

## تغییرات زمانی دبی جریان و هدررفت عناصر غذایی، مطالعه موردی:

### حوزه آبخیز تهم چای

علیرضا واعظی\* و یونس مظلوم علی‌آبادی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۷)

#### چکیده

هدررفت آب و عناصر غذایی خاک از جمله نشانه‌های تخریب حوزه‌های آبخیز هستند. میزان هدررفت این منابع تحت تأثیر عوامل متعدد از جمله ویژگی‌های باران قرار می‌گیرد. در این پژوهش، داده‌های دبی جریان، کل مواد جامد محلول، نسبت کل هدررفت عناصر غذایی همراه با ویژگی‌های باران برای رخدادهای سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰ در حوزه آبخیز تهم‌چای متعلق به شرکت سهامی آب منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین ویژگی‌های خاک نیز با نمونه‌برداری خاک از نقاط مختلف سطح حوزه آبخیز و اندازه‌گیری آنها به دست آمدند. براساس نتایج، همبستگی معنی‌داری بین میزان دبی جریان رودخانه و مقدار باران وجود داشت. با این وجود، همبستگی معنی‌داری بین دبی جریان و شاخص‌های مدت و شدت باران مشاهده نشد. این نتیجه از یک سو به دلیل رابطه معکوس بین شدت و مدت بارندگی بود و از سوی دیگر به دلیل تغییرات زمانی پوشش گیاهی در منطقه بود که افزایش دبی جریان را در باران‌های شدید مهار می‌کند. بیشترین میزان دبی جریان در فصل بهار (۱/۶۸ مترمکعب بر ثانیه) و ماه فروردین (۲/۵۸ مترمکعب بر ثانیه) بود. در این موقع از سال مانند پاییز میزان بارندگی زیاد و فواصل زمانی آن کوتاه است. همچنین پوشش گیاهی ضعیف بوده و نقشی مهم در مهار رواناب‌های سطحی و کاهش دبی جریان در حوزه آبخیز ایفاء نمی‌کند. شاخص‌های کل مواد جامد محلول، نسبت کل هدررفت عناصر غذایی نیز دارای تغییرات زمانی بودند و بیشترین مقدار آنها به ترتیب در ماه آذر (۲۸۲/۵۵ میلی‌گرم بر لیتر) و (۶۱/۷۷ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد. منیزیم ( $Mg^{+2}$ ) دچار بیشترین میزان هدررفت از خاک حوزه آبخیز بود. همبستگی منفی بین مقدار دبی جریان و کل مواد جامد محلول و نیز نسبت کل هدررفت عناصر غذایی وجود داشت. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که فصل بهار از نظر هدررفت آب و فصل پاییز از نظر هدررفت عناصر غذایی به‌عنوان حساس‌ترین زمان هدررفت منابع حوضه است. از این رو تقویت پوشش گیاهی در اوایل بهار و جلوگیری از عملیات کشاورزی (شخم و کوددهی) نادرست در اوایل پاییز می‌تواند راهکاری اساسی در حفظ این منابع حوضه باشد.

واژه‌های کلیدی: سلامت آبخیز، مواد جامد محلول، ویژگی‌های باران، هدررفت کیفی خاک

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vaezi.alireza@gmail.com

## مقدمه

با مطالعه بر روی عوامل تأثیرگذار بر فرسایش آبی خاک می‌توان از میزان هدررفت منابع غذایی آگاهی پیدا کرد و در راستای کاهش هدررفت آنها برنامه‌ریزی نمود.

هدررفت عناصر غذایی از خاک توسط رواناب به دو صورت محلول در خاک و همراه با ذرات خاک صورت می‌گیرد. مواد جامدی که به صورت محلول در آب می‌باشند شامل کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در خاک هستند. مواد جامد محلول توسط رواناب از سطح حوزه آبخیز به رودخانه منتقل می‌شوند. کل مواد جامد محلول در رودخانه (Total Dissolved Solids) یا TDS رودخانه را می‌توان با اندازه‌گیری جرم کل نمک‌های موجود در نمونه آب رودخانه (پس از انجام تبخیر) در واحد حجم نمونه تعیین کرد. برای مشخص کردن نسبت هدررفت عناصر از سطح خاک از شاخصی به نام نسبت غنی شدن استفاده می‌شود. این شاخص بیانگر نسبت مواد غذایی موجود در واحد خاک از بین رفته به مقدار مواد غذایی در واحد وزن خاک اولیه است (۱۰). هدررفت عناصر غذایی خاک تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد. ویژگی‌های باران از جمله شدت بارندگی، مدت بارندگی و توزیع مکانی و زمانی آن اثراتی مستقیم بر برداشت مواد مغذی از خاک سطحی، مقدار نکه‌داشت آب در خاک و تولید رواناب سطحی دارد (۱۶).

مطالعات اندکی بر روی هدررفت عناصر غذایی از خاک‌های بالادست در حوزه‌های آبخیز صورت گرفته است. در این راستا فاضلی‌کیا و همکاران طی بررسی که در حوزه آبخیز زوجی و معرف در اهواز انجام دادند، اثرات ناشی از رواناب و فرسایش آبی را به صورت کاهش عناصر غذایی پرمصرف خاک شامل فسفر و نیتروژن همراه با تغییر تخلخل و نسبت پوکی خاک مشاهده نمودند (۲۰). علی و همکاران طی پژوهشی که در کرت‌های متوسط فرسایشی انجام شد، به بررسی هدررفت مواد آلی و عناصر غذایی در زمین‌های شیب‌دار پرداختند و بیان کردند که بیشترین هدررفت خاک در کرت‌های عاری از پوشش گیاهی اتفاق افتاد و اغلب شامل هدررفت مواد آلی و عناصر پتاسیم، نیتروژن و فسفر خاک بود (۲۶). سعیدی و صادقی به

خاک یکی از با ارزش‌ترین منابع ملی هر کشور است. فرسایش خاک یک مشکل جهانی به‌شمار می‌رود که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. فرسایش خاک از نظر کمی (تولید رسوب) و کیفی (هدررفت عناصر غذایی) در حوزه‌های آبخیز به‌ویژه با گسترش کاربری‌های کشاورزی به‌عنوان یک مشکل زیست‌محیطی شناخته می‌شود. هدررفت خاک در حوزه آبخیز به دو شکل داخل منطقه و خارج منطقه اثرات زیان‌باری بر تخریب حوزه آبخیز دارد. هدررفت خاک از نظر کمی و کیفی سبب تخریب ساختار خاک شده و کاهش مواد آلی و مغذی و رطوبت قابل دسترس خاک را به دنبال دارد (۴۲). اهمیت این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار بارز است (۲۹). فرسایش خاک و از دست دادن مواد مغذی دو جنبه مهم و مؤثر بر تولید محصول و کیفیت آب در حوزه آبخیز می‌باشند. فرسایش و هدررفت مواد غذایی از خاک سبب کاهش حاصلخیزی و مشکلات زیست‌محیطی جدی و تهدیدی برای بهره‌وری کشاورزی و کیفیت آب می‌باشد (۳۴). فرسایش خاک از نظر کیفی در کنار کاهش آب قابل دسترس خاک به دلیل کاهش عناصر غذایی آن (نیتروژن، کلسیم، پتاسیم)، و هدررفت ماده آلی، باعث ایجاد اثرات مخربی بر خاک می‌گردد (۱۵). پیامد هدررفت خاک خارج از محدوده منطقه مورد مطالعه را می‌توان به صورت افزایش غلظت عناصر غذایی و در نتیجه مواد جامد محلول در رودخانه و در رسوبات و گاهی آلودگی این منابع مشاهده نمود (۲۹). در دهه‌های اخیر، هدررفت عناصر غذایی از زمین‌های کشاورزی از طریق فرسایش و آبشویی به سرعت افزایش یافته است (۵۳). مناطق نیمه‌خشک به دلیل وقوع باران‌های سیل‌آسا و ضعف پوشش گیاهی، حساسیت زیادی برای تولید رواناب سطحی و هدررفت خاک دارند (۳۵). در بسیاری از تحقیقات در زمینه فرسایش خاک، اغلب به میزان خاک از دست رفته پرداخته شده است، درحالی‌که به هدررفت ماده آلی و عناصر غذایی خاک نیز یکی از بارزترین پیامدهای فرسایش آبی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۲۲).

جریان و هدررفت مواد غذایی در ابعاد حوزه آبخیز در منطقه نیمه‌خشک در شمال غرب ایران انجام گرفت.

