و حلقه‌های سنجه مشاهداتی رگبارها در حوزه آبخیز آموزشی دانشگاه تربیت مدرس. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۷(۱):۹۷-۱۱۲.

Alexandrov, Y., Cohen, H., Laronne, J.B., Reid, I. 2009. Suspended sediment load, bed load, and dissolved load yields from a semiarid drainage basin: a 15-year study. Water Resources Research, 45: 13 P.

Ali, K.F., De Boer, D.H. 2007. Spatial patterns and variation of suspended sediment yield in the upper Indus River basin, northern Pakistan. Journal of Hydrology, 334: 368–387.

APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st edition, American Public Health association, Washington, D.C. 4-118 – 4-1121 PP.

Blanco, A.C., Nadaoka, K., Yamamoto, T., Kinjo, K. 2010. Dynamic evolution of nutrient discharge under stormflow and baseflow conditions in a coastal agricultural watershed in Ishigaki Island, Okinawa, Japan. Hydrological Processes, 24: 2601–2616.

Bowes, M.J., House, W.A., Hodgkinson, R.A., Leach, D.V. 2005. Phosphorus discharge hysteresis during storm events along a river catchment: the River Swale. Water Research, 39: 751–762.

Buda, A.R., DeWalle, D.R. 2009. Dynamics of stream nitrate sources and flow pathways during stormflows on urban, forest and agricultural watersheds in central Pennsylvania, USA. Hydrological Process, 23: 3292–305.

Burt, T.P. 2003. Monitoring change in hydrological systems. Science of the Total Environment, 310(1–3): 9-16.

Cirmo, C.P., McDonnell, J.J. 1997. Linking the hydrologic and biogeochemical controls of nitrogen transport in near-stream zones of temperate forested catchments: A review. Journal of Hydrology, 199: 88-120.

Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series, 210: 223–253.

DeVente, J., Poesen, J. 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. Earth-Science Reviews, 71: 95–125.

DeVente, J., Poesen, J., Bazzoffi, P., Van Rompaey, A., Verstraeten, G. 2006. Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins. Earth Surface Processes and Landforms, 31: 1017–1034.

Eder, A., Strauss, P., Krueger, T., Quinton, J.N. 2010. Comparative calculation of suspended sediment load with respect to hysteresis effects 9in the Petzenkirchen catchment, Austria), Journal of Hydrology, 389: 168-176.

Gao, P. 2008. Understanding watershed suspended sediment transport. Progress in Physical Geography, 32: 243–263.

Garnier, J., Billen, G., Coste, M. 1995. Seasonal succession of diatoms and chlorophycae in the drainage network of the river Seine: observations and modelling. Limnological Oceanography, 40(4): 750–65.

Gunes, K. 2008. Point and nonpoint sources of nutrients to lake – ecotechnological measures and mitigation methodologies – case study. Ecological Engineering, 34: 116-126.

Heathwaite, A.L., Johnes, P.J. and Peters, N.E. 1996. Trends in nutrients. Hydrological Process, 10: 263–93.

Jarvie, H.P., Neal, C., Withers, P.J.A., Wescott, C., Acornley, R.M. 2005. Nutrient hydrochemistry for a groundwater-dominated catchment: the Hampshire Avon, UK. Science of the Total Environment, 344: 143–58.

Kazama, S., Suzuki, K., Sawamoto, M. 2005. Estimation of rating-curve parameters for sedimentation using a physical model. Hydrological Process, 19: 3863–3871.

Quilbe, R., Rousseau, A.N., Duchemin, M., Poulin, A., Gangbazo, G., Villeneuve, J.P. 2006. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: application to the Beaurivage River (Quebec, Canada). Journal of Hydrology, 326: 295–310.

Sarkar, D., Datta, R., Hannigan, R. 2007. Concepts and applications in environmental geochemistry. Developments in environmental science. Elsevier Ltd. Amsterdam. 5: 224 p.

Sharpley, A.N., Daniel, T., Sims, T., Lemunyon, J., Stevens, R., Parry, R. 2003. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. Second edition. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS 149.

USEPA. 2000. The Quality of Our Nation's Waters. A Summary of the National Water Quality Inventory: 1998 Report to Congress, Office of Water, 841-S-00-001, Washington, DC., 19 p.

Walling, D.E., Collins, A.L., Sichingabula, H.A., Leeks, G.J.L. 2001. Integrated Assessment of Catchment Suspended Sediment Budget: A Zambian Example. Land Degradation and Development, 12: 387-415.

Walling, D.E., Kane, P. 1982. Temporal Variation of Suspended Sediment Properties. IAHS Publication, 137: 409–419.

