

تغییرات زمانی و مکانی شدت تمرکز دبی و رسوب ماهانه در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی

خدیدجه حاجی^۱، رؤف مصطفی‌زاده*^۲، اباذر اسمعیلی عوری^۳ و شهناز میرزایی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ^۲ استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ^۳ دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی و ^۴ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۸

چکیده

مدیریت پایدار آبخیز، کنترل هدررفت خاک و رسوب و اجرای طرح‌های حفاظتی آبخیزداری نیازمند ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی رواناب و رسوب می‌باشند. لذا، در این تحقیق میزان شدت تمرکز دبی و رسوب ماهانه در ۱۵ ایستگاه هیدرومتری واقع در استان آذربایجان غربی در یک دوره ۲۰ ساله با استفاده از منحنی جرم مضاعف و شاخص تغییرات سالانه (شاخص ضریب تغییرات، ضریب تعدیل توزیع سالانه و شدت تمرکز) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس ارتباط تغییرات بار رسوبی و دبی، از معادله سنج رسوب با تبدیل لگاریتمی داده‌های دبی جریان و رسوب استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که بیشینه مقادیر دبی و رسوب ایستگاه‌ها در فصل بهار و خصوصاً در ماه اردیبهشت اتفاق افتاده است که با مقادیر بالای بارش بهاره و ذوب برف و اثر آن در میزان آبدهی بالای رودخانه‌ها در این فصل در ارتباط بوده است. همچنین، مقادیر منحنی تجمعی رواناب و رسوب در ایستگاه‌های پل بهراملو، چوپلوچه، ساری‌قمیش، پی‌قلعه، نقده، دورود و چپرآباد دارای منحنی با شیب ثابت هستند و روند تغییرات رسوب با رواناب همگن می‌باشد. ولی در ایستگاه‌های دیزج، ارومیه، بالفچی، داشبند، قاسملو و بایزیدآباد، شیب منحنی تجمعی در طول دوره دارای روند کاهشی می‌باشد و می‌تواند بیانگر کاهش بارش، اقدامات حفاظتی (احداث سد) در سطح حوضه یا مقدار رسوب کمتر در طول دوره آماری باشد. همچنین، ایستگاه‌های اشنویه و بابارود دارای روند کاهشی و سپس افزایشی بوده‌اند. بیشترین تغییرات دبی و رسوب مربوط به ایستگاه پل بهراملو به ترتیب برابر ۱۶ و ۱۷۳ درصد است. در حالی که بیشترین یکنواختی در وقوع دبی و رسوب در ماه‌های سال مربوط به ایستگاه چپرآباد (ضریب تعدیل توزیع سالانه دبی و رسوب به ترتیب برابر ۰/۱۹ و ۰/۲۵ درصد) بوده است. کمترین شدت تمرکز نیز مربوط به ایستگاه چپرآباد با مقادیر شدت تمرکز دبی ۰/۲۵ و رسوب ۰/۳۵ درصد می‌باشد، در صورتی که ایستگاه ارومیه (با مقادیر دبی ۰/۵۸ و رسوب ۰/۸۴ درصد) دارای بیشترین شدت تمرکز بوده است. در مجموع می‌توان گفت که شاخص‌های تغییرات فصلی دبی و رسوب در بیشتر موارد در یک راستا بوده، نیز تغییرات مکانی رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند متفاوتی است که از شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی و انسانی متأثر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات فصلی، ضریب تعدیل توزیع، مدیریت پایدار، منحنی جرم مضاعف، هدررفت خاک

مقدمه

ارتباط تغییرات دبی آب و بار رسوب معلق در محاسبه بار رسوبی در رودخانه و مخازن سدها، مباحث هیدرولیک جریان آب و رسوب، مدل‌های ریاضی و مسائل مدیریت آبخیزها استفاده می‌شوند و افزایش دقت این روابط می‌تواند در بهبود شبیه‌سازی پدیده‌های انتقال رسوب مؤثر باشد (Vafakhah, 2013؛ Tuset و همکاران، 2016). بار رسوب معلق دارای تغییرات زمانی و مکانی در مقیاس رگیار است و با تغییرپذیری محتوی رسوب معلق از تغییرات جریان، حجم عظیمی از رسوبات در طی سیلاب‌های منفرد منتقل می‌شوند. بنابراین، با وجود دشواری و هزینه نمونه‌برداری منظم و مکرر دبی و رسوب در مقیاس رگیار (وقایع سیلابی)، جمع‌آوری این داده‌ها و استفاده از آن برای تخمین بار رسوب سالانه به دلیل دقت بیشتر، سبب بهبود برآوردها خواهد شد (Williams, 1989). هر ساله بالغ بر ۲۰ میلیارد تن رسوب به‌وسیله رودخانه‌های جهان حمل می‌شود که بخش عمده آن را رسوبات معلق تشکیل می‌دهند (Mohammadi و همکاران، 2007).

رسوبات معلق علاوه بر گل‌آلود کردن منابع آب، در انتقال مواد آلاینده نقشی اساسی دارند و همچنین، ظرفیت حمل رسوب کاملاً وابسته به خصوصیات هیدرولیکی جریان در بازه مورد نظر و خواص فیزیکی مصالح تشکیل‌دهنده بستر و کناره‌ها دارد (Arabkhedri, 2014). رسوب‌های حمل شده به‌وسیله رودخانه مشکلات زیادی از جمله رسوب‌گذاری در مخازن سدها و کاهش حجم مفید آن‌ها، تغییر مسیر رودخانه به دلیل رسوب‌گذاری در بستر آن‌ها، کاهش ظرفیت عبور آبراهه‌ها و تأسیسات انتقال آب و تغییر کیفیت آب به لحاظ کاربردهای آشامیدنی و کشاورزی را به‌وجود می‌آورد (Vafakhah, 2002؛ Fang و همکاران، 2011؛ Mostafazadeh و همکاران، 2015). در واقع برآورد بار رسوبی در بسیاری از پروژه‌های مهندسی همچون برنامه‌ریزی و طراحی منابع ذخیره آب، مورفولوژی و تغییرات بستر رودخانه، برآورد رسوب سالیانه رودخانه، طراحی و نگهداری کانال‌های آبیاری پایدار و لایروبی کانال‌ها حائز اهمیت است (Mosaedi و همکاران، 2006؛ Arabkhedri و

همکاران، 2010؛ Adhami و همکاران، 2016). تغییرات میزان رسوب در حال حاضر در رودخانه‌ها اغلب تابع تغییرات دبی می‌باشد. روش اندازه‌گیری بار معلق که بر پایه اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق و دبی جریان استوار است، روشی است که مستلزم اندازه‌گیری پیوسته می‌باشد و معمولاً تنها برای رودخانه‌های مهم و دائمی مقدور است (Nikkami و همکاران، 2014).

برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها و حوزه‌های آبخیز نیازمند درک درست تغییرات مکانی و زمانی رسوب می‌باشد و عدم در نظر گرفتن این موارد ممکن است باعث تصمیم‌گیری و قضاوت نادرست و غیر واقعی در مورد رفتار فرسایش و رسوب در برنامه‌ریزی و عملیات اجرایی حوزه‌های آبخیز شود (Piri و همکاران، 2005). تحلیل تغییرات