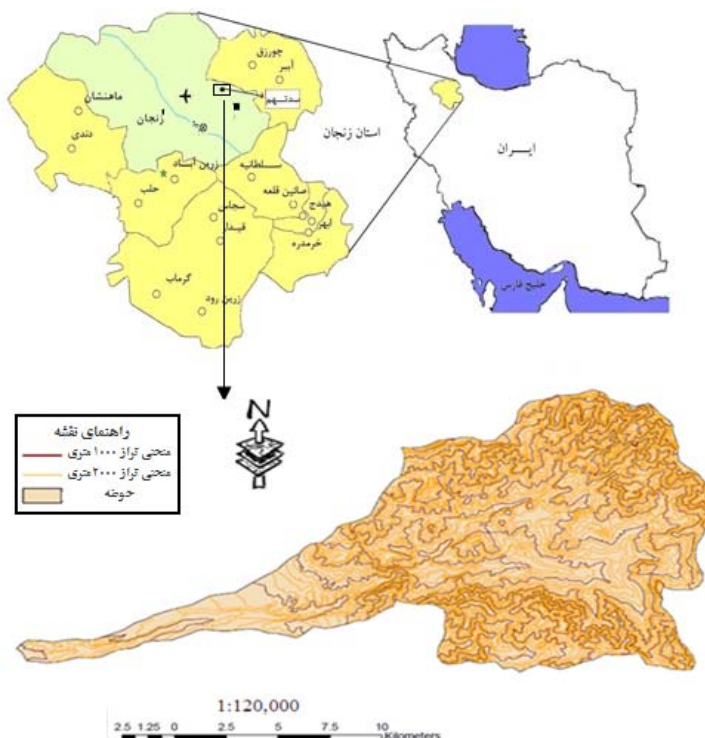
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

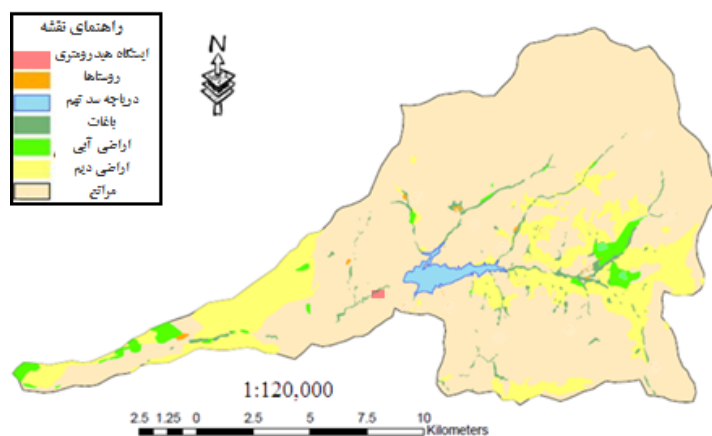
این مطالعه در محدوده حوزه آبخیز تهم‌چای در ۱۰ کیلومتری شمال‌غرب زنجان با عرض جغرافیایی ۴۶° ۳۶' تا ۵۳° ۳۶' شمالی و طول جغرافیایی ۱۷° ۴۸' تا ۳۷° ۴۸' شرقی انجام گرفت (شکل ۱). مساحت این حوزه ۲۲۸۱۶ هکتار و متوسط ارتفاع حوزه ۲۰۸۵ متر از سطح دریا می‌باشد. بارندگی سالیانه آبخیز براساس دوره ۵۰ ساله (۱۳۳۹ تا ۱۳۸۹) برابر ۳۷۸ میلی‌متر و متوسط دمای حوزه ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم حوزه آبخیز براساس روش دومارتن نیمه‌خشک محسوب می‌شود (۲۵). این منطقه از نظر زمین‌شناسی بیشتر از تشکیلات آذرین دوره ترشیاری (سازند کرج) که شامل طبقاتی از توفهای مختلف، شیل، ماسه سنگ، سنگ‌های رسی-شیلی و توده‌های نفوذی از جنس گرانیت و آندزیت هستند، تشکیل شده است (۱۹). سطح پوشش گیاهی مرتعی حوزه حدود ۱۴۱۴۲ هکتار می‌باشد که معادل ۶۱/۹ درصد از سطح کل حوزه را در بر گرفته است (شکل ۲). از گونه‌های مهم گیاهی این منطقه می‌توان جگن (*Carex*)، کاکوتی (*Ziziphora*)، تپاله گون (*Astragalus gossypinus*)، چای کوهی (*perforatum Hypericum*)، خاکشیر (*Descurainia sophia*)، گلابیل (*Gladiolus murielae*)، ورک (*Rosa persica*)، خارشتر (*Alhagi*)، لاله (*Tulipa*)، شنگ (*Tragopogon dubius*) و استپیا (*Stipa*) را نام برد. اراضی دیم رها شده و یا کم‌بازده که قسمت عمده فرسایش را به خود اختصاص می‌دهد با مساحتی حدود ۷۴۶۳ هکتار، ۳۲/۷ درصد از کل سطح حوزه را در بر می‌گیرد. سایر بخش‌ها حوزه نیز در حاشیه شاخه‌های اصلی رودخانه‌ها به‌صورت باغ و یا کشت آبی قرار دارند. خاک‌های منطقه در دو رده غالب اینسپتی سول (*Inceptisols*) و انتی سول (*Entisols*) قرار دارند که خاک‌های رده انتی سول با افق‌های

بررسی ارتباط دبی رودخانه و ماده آلی موجود در رسوبات حوزه آبخیز کجور پرداختند و نشان دادند که ارتباط مستقیمی بین هدررفت ماده آلی و تغییرات دبی وجود نداشت (۱۵). خزایی و همکاران به بررسی تخریب جنگل بر هدررفت عناصر غذایی و خاک در حوزه آبخیز کجور پرداختند. به همین منظور از کرت‌های فرسایشی در دو منطقه بکر و تخریب شده استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین هدررفت مربوط به مواد آلی و کمترین هدررفت مربوط به فسفر خاک بود (۷). نیو و همکاران به بررسی میزان فرسایش و هدررفت عناصر غذایی (کربن کل، نیتروژن کل و ماده آلی) براساس چهار نوع کاربری در حوزه آبخیز دریاچه دیانچی در چین پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین هدررفت عناصر در کاربری‌های کشاورزی تحت خاک‌ورزی مشاهده شد (۵۳). اوترو و همکاران در آمریکای جنوبی به بررسی میزان هدررفت عناصر غذایی توسط رواناب سطحی در دو کاربری کشاورزی (با الگوی کشت سبب‌زمینی) و مرتع (مختص چرای دام) پرداختند. نتایج نشان داد که در زمین‌های تحت کشت سبب‌زمینی به دلیل دخالت‌های انسانی، هدررفت کمی خاک و کیفی خاک از جمله ازت و فسفر بیشتر از کاربری مرتع بود (۴۲).

اگرچه مطالعات زیادی در مورد هدررفت عناصر غذایی از خاک در ابعاد کرت تحت باران‌های شبیه‌سازی شده (۵۲ و ۲۱، ۱۷)، یا تحت باران‌های طبیعی (۱۸ و ۱۲، ۸) انجام گرفته است لیکن مطالعه‌ای دقیق در مورد هدررفت مواد غذایی از خاک در ابعاد حوزه آبخیز انجام نگرفته است. اغلب مطالعاتی که در رودخانه‌های حوزه‌های آبخیز انجام گرفته است، به بررسی مقدار دبی و بارمعلق یا هدررفت مواد آلی خاک متمرکز گردیده‌اند (۴۷ و ۳۱، ۹، ۳). هنوز اطلاعات دقیق در مورد زمان وقوع بیشترین هدررفت مواد غذایی از حوزه‌های آبخیز و ارتباط آن با مشخصات هیدرولوژیکی آبخیز (دبی جریان رودخانه) و ویژگی‌های باران وجود ندارد. با توجه به اهمیتی که هدررفت مواد غذایی از خاک به‌خصوص در حوزه‌های آبخیز مناطق نیمه‌خشک دارد، این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات زمانی دبی



شکل ۱. موقعیت قرارگیری حوزه آبخیز تهم چای در استان زنجان و ایران



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی و مناطق نمونه برداری در حوزه آبخیز تهم چای

آنها اغلب محدود بوده و وجود افق‌های زیر سطحی نفوذناپذیر، در بسیاری از موارد وضعیت هیدرولوژیکی خاک را دچار مشکل کرده است. بافت خاک غالب از نوع لوم رسی و رژیم حرارتی زیریک و رژیم رطوبتی مزیک می‌باشد (۱۶).

سطحی اکویک و اکریک که هیچ افق مشخصه دیگری در آنها دیده نمی‌شود، خاک‌های رده اینسپتی سول دارای افق سطحی امبریک، اکریک و پلاگن و مولیک با ضخامت کم می‌باشند و افق‌های تحتانی آنها عموماً کمبیک و کلسیک و گاهی جیپسیک و یا پتروچیپسیک می‌باشند. تکامل نیم‌رخ

سرشاخه‌ها انتخاب شدند. در هر مکان در امتداد هر سرشاخه، سه نقطه نمونه برداری شامل سرآغاز، حاشیه راست و حاشیه چپ آبراهه انتخاب و نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی متر به وسیله آگر (مته دستی) برداشت شدند. غلظت عناصر کلسیم ( $Ca^{+2}$ )، منیزیم ( $Mg^{+2}$ )، سدیم ( $Na^{+}$ ) و پتاسیم ( $K^{+}$ ) در آزمایشگاه گروه خاک‌شناسی دانشگاه زنجان از عصاره گل اشباع خاک‌های نمونه برداری و به وسیله دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شدند (۴۳).