Walling, D.E., Webb, B.W. 1981. The Reliability of Suspended Sediment Load data. IAHS Publication., 133: 177–194.

Wilkinson, S.N., Prosser, I.P., Rustomji, P., Read, A.M. 2009. Modeling and testing spatially distributed sediment budgets to relate erosion processes to sediment yields. Environmental Modeling & Software, 24: 489–501.

Zhang, C.H. 2007. Fundamentals of Environmental Sampling and Analysis, John Wiley & Sons, Inc., Publication. pp: 71-74.

Kliment, Z., Kadlec, J., Langhammer, J. 2008. Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi-empirical erosion models. Catena, 73 (3): 286– 299.

Kronvang, B., Laubel, A., Grant, R. 1997. Suspended sediment and particulate phosphorus transport and delivery pathways in an arable catchment, Gelbaek stream, Denmark. Hydrological Processes, 11: 627–642.

Kuhnle, R.A., Simon, A. 2000. Evaluation of Sediment Transport Data for Clean Sediment TMDLs, National Sedimentation Laboratory, USDA Agricultural Research Service, Oxford, Mississippi, 62 p.

Li, H., Lee, J.H., Cai, M. 2003. Nutrient load estimation methods for rivers. International Journal of Sediment Research, 18: 346–351.

Mano, V., Nemery, J., Belleudy, P., Poirel, A. 2009. Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (France): influence of the climatic regime. Hydrological Process, 23: 777–792.

May, R.W.P., Bromwich, B.C., Gasowski, Y., Rickard, C.E. 2003. Hydraulic design of side weirs. Thomas Telford Publishing, London. 59 p.

Nadal-Romero, E., Latron, J., Marti-Bono, C., Regues, D. 2008. Temporal distribution of suspended sediment transport in a humid Mediterranean badland area: the Araguás catchment,Central Pyrenees. Geomorphology, 97: 601–616.

Oeurng C., Sauvage S., Sánchez-Pérez J.M. 2010. Temporal variability of nitrate transport through hydrological response during flood events within a large agricultural catchment in south-west France. Science of the Total Environment, 409: 140–149.

Pepin, E., Carretier, S., Guyot, J.L., Escobar, F. 2010. Specific suspended sediment yields of the Andean rivers of Chile and their relationship to climate, slope and vegetation. Hydrological Sciences Journal, 55 (7): 1190–1205.

ISSN 2251-7480

Analysis of runoff, suspended sediment and nutrient yield from different tributaries to Zarivar lake in event and base flows

Shirko Ebrahimi Mohammadi[1], Seyed Hamidreza Sadeghi[2*] and Kamran Chapi[3]

1) PhD Student, Department of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
2[*]) Professor, Department of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Corresponding Author email: sadeghi@modares.ac.ir
3) Assistant Professor, Dept. Range and Watershed Management, Kurdistan University, Sanandaj, Iran

Received: 06-04-2012 Accepted: 21-09-2012

Abstract

Although spatial and temporal variability of hydrological parameters are the main inputs for effective soil and water resources management in watershed scale, but this important subject has been scarcely taken into account. Hence, the runoff, suspended sediment and nutrient (Nitrate and Phosphate) yields from main tributaries of the Zarivar Lake were determined and their spatial and temporal variations were also investigated. A number of eight sampling points on the seven lake tributaries were monitored from March 2011 to April 2012 under base flow condition by daily sampling and event bases by hourly sampling intervals. The total yields of runoff, suspended sediment, nitrate and phosphate to the Zarivar lake during the study period were obtained to be 9.7 Mm^3, 685.4 t, 25.4 t and 1.15 t, respectively. Almost seven storms were occurred during the same period due to which 1.61 Mm^3 runoff, 685.4 t suspended sediments, 4 t nitrate and 211 Kg phosphate were transported. Some 8.1 Mm^3 runoff, 718.65 kg suspended sediments, 21.4 t nitrate and 994.35 Kg phosphate were also entered into the Zarivar lake during base flow condition. The results of this study showed that northern parts of the watershed mainly contributed in runoff and nitrate yields. The maximum suspended sediments were also yielded by northern and western parts of the watershed. Whereas, the western parts of the watershed yielded the maximum phosphate to the Zarivar lake. The maximum contribution of runoff, suspended sediments, nitrate and phosphate were respectively happened in spring and winter seasons. About 82 percent of suspended sediments entered to the Zarivar lake during the study period just by one spring event with a duration of some 50 h. It clearly revealed more temporal variability of the suspended sediment and therefore further precaution for better management of soil and water resources of the closed Zarivar lake watershed.

Keywords: environmental health; evaluation indices; integrated watershed management; temporal scale; water resources management