### اندازه‌گیری ویژگی‌های باران

برای ارتباط دادن مقادیر دبی به ویژگی‌های باران نیاز به آگاهی از ویژگی‌های باران در منطقه بود. بر این اساس از آمار بارندگی (مدت و ارتفاع) ایستگاه باران نگاری زنجان برای دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰) استفاده شد. براساس بارندگی‌های ثبت شده در ایستگاه، ارتفاع بارندگی و مدت بارندگی مشخص شد. شدت باران براساس نسبت مقدار بارندگی به مدت باران به دست آمد. فرسایندهای باران از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران (E) و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران ( $I_{30}$ ) به دست آمد ( $EI_{30}$ ) (۴۹). انرژی جنبشی به ازای ارتفاع باران نیز از رابطه (۲) به دست آمد (۵۰):

$$KE = 11/87 + 8/73 \log I \quad [2]$$

که در آن: I شدت بارندگی ( $mm \ h^{-1}$ ) و KE انرژی جنبشی باران در واحد ارتفاع بارندگی ( $J \ m^{-2} \ mm^{-1}$ ) است.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

توزیع آماری داده‌های باران (ارتفاع، مدت، شدت و فرسایندهای) و نیز داده‌های دبی جریان، مقدار مواد جامد محلول و نسبت هدررفت عناصر غذایی با استفاده از آماره‌های چولگی و کشیدگی مورد ارزیابی قرار گرفتند. تغییرات زمانی مقدار باران، دبی، مقدار مواد جامد محلول و نسبت هدررفت عناصر غذایی در ابعاد زمانی (فصلی و ماهانه) براساس روش تجزیه واریانس با استفاده از آزمون توکی مورد مقایسه قرار

### اندازه‌گیری دبی رودخانه، مقدار مواد جامد محلول و نسبت هدررفت عناصر غذایی خاک

برای بررسی دبی رودخانه تهم‌چای و میزان مواد جامد محلول از آمار ایستگاه هیدرولوژی پالته با عرض جغرافیایی  $26^{\circ} 46' 36''$  و طول جغرافیایی  $48^{\circ} 28' 06''$  متعلق به شرکت سهامی آب منطقه‌ای زنجان واقع در در روستای پالته در جنوب غربی حوزه آبخیز استفاده شد. دبی جریان رودخانه توسط اشل قرائت عمق جریان دو بار در روز و برای تعیین مقدار کل مواد جامد محلول (TDS)، نمونه برداری از آب رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری پس از هر رخداد بارندگی طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰ انجام گرفت. نمونه برداری به وسیله بطری نمونه برداری با حجم دو لیتر (۳۳) پس از هر بارش انجام گرفت. نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه برده شده و پس از صاف کردن با کاغذ صافی، محلول در آن با دمای  $105^{\circ}$  درجه سانتی گراد خشک گردید. غلظت عناصر کلسیم ( $Ca^{+2}$ ) و منیزیم ( $Mg^{+2}$ ) موجود در محلول با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت شد. همچنین غلظت عناصر سدیم ( $Na^{+}$ ) و پتاسیم ( $K^{+}$ ) به وسیله دستگاه فلیم فتومتر اندازه گرفته شد. همچنین نمونه آب حاوی مواد جامد محلول در آن در دمای  $105^{\circ}$  درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد (۴۵). براساس جرم مواد جامد محلول و حجم بطری نمونه برداری، مقدار TDS برحسب میلی گرم در لیتر مشخص شد. همچنین مقادیر pH و EC نمونه آب به عنوان معیارهای مهم ارزیابی کیفیت شیمیایی آب رودخانه، به ترتیب به وسیله pH سنج و EC متر تعیین گردیدند (۲۷).

نسبت هدررفت عناصر غذایی (NR) (Ratio Nutrient Loss) براساس مقدار عنصر غذایی در آب رودخانه به مقدار همان عنصر غذایی در خاک حوزه آبخیز و به شکل فرمول (۱) تعیین شد.

$$NLR = \frac{\text{مقدار عنصر غذایی در آب رودخانه}}{\text{مقدار عنصر غذایی در خاک حوزه آبخیز}} \quad [1]$$

هدف از ارائه این نسبت، امکان ایجاد مقایسه بین عناصر غذایی مختلف خاک از نظر میزان هدررفت در جریان رودخانه بود. برای تعیین مقدار عناصر غذایی خاک، نمونه برداری از ۲۰ مکان در سطح حوزه آبخیز انجام گرفت. مکان‌های انتخابی، در امتداد

جدول ۱. شاخص‌های آماری دبی ماهانه رودخانه حوزه آبخیز تهم‌چای، طی دوره زمانی پژوهش (از ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰)

ماه	تعداد رخداد	ارتفاع باران (میلی‌متر)			دبی جریان رودخانه (مترمکعب بر ثانیه)				
		میانگین	میان	انحراف معیار	میانگین	میان	انحراف معیار		
فروردین	۱۸	۵/۸۰	۳/۸۲۱	۱/۴۸	۲۶/۷۴-۱/۰۲	۲/۵۸	۲/۶۳	۰/۴۱	۵/۳-۰/۴۲
اردیبهشت	۲۰	۴/۶۲	۲/۸۳	۱/۰۱	۲۱/۶۵-۱/۰۹	۲/۰۲	۲/۲۵	۰/۳۴	۵/۳۷-۰/۱۳
خرداد	۸	۵/۰۶	۲/۵۵	۱/۸۷	۱۵/۹۱-۱/۰۳	۰/۴۴	۰/۴۰	۰/۱۶	۱/۱۷-۰/۰۷
تیر	۵	۵/۱۱	۲/۸۴	۲/۴۰	۱۷/۰۵-۱/۵۱	۰/۷۸	۰/۱۰	۰/۶۸	۴/۲۱-۰
مرداد	۴	۱/۰۶	۱/۸۷	۰/۱۹	۲/۰۳-۱/۰۴	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۲۷-۰
شهریور	۲	۸/۹۷	۱۱/۵۳	۳/۹۸	۱۴/۲۴-۱/۱۶	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲-۰/۰۱
مهر	۱۲	۴/۰۲	۲/۴۸	۱/۰۹	۱۳/۳۵-۱/۰۰	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۱۲	۱/۱۸-۰
آبان	۲۲	۵/۹۲	۴/۴۹	۱/۱۲	۲۳/۳۱-۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۱۱	۲/۵۴-۰
آذر	۱۳	۴/۶۹	۱/۸۱	۱/۵۶	۱۹/۴۲-۰/۹۳	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۳۵-۰/۰۸
دی	۷	۳/۰۲	۲/۶۰	۰/۴۷	۵/۲۶-۱/۵۲	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۳۶-۰/۱۳
بهمن	۲	۴/۵۸	۳/۷۷	۱/۴۵	۷/۴۱-۲/۵۷	۰/۴	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۷۳-۰/۲۳
اسفند	۱۲	۳/۰۸	۲/۶۵	۰/۳۶	۶/۰۹-۱/۴۸	۰/۹۷	۰/۵۸	۰/۲۷	۲/۹۰-۰/۱۳

جریان در ماه‌های مختلف طی دوره آماری پژوهش نشان داد که در مقیاس ماهانه تفاوتی معنی‌دار از نظر دبی جریان رودخانه ( $P < 0/001$ ) وجود داشت (جدول ۲). میزان جریان در رودخانه طی سال به عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های باران (مقدار، مدت، شدت بارندگی و نوع بارش‌های آسمانی)، وضعیت دمایی و میزان آب شدن برف‌ها و تغییرات پوشش گیاهی و مدیریت خاک حوزه آبخیز بستگی دارد (۱۱). بررسی مقدار بارندگی فصلی و ماهانه در دوره آماری ۱۵ ساله نشان داد که بیشترین مقدار بارندگی متعلق به ماه آبان (۹/۰۹ میلی‌متر) بود (شکل ۳ ب). تجزیه واریانس تفاوت مقدار باران و دبی جریان در ماه‌های مختلف همچنین نشان داد که در ابعاد ماهانه تفاوتی معنی‌دار از نظر مقدار باران ( $P < 0/001$ ) وجود داشت (جدول ۲).

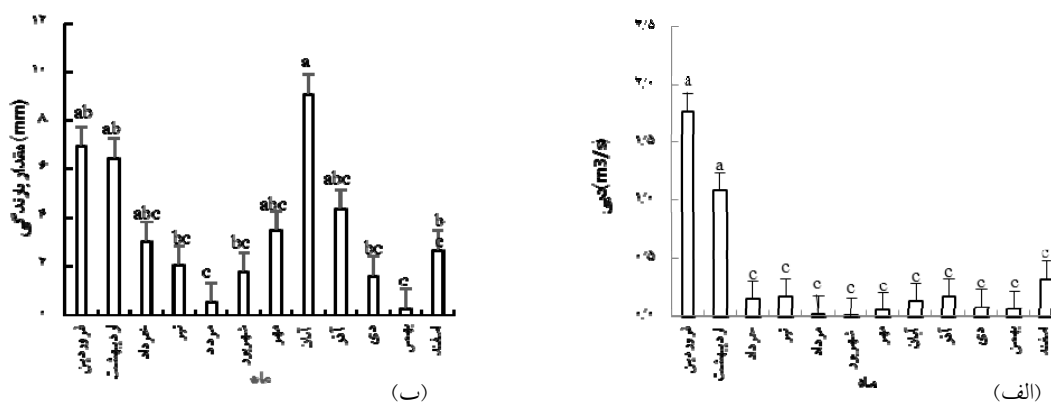
برای پی‌بردن به اختلاف آماری ماه‌های مختلف از نظر مقدار دبی جریان و بارندگی، نتایج مقایسات میانگین به صورت حروف لاتین بر روی هیستوگرام مقادیر ماهانه دبی و بارندگی نشان داده شد (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها بین ماه‌های سال از نظر مقدار دبی جریان رودخانه نشان داد که ماه فروردین و در مرحله دوم ماه اردیبهشت به‌عنوان پرآب‌ترین زمان وقوع

گرفتند. رابطه بین دبی و ویژگی‌های باران با استفاده از توابع مختلف ریاضی بررسی شد و میزان برازش آنها براساس ضریب تبیین ( $R^2$ ) بیان شدند. به‌منظور بررسی اثرپذیری هدررفت عناصر غذایی از دبی جریان، همبستگی بین هدررفت عناصر غذایی و ویژگی‌های جریان در رودخانه با استفاده از روش پیرسون و سطوح معنی‌داری (۴۴) تعیین شد. در این روش روابط دوگانه بین هدررفت هر یک از عناصر غذایی با ویژگی‌های جریان مانند دبی، شورایی و نسبت غنی شدن به‌صورت خطی محاسبه و براساس ضریب همبستگی ( $r$ ) بیان شد. به‌منظور تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار JMP8 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Excel2013 استفاده شد.

## نتایج و بحث

### تغییرات زمانی دبی جریان

بررسی تغییرات زمانی دبی جریان رودخانه در حوضه براساس هیستوگرام مقادیر دبی نشان داد که میانگین بیشترین میزان دبی جریان در ماه فروردین (۲/۵۸ متر مکعب بر ثانیه) بود (جدول ۱) (شکل ۳ - الف). تجزیه واریانس تفاوت مقدار باران و دبی



شکل ۳. تغییرات زمانی متوسط دبی جریان، مقدار باران (الف و ب) در حوزه آبخیز تهم‌چای طی دوره زمانی پژوهش (از ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰) حروف انگلیسی متفاوت بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در بین ماه‌ها است

جدول ۲. تجزیه واریانس تغییرات مقدار دبی جریان رودخانه و باران در ابعاد ماهانه در حوزه آبخیز تهم‌چای، طی دوره زمانی پژوهش (از ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰)

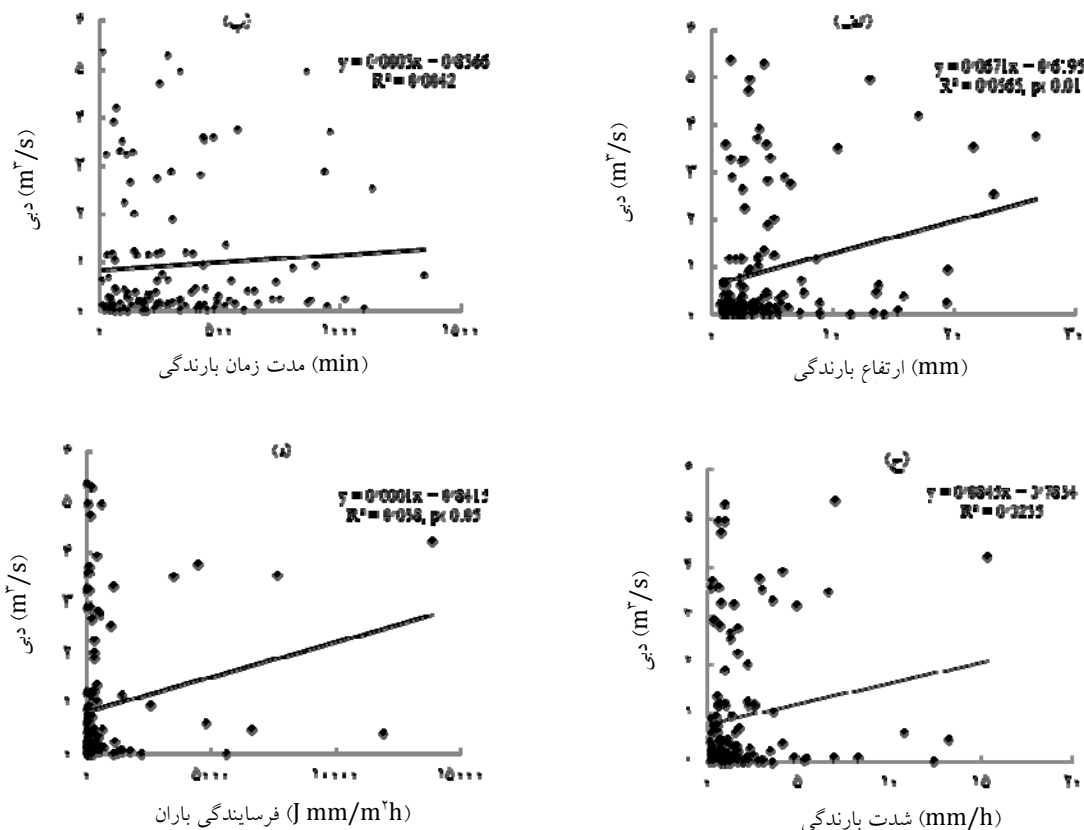
متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
دبی جریان رودخانه	۴۳/۸۷	۱۱	۳/۹۹	۸/۲۱	< ۰/۰۰۰
مقدار باران	۱۱۵۰/۱۰	۱۱	۱۰۴/۵۵	۲/۴۹	< ۰/۰۰۶

به دلیل وجود رابطه عکس بین شدت و مدت بارندگی‌ها در حوزه آبخیز باشد (شکل ۵). در واقع بیشتر رخدادهای باران که شدت نسبتاً بیشتری (بیشتر از ۵ میلی‌متر بر ساعت) داشتند، به دلیل کوتاه بودن تداوم بارش (کمتر از یک ساعت) مقدار رواناب کمتر داشته و در نتیجه دبی جریان رودخانه پایین‌تری را موجب شدند. در رخدادهایی از باران نیز که تداوم نسبتاً کمی داشتند (بیشتر از یک ساعت) به دلیل پایین بودن شدت آنها (کمتر از ۵ میلی‌متر بر ساعت) احتمال افزایش دبی رودخانه پایین بود (۱۰). از سوی دیگر وجود تغییرات زمانی از نظر درصد پوشش گیاهی و نیز انجام عملیات خاک‌ورزی (شخم و کشت) به نوبه خود موجب می‌گردد در برخی باران‌های شدید به دلیل وجود پوشش گیاهی مناسب، یا عدم وجود شخم و کشت، تولید رواناب سطحی، دبی جریان رودخانه افزایش چندانی پیدا نکند. وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین دبی جریان رودخانه و

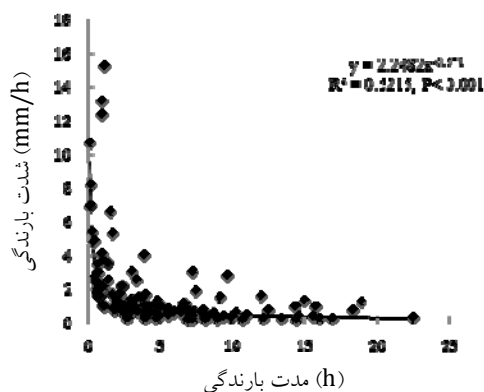
جریان رودخانه، تفاوتی قابل ملاحظه با سایر ماه‌های سال دارند. این نتایج می‌تواند مؤید بیشترین فرسایش خاک در اراضی بالادست و بیشترین احتمال خطر سیل‌خیزی در حوزه آبخیز در این موقع از سال باشد.

#### رابطه بین خصوصیات جریان سطحی و ویژگی‌های باران

بررسی رابطه بین دبی جریان با ویژگی‌های باران (ارتفاع، مدت، شدت و فرساینده‌گی) برای ۱۳۶ رخداد بررسی شده باران-دبی نشان داد که دبی جریان رودخانه در حوزه آبخیز تهم‌چای تنها تحت تأثیر ارتفاع بارندگی ( $r=0/23, P<0/005$ ) و شاخص فرساینده‌گی باران ( $r=0/19, P<0/23$ ) قرار دارد (شکل ۴). با افزایش مقدار بارندگی و نیز فرساینده‌گی باران، مقدار دبی جریان رودخانه به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. با این وجود رابطه بین دبی جریان رودخانه و مدت بارندگی ( $r=0/064$ ) و شدت آن ( $r=0/15$ ) معنی‌دار نبود. این موضوع می‌تواند



شکل ۴. رابطه بین دبی جریان رودخانه و برخی ویژگی‌های باران در حوزه آبخیز تهم‌چای طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰

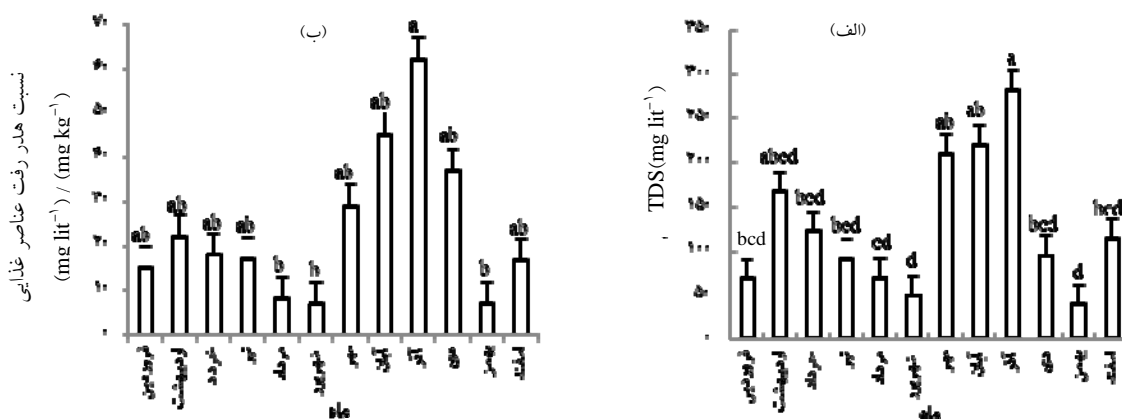


شکل ۵. رابطه بین مدت بارندگی و شدت بارندگی برای ۱۳۶ رخداد باران در حوزه آبخیز تهم‌چای طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰

واقع رخدادهایی از باران اغلب منجر به افزایش دبی جریان رودخانه می‌شوند که با توجه به میزان شدت و مدت آنها، دارای مقدار بارندگی بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر اگرچه ممکن است باران‌های شدید در مدت کوتاه منجر به ظهور رواناب‌های

ارتفاع بارندگی می‌توان مؤید این باشد که در حوزه‌های آبخیز واقع در منطقه نیمه‌خشک، نقش مقدار باران در ظهور رواناب بسیار بارزتر از نقش شدت بارندگی می‌باشد. ارتفاع باران بیانگر تأثیر توأم شدت باران و مدت باران در مقدار بارندگی است. در





شکل ۶. الف) تغییرات زمانی مقدار مواد جامد محلول و ب) نسبت هدررفت عناصر غذایی در حوزه آبخیز تهم چای طی دوره پانزده ساله (از ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰). حروف انگلیسی متفاوت بیانگر وجود تفاوت معنی دار در بین ماهها است.

بیشترین همبستگی با میزان دبی بود (۵۳). واعظی و همکاران (۱۳۸۷) به ارزیابی شاخص‌های فرساینده‌گی در مدل‌های USLE، MUSLE، USLE-M و USLE در خاک‌های نیمه‌خشک هشت‌رود استان آذربایجان شرقی پرداختند و بیان کردند که شاخص فرساینده‌گی باران بر مبنای حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای مناسب‌ترین شاخص برای پیش‌بینی هدررفت خاک در منطقه نیمه‌خشک می‌باشد (۲۴).

#### تغییرات زمانی مقدار مواد جامد محلول و نسبت هدررفت عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تغییرات قابل توجهی از نظر TDS در ابعاد ماهانه وجود دارد ( $P < 0/01$ ). ماه آذر بیشترین مقدار TDS (۲۸۲/۵۵ میلی گرم بر لیتر) را طی ماه‌های سال نشان داد (شکل ۶ الف). در این بازه زمانی احتمال ظهور رواناب‌ها پایین است اما هدررفت املاح خاک بسیار بالا است. در همین راستا راموس و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که بارش‌های شدید سبب به وجود آمدن رواناب بالا و رقیق شدن آب و پایین آمدن غلظت املاح می‌شود (۴۶). نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد که تغییرات معنی داری از نظر نسبت NR ( $P < 0/05$ )، و نیز نسبت هدررفت هریک از عناصر غذایی منیزیم ( $Mg^{2+}$ ) ( $P < 0/001$ ) و سدیم ( $Na^+$ ) ( $p < 0/01$ ) در ابعاد ماهانه وجود دارد

سطحی شوند لیکن اغلب این جریان‌ها به رودخانه حوضه راه پیدا نمی‌کنند. از این رو احتمال وقوع دبی‌های بالا تنها زمانی زیاد است که مقدار بارندگی بیشتر باشد و یا اینکه مدت بارندگی زیاد باشد که بتوان حداکثر شدت در زمان‌های بیشتر حاصل شود و موجب افزایش دبی گردد. علت وجود رابطه مثبت معنی دار بین دبی جریان رودخانه و فرساینده‌گی باران ( $EI_{30}$ ) نیز از آنجاست که تنها باران‌هایی که دارای تداوم زیادی بوده و در نتیجه شاخص حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای ( $I_{30}$ ) در آنها قابل بیان می‌باشد، منجر به تولید رواناب و افزایش دبی جریان رودخانه می‌شوند. در واقع باران‌هایی که تداوم بالایی دارند، اغلب دارای مقدار بارش بیشتر بوده و مقدار  $I_{30}$  در آنها قابل محاسبه است. من و همکاران بیان کردند تغییرات شاخص فرساینده‌گی باران بستگی به منطقه جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلی و نوع اندازه‌گیری دارد (۳۹). به هر حال در تحقیقاتی که در ابعاد کوچک (کرت فرسایشی) تحت باران انجام می‌گیرد، امکان دستیابی به رابطه قوی بین شاخص  $EI_{30}$  و مقدار رواناب یا هدررفت خاک بسیار زیاد است. ژانگ و همکاران به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص فرساینده‌گی باران برای وقوع رواناب و دبی جریان، ۵ مدت زمان (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه) را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای دارای

جدول ۳. تجزیه واریانس تغییرات کل مواد جامد محلول و نسبت هدررفت کل عناصر غذایی، نسبت هدررفت هر یک از عناصر غذایی، شوری و واکنش آب رودخانه در ابعاد ماهانه در حوزه آبخیز تهم‌چای طی دوره پژوهش (از ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰)

متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
کل مواد جامد محلول	۸۵۸۳۹۲/۲۴	۱۱	۷۰۸۳۵/۶۶	۲/۹۱	< ۰/۰۰۲
نسبت هدررفت کل عناصر غذایی	۷۳۵۸۲/۰۶	۱۱	۶۶۸۹/۲۸	۲/۳۲	< ۰/۰۱۱
نسبت هدررفت کلسیم	۱۳۹۵/۰۸	۱۱	۱۲۶/۸۳	۱/۲۷	< ۰/۲۴۸
نسبت هدررفت منیزیم	۱۷۱۶۹/۰۵	۱۱	۱۵۶۰/۸۲	۳/۳۱	< ۰/۰۰۰
نسبت هدررفت پتاسیم	۰/۱۱	۱۱	۰/۰۱	۰/۹۳	< ۰/۵۱۵
نسبت هدررفت سدیم	۲۳۹۲/۴۹	۱۱	۲۱۷/۵۰	۲/۹۲	< ۰/۰۰۱
شوری آب	۳۵۳	۱۱	۳۲	۲	< ۰/۰۰۷
واکنش آب	۱۲۳۸۵۴۷	۱۱	۱۱۲۵۸۷/۰۵	۲/۰۱	< ۰/۰۳

آب و هدررفت املاح در اختیار بگذارد. براساس نتایج، تفاوتی معنی‌دار بین ماه‌های مختلف سال از نظر EC ( $P < 0/05$ ) و pH ( $P < 0/01$ ) آب رودخانه وجود داشت (جدول ۳ و شکل ۷). بیشترین درجه شوری و اسیدیته آب رودخانه به‌ترتیب در ماه شهریور (۵۸۵ دسی‌زیمنس بر متر) و ماه بهمن (۷/۹) و کمترین مقادیر آنها به‌ترتیب مربوط به ماه فروردین (۳۱۰/۳۹) دسی‌زیمنس بر متر) و ماه دی (۶/۳۷) بود. زیاد بودن درجه شوری خاک در ماه شهریور از یک‌سو به‌واسطه زیاد بودن میزان عملیات خاک‌ورزی و کشت، قابلیت انحلال املاح، مصرف کودهای شیمیایی و عدم مصرف توسط پوشش گیاهی بود. پایین بودن اسیدیته در ماه بهمن را می‌توان به کاهش انحلال نمک‌ها بازی ارتباط داد. کاهش املاح بازی به نوبه خود عاملی مؤثر در کاهش اسیدیته آب رودخانه می‌باشد (۵). جداری عیوضی و همکاران با بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب رودخانه کر و دریاچه سد درودزن بیان کردند که به‌علت ورود رسوبات حاوی کربنات کلسیم به آب رودخانه در ماه‌های مختلف سال اسیدیته بین ۷/۲ تا ۸/۱ متغیر بود (۵).

#### وابستگی هدررفت عناصر غذایی به دبی جریان و ویژگی‌های

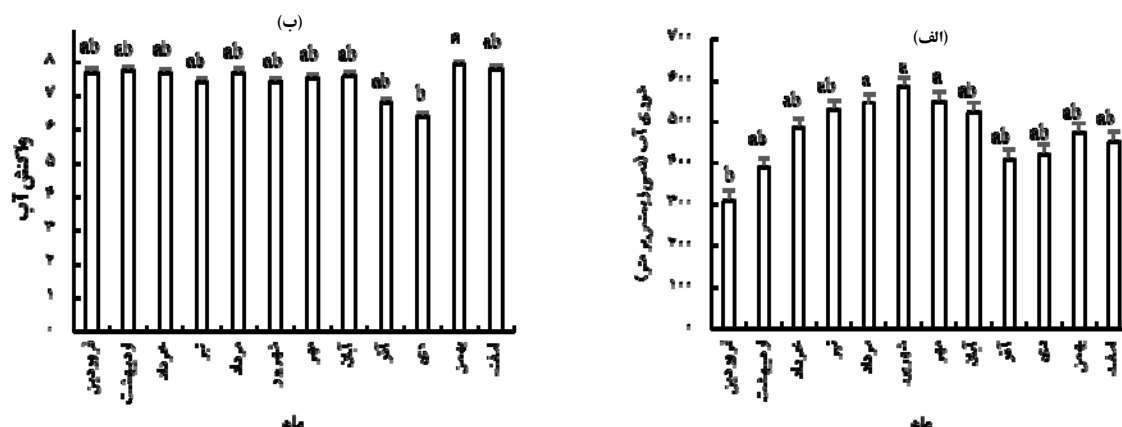
#### کیفی آب رودخانه

همبستگی بین هدررفت عناصر غذایی با دبی جریان رودخانه و

(جدول ۳). بیشترین میزان NR در ماه آذر (۶۱/۷۷) مشاهده گردید (شکل ۶ ب). جودی و اسدی به بررسی تغییرات مکانی و زمانی برخی عناصر موجود در رودخانه پسبان در حوزه آبریز دریای خزر پرداختند و بیان کردند بیشترین هدررفت نیتروژن در فصل زمستان و بیشترین هدررفت مواد آلی و فسفر در فصل پاییز مشاهده شد (۶). وانگ و همکاران در منطقه‌ای از شانگ‌های چین بررسی‌هایی بر روی رابطه هدررفت عناصر نیتروژن و فسفر از خاک و ذخیره‌سازی در دریاچه پایین‌دست انجام دادند و نشان دادند که بیشترین همبستگی بین هدررفت عناصر غذایی از خاک و ذخیره‌سازی در دریاچه در فصل تابستان و کمترین همبستگی در فصل زمستان وجود داشت (۴۸).

#### تغییرات زمانی درجه شوری و اسیدیته آب رودخانه

درجه شوری آب رودخانه (EC) از جمله شاخص‌هایی است که می‌تواند نشان‌دهنده مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) باشد. افزایش مواد جامد محلول نیز ممکن است به‌واسطه هدررفت بیشتر عناصر غذایی خاک باشد (۴۱). در کنار این شاخص، مقدار اسیدیته (واکنش) زیاد آب می‌تواند مؤید میزان حضور کاتیون‌های بازی مانند کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم در آب رودخانه باشد. از این‌رو بررسی شاخص شوری و اسیدیته آب می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از نظر وضعیت کیفی



شکل ۷. تغییرات زمانی شوری (الف) و واکنش (ب) در حوزه آبخیز تهم چای طی دوره پژوهش (از ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰) حروف انگلیسی متفاوت بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در بین ماه‌ها است

جدول ۴. همبستگی بین هدررفت عناصر غذایی و ویژگی‌های جریان در رودخانه تهم چای طی دوره پژوهش (از ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰)

متغیر	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NR	EC	pH	TDS	Q
Ca <sup>2+</sup>	۱								
Mg <sup>2+</sup>	۰/۰۱	۱							
Na <sup>+</sup>	۰/۱۲	۰/۶۲***	۱						
K <sup>+</sup>	-۰/۰۲	۰/۹۳***	۰/۵۲***	۱					
NR	۰/۷۳***	۰/۶۷***	۰/۶۱***	۰/۵۹***	۱				
EC	۰/۰۷	-۰/۱۹*	۰/۳۳***	-۰/۴۱***	۰/۰۲	۱			
pH	۰/۰۴	-۰/۹۰***	-۰/۵۵***	-۰/۹۵***	-۰/۵۶***	۰/۳۵***	۱		
TDS	۰/۰۶	-۰/۲۲**	۰/۱۹*	-۰/۳۸***	۰/۰۳	۰/۷۲***	۰/۳۱***	۱	
Q	-۰/۰۷	-۰/۲۶**	-۰/۵۵***	-۰/۰۸	-۰/۳۰***	-۰/۴۷***	۰/۱۰	-۰/۴۱***	۱

Ca<sup>2+</sup>: نسبت هدررفت عنصر کلسیم، Mg<sup>2+</sup>: نسبت هدررفت عنصر منیزیم، Na<sup>+</sup>: نسبت هدررفت سدیم، K<sup>+</sup>: نسبت هدررفت پتاسیم، NR: نسبت هدررفت عناصر غذایی (مجموع Mg<sup>2+</sup>، K<sup>+</sup>، Ca<sup>2+</sup>، Na<sup>+</sup>)، EC: هدایت الکتریکی، pH: واکنش خاک TDS: مقدار مواد جامد محلول در آب رودخانه و Q: دبی جریان. \*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، \*\*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد و \*\*\*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹/۹۹ درصد

پایین‌ترین بود (پاییز)، مقدار TDS بیشترین مقدار بود. براساس نتایج، همبستگی منفی معنی‌دار بین دبی جریان و نسبت هدررفت کل عناصر غذایی (NR) مشاهده شد که می‌توان معکوس بودن این همبستگی را به غلظت جریان مربوط دانست. نتایج همچنین نشان داد که همبستگی معنی‌دار بین

سایر شاخص‌های کیفی آب با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (r) بررسی شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که بین دبی جریان رودخانه و مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) همبستگی منفی معنی‌دار برقرار است (P < ۰/۰۰۱ و r = -۰/۴۱). این نتیجه نشان می‌دهد در ماه‌هایی از سال که دبی جریان

است، هدررفت املاح و مواد غذایی کمتر (۵۴ و ۴۰) می‌باشد. در فصل پاییز با وجود پایین بودن مقدار دبی جریان، مقدار هدررفت املاح و مواد غذایی بسیار بالا بود. از سوی دیگر می‌توان تصور نمود که در دبی‌های بالای جریان رودخانه که نیروی لازم برای حمل مواد درشت دانه تأمین می‌شود، به‌علت محتوای کم این ذرات از عناصر غذایی و مواد آلی مقدار املاح حل شده نیز کمتر می‌باشد (۵۴).

### نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که دبی جریان رودخانه دارای تغییرات قابل توجهی در ابعاد فصلی و ماهانه است. این تغییرات به دلیل تفاوت در پوشش گیاهی و نسبت رخداد باران بود. دبی جریان رودخانه در ابعاد رخداد نیز دارای تغییراتی بود. رابطه‌ای معنی‌دار بین مقدار مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی آب رودخانه برقرار شد ( $R^2=0/48$ ). از این رابطه می‌توان با اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی آب رودخانه تا اندازه‌ای به مقدار مواد جامد محلول آن پی برد. به‌طورکلی از نتایج این پژوهش می‌توان در پیش‌بینی زمان وقوع بیشترین هدررفت آب و هدررفت مواد غذایی و نیز مدت زمان افت شدید کیفی آب به‌ویژه از نظر شوری استفاده نمود. بررسی هدررفت کیفی تمام عناصر غذایی خاک و تعیین رابطه آن با مقدار مواد جامد محلول در پژوهش‌های آینده، می‌تواند دیدگاهی دقیق در مورد هدررفت تمام عناصر ارائه نموده و در نتیجه در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی سودمندتر واقع گردد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از شرکت سهامی آب منطقه‌ای زنجان که داده‌هایی از رودخانه را در اختیار نویسندگان مقاله قرار دادند، قدردانی می‌شود. از گروه خاک‌شناسی دانشگاه زنجان به‌خاطر همکاری در تجزیه ویژگی‌های خاک نیز تشکر می‌شود.

TDS و EC وجود دارد ( $P < 0/001$  و  $r = 0/72$ ). این رابطه را می‌توان به‌صورت معادله خطی زیر بیان کرد:

$$TDS = 0/48(EC) + 66/52 \quad (R^2 = 0/48) \quad [3]$$

که در آن: TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر و EC برحسب دسی‌زیمنس بر متر است. این معادله نشان می‌دهد که با تعیین درجه شوری آب رودخانه می‌توان تا حد امکان نسبت به وضعیت TDS آن پی برد. همچنین گرمی و همکاران این رابطه را برای رودخانه کارون برای دبی‌های کمتر از ۴۰۰ (مترمکعب بر ثانیه) و دبی‌های بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ (مترمکعب بر ثانیه) و دبی‌های بیشتر از ۸۰۰ (مترمکعب بر ثانیه) مورد بررسی قرار داده و روابط زیر را به‌ترتیب ارائه نمودند (۳۶):

$$TDS = 0/58(EC) + 75/53 \quad (R^2 = 0/85) \quad [4]$$

$$TDS = 0/66(EC) - 45/97 \quad (R^2 = 0/94) \quad [5]$$

$$TDS = 0/65(EC) - 28/38 \quad (R^2 = 0/98) \quad [6]$$

که در آنها: TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر و EC برحسب دسی‌زیمنس بر متر است.

وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین اسیدیته آب و درجه شوری ( $P < 0/001$  و  $r = 0/31$ ) می‌تواند بیانگر این نکته باشد که بخش مهمی از مواد منتقل شده در آب دارای خصوصیت بازی بوده و می‌تواند به دلیل حضور کاتیون‌هایی مانند منیزیم و سدیم یا آنیون‌هایی مانند کربنات و بی‌کربنات باشد. بین TDS و NR همبستگی معنی‌دار مشاهده نگردید. این نتیجه نشان می‌دهد که عناصر غذایی مورد بررسی (کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم) تنها بخش اندکی از کل املاح منتقله در آب رودخانه می‌باشند. با این وجود، همبستگی معنی‌دار بین TDS و نسبت هدررفت  $Na^+$  و  $Mg^{2+}$  می‌تواند مؤید این نکته باشد که این کاتیون‌های بازی از جمله عناصر غذایی هدررفته خاک بوده که بخشی نسبتاً مهم از کل املاح محلول خاک را شامل می‌شوند. بین دبی جریان و TDS و NR همبستگی منفی و معنی‌دار حاصل شد. در واقع در ماه‌هایی از سال (مانند بهار) که دبی جریان زیاد

## منابع مورد استفاده

۱. احمدی گلی، ک، ف. کیانی و م. بارانی مطلق. ۱۳۹۱. بررسی میزان هدررفت کلسیم و منیزیم در رودخانه گرگانرود استان گلستان. همایش ملی خاک، کشاورزی پایدار. دانشگاه ملایر. ۱۷ اسفند ۱۳۹۱.
۲. اسفندیاری، ف.، ب. سبحانی، م. مبارکی آزادی و ف. جعفرزاده. ۱۳۸۸. تحلیل آماری از روزهای برفی شهرستان تبریز و ارتباط آن با پدیده کلان مقیاس گردش جوی- اقیانوسی نوسانات اطلس شمالی (NAO). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۱۰(۱۳): ۸۳-۱۰۲.
۳. برزگری بنادکوک، ف و م. آرمین. ۱۳۹۴. پیش‌بینی بار معلق رودخانه با استفاده از مدل‌های سری زمانی و منحنی سنجح اصلاح شده (مطالعه موردی: ایستگاه قزاقلی رودخانه گرگانرود). نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۹(۳۱): ۸۷-۷۷.
۴. پدram، م.، ح. قائمی، ا. هدایتی دزفولی و ا. مرتضوی. ۱۳۹۰. ریزش برف و ارتباط آن با دما در استان کردستان. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی ۲۵(۱۰۰): ۱۶۸۴۴-۱۶۸۲۸.
۵. جداری عیوضی، ج.، ا. مقیمی، م. یمانی، ح. محمدی و ا. ح. عیسانی. ۱۳۸۹. تأثیر عوامل اکوژئومورفولوژیک بر کیفیت شیمیایی آب مطالعه موردی: رودخانه کر و دریاچه سد درودزن. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی ۲۱(۳۷): ۳۲-۱۷.
۶. جودی، م. و ح. اسدی. ۱۳۹۳. انتقال عناصر غذایی و مواد آلی موجود در رسوبات رودخانه پسیان. اولین همایش ملی آب انسان و زمین. دانشگاه اصفهان. ۶ شهریور ۱۳۹۶.
۷. خزایی، م.، س. ح. ر. صادقی، س. خ. میرنیا و ی. یزدانی مقدم. ۱۳۹۱. اثر تخریب جنگل بر هدررفت عناصر غذایی خاک و رسوب در حوزه آبخیز جنگلی کجور مطالعه موردی (جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس). فصل‌نامه علمی پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی ایران ۳(۲): ۱۲-۱.
۸. داودی مقدم، د.، س. ح. ر. صادقی، م. اعظمی‌راد. ۱۳۹۵. اثر جهت‌های مختلف دامنه بر تولید رواناب سطحی، هدررفت خاک و عناصر غذایی در حوزه‌های آبخیز نمونه و شاهد کاخک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۳۰(۳): ۹۲۹-۹۲۰.
۹. رشیدی، ش.، م. وفاخواه و م. ر. جوادی. ۱۳۹۴. تغییرات زمانی دبی مؤثر انتقال رسوبات معلق (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کورکورسر). مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی ۱۷(۱): ۷۴-۵۸.
۱۰. رفاهی، ح. ۱۳۸۸. فرسایش آبی و کنترل آن. مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
۱۱. رهبر، ا و م. مسعودی. ۱۳۸۸. روند تغییرات رواناب در آبخیز رودخانه کردان. فصل‌نامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۶(۲): ۱۷۳-۱۶۱.
۱۲. زکیی، ج.، م. ا. آسودار و الماسی، م. ۱۳۹۳. اثر شیب، خاک‌ورزی و روش‌های کاشت در سطوح شیب‌دار بر میزان فرسایش خاک، عناصر غذایی، مواد آلی و عملکرد گندم دیم. نشریه زراعت ۲۷(۱۰۲): ۱۰۹-۱۰۱.
۱۳. سالاردینی، ع. ا. ۱۳۹۱. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.
۱۴. سلیمان‌خانی، ز.، س. ح. ر. صادقی، س. خ. میرنیا و ر. غلامی گوهره. ۱۳۹۲. مقایسه تغییرات درون و میان‌رگباری رواناب و رسوب در پلات‌های مستقر در کاربری مرتع و جنگل احیا شده. مجله پژوهش آب ایران ۷(۱۳): ۱۹-۱۱.
۱۵. سعیدی، پ و س. ح. ر. صادقی. ۱۳۸۹. بررسی ارتباط بین دبی آب و ماده آلی موجود در رسوبات معلق در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی کجور. مجله تحقیقات منابع آب ایران ۶(۱): ۶۶-۵۵.
۱۶. عباسی، م. ۱۳۹۰. رابطه بین مشخصه‌های باران، ویژگی‌های خاک تولید رواناب و رسوب در حوزه آبخیز تهم‌چای. پایان‌نامه

- کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
۱۷. عباسی، ک.، م. ر. نیشابوری، ش. اوستان و ع. احمدی. ۱۳۹۳. اثرات هیدرومالچ و پلی اکریل آمید بر کنترل رواناب، رسوب و اتلاف عناصر N، P، K خاک در شرایط آزمایشگاهی. نشریه دانش آب و خاک ۲۴(۴): ۲۴۷-۲۵۹.
۱۸. عباسی، م.، ع. نجفی نژاد، و. ب. شیخ، م. عظیم محسنی. ۱۳۹۵. تغییرات رواناب، هدررفت خاک و عناصر غذایی در کاربری‌های گیاهی مختلف در اراضی لسی (مطالعه موردی: آبخیز کچیک استان گلستان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۳(۳): ۱۰۹-۹۱.
۱۹. عبدی، پ. و م. ر. حسنلو. ۱۳۸۲. تعیین شدت فرسایش و رسوبزایی اراضی در حوزه آبخیز تهم‌چای با استفاده از مدل پسیاک و GIS. همایش ژئوماتیک، تهران. اردیبهشت ۱۳۸۲.
۲۰. فاضلی‌کیا، س. س.، ع. غلامی و ت. بابایی‌نژاد. ۱۳۹۳. بررسی هدررفت عنصر (p) و مواد آلی در حوزه آبخیز معرف و زوجی شهرستان شوش در استان خوزستان. همایش ملی ایده‌های نوین در کشاورزی پایدار. دانشگاه آزاد بروجرد. اسفند ۱۳۹۳.
۲۱. نیک‌کامی، د.، م. ح. مهدیان و ه. چم‌حیدر. ۱۳۹۱. استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی در کاهش هدررفت عناصر غذایی اراضی. همایش ملی بیابان. دانشگاه تهران. خرداد ۱۳۹۱.
۲۲. نور، ح.، س. خ. میرنیا و م. ب. رئیسی. ۱۳۸۹. رسوبات معلق معلق انتقال دهنده عناصر غذایی و مواد آلی خاک. ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس. اردیبهشت ۱۳۸۹.
۲۳. نور، ح. و س. خ. میرنیا. ۱۳۹۰. هدررفت ماده آلی خاک در حوزه آبخیز کجور. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۸(۳): ۲۱۱-۲۰۷.
۲۴. واعظی، ع.، ح. ع. بهرامی، س. ح. ر. صادقی و م. ح. مهدیان. ۱۳۸۷. ارزیابی شاخص‌های فرساینده‌گی مدل‌های USSLE، MUSLE، RUSLE و USLE-M در خاک‌های ناحیه‌ای نیمه خشک در جنوب آذربایجان شرقی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۲(۴): ۳۷-۲۵.
۲۵. واعظی، ع. و م. عباسی. ۱۳۹۲. کارایی روش شماره منحنی رواناب (SCS-CN) در برآورد رواناب در حوزه آبخیز تهم‌چای، شمال غرب زنجان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۶(۶۱): ۲۱۹-۲۰۹.
26. Ali, I. K. F. and A. U. Bahati. 2007. Soil and nutrient losses by water erosion under mono-cropping and legume inter-cropping on sloping land. *Pakistan J. Agri. Res* 20(3-4). 161-166.
27. American Public Health Association. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, 19<sup>th</sup> Ed. Washington, DC. P. 1467.
28. Brouder, S. M. and J. J. Volenc. 2008. Impact of climate change on crop nutrient and water use efficiencies. *Physiol. Plantarum* 133 (4): 705-724.
29. Brooks, K. N., P. F. Flliott and J. A. Magner. 2013. *Hydrology and the Management of Watersheds*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
30. Buchanan, T. J. and W. P. Somers. 1969. *Discharge Measurements at Gaging Stations: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations*, Bock 3, Chapter 8, 65p. United States Department of the Interior, USGS.
31. Bunte, K., S. A. Abt, K. W. Swingle and D. A. Cenderelli. 2014. Effective discharge in rocky mountain headwater streams. *J. Hydrol.* 519: 2136-2147.
32. Corwin, D. L., J. D. Rhoades, J. Simunek. 2007. Leaching requirements for soil salinity control: steady-state versus transient models. *Agri. Water. Manag.* 90: 165-180.
33. Edwards, T. K. and G. D. Glysson. 1999. *Field methods for measurement of fluvial Sediment*. USGS Open-file Report 1-97 p. Available at: <http://water.usgs.gov/osw/>.
34. Ferreira, V., T. Panagopoulos, A. Cakula, R. Andrade and A. Arvela. 2015. Predicting soil erosion after land use changes for irrigating agriculture in a large reservoir of southern Portugal. *Agric. Agricultural Sci. Procedia*. 4: 40-49.

35. Jin, K. W., M. Cornelis, D. Gabriels, M. Baert. H. J. Wu, W. Schiettecatte, D. X. Cai, S. D. Neves, J. Y. Jin, R. Hartmann and G. Hofman. 2009. Residue cover and rainfall intensity effects on runoff soil organic carbon loess. *Catena*. 78(1): 81-86.
36. Karami, O., A. Hoshmand, S. Bazargani and M. Lamei. 2015. Evaluation of Karun river quality for irrigation in Khuzestan Province of Iran and statistical relationship of TDS and EC in classified flow rates. *JCEU*. 5(5): 226-234.
37. Masih, I., S. Uhlenbrook and V. Smakhtin. 2011. Stream flow trends and climate linkages in the Zagros Mountains, Iran. *Climate Change*. 104: 317-338.
38. Maurer, E. P., J. D Rhoads, R. O. Dubayah and D. P. Lettenmaier. 2003. Evaluation of the snow covered area data product from MODIS. *Hydrologic. Proc.* 17(1): 59-71.
39. Men, M., Z. Yu. and H. Xu. 2008. Study on the spatial patter of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei province, China. *Frontiers Agric. China*. 2(3):281-289.
40. Mihara, M., N. Yamamoto and T. Ueno. 2005. Application of USLE for the prediction of nutrient losses in soil erosion process. *Paddy Water Environ*. 3: 555-559
41. Li, S., S. Gu, X. Tan and Q. Zhang. 2009. Water quality in the upper Han River. China: The impacts of land use/land cover in riparian buffer zones. *J. Hazard. Materials*. 195: 317-324.
42. Otero, J. D., A. Figueroe, F. A. Munoz and M. R. Pena. 2011. Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean Paramo area. *Ecol. Eng.* 37 (12): 2035-2043.
43. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis*. 2<sup>th</sup> Ed. Part 2: Chemical and biological properties. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
44. Pearson, K. 1895. Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings Royal Soc., London*. 58(347-352): 240-242.
45. Putjaroon, W. and K. Pongewn. 1987. Amount of runoff and soil loss from various land use sampling plots in Sakolnakorn Province, Thailand. *Forest Hydrology and Watershed Management*. Thailand. pp: 167-198.
46. Ramos, M. C. and J. A. Martinez -Casasnovas. 2006. Nutrient losses by runoff in vine yards of the Mediterranean Alt Penedes region (NE Spain). *Agric. Eco. Environ.* 113(1-4): 356 -363.
47. Sadeghi, S. H. R. and H. Kheirfam. 2015. Temporal variation of bed load to suspended load ratio in Kojour River, Iran. *Clean-Soil, Air, Water* 43(10): 1366-1374.
48. Wang, S. B., X. X. Ma, Z. Q. Fan, W. Q. Zhang and X. Y. Qian. 2014. Impact of nutrient losses from agricultural lands on nutrient stocks in Dianshan Lake in Shanghai, China. *Water Sci. Eng.* 7(4): 373-383.
49. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1958. *Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains*, Agricultural Handbook 537, Washington DC, 201p.
50. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses*. U. S. Agricultural Education and Agricultural Sciences. Handbook 537. Washington, D.C. pp: 1-62.
51. Xu, G., Y. Cheng, P. Li, Z. Li, J. Zhang and T. Wang. 2015. Effects of natural rainfall on soil and nutrient erosion on sloping cropland in a small watershed of the Dan River, China. *Quaternary Int.* 380- 381: 327- 333.
52. Zhang, G. H., G. B. Liu and G. L. Wang. 2010. Effects of Caranga Korshinkii Kom Cover on runoff, sediment yield and nitrogen loss. *J. Sedi. Res.* 25(3): 245-257.
53. Zhang, G. H., B. Liu, G. F. Wang and Y. X. Wang. 2011. Effect of vegetation cover and rainfall intensity on sediment associated Nitrogen and Phosphorus losses and particle size composition on the losses plateau. *Soil Water. Cons.* 66(3): 192-200.
54. Zhang, F., X. He, X. Ga. and T. Keh. 2005. Effects of erosion patterns on Nutrient Loss Following Deforestation on the Lees Plateau of China. *Agric. Eco. Environ.* 502: 22-92.

## Temporal Variations of Stream Discharge and Nutrients Loss in the TahamChai Catchment, North-Western Iran

A. R. Vaezi\* and Y. Mazloom Aliabadi<sup>1</sup>

(Received: March 14-2016; Accepted: Feb. 05-2017)

### Abstract

Water loss and nutrients loss are one of the important signs of natural resource degradation in the catchments. The amount of loss of these resources is affected by several factors including the characteristics of rainfall. In this study, the data of stream discharge (Q), total dissolve solids (TDS), and total nutrient loss ratio (NR) along with rainfall characteristics were analyzed for the events from 1988 to 2002 in the Tahamchai catchment, which is owned by a regional water company. Moreover, soil properties were determined by soil sampling from different points in the catchment surface. Based on the results, there was a significant correlation between Q of the river and rainfall height ( $r=0.24$ ,  $p<0.05$ ), while its correlations with the rainfall intensity and duration were not statistically significant. On the one hand, this result was due to the inverse relationship between rainfall intensity and rainfall duration; on the other hand, due to the temporal variations in the vegetation cover in the area, it controlled Q in the intensive rainfalls. The highest Q was in spring ( $1.68 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ ) and March ( $2.58 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ ). In this period, rainfall height was high and the rainfalls interval was short. Moreover, vegetation cover was weak, so it could not control surface runoff and reduce Q in the catchment. TDS and NR also significantly varied during the months and their highest values were observed in December ( $282.55 \text{ mg l}^{-1}$ ) and ( $61.77 \text{ mg l}^{-1}$ ), respectively.  $\text{Mg}^{2+}$  had the highest amount of water loss in the catchment area. A negative correlation was found between Q and TDS ( $r=0.41$ ,  $p<0.001$ ) and NR ( $r=0.31$ ,  $p<0.001$ ). This study revealed that spring and autumn were the sensitive period for water loss and nutrient loss in the catchment, respectively. Therefore, promoting the vegetation cover in early spring and reducing improper agricultural practices (tillage and fertilization) could be substantial strategies contributing to conserving the catchment's resources.

**Keywords:** Watershed health, Total dissolve solids, Rainfall characteristics, Soil quality loss.

---

1. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Zanjan, Zanjan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: vaezi.alireza@gmail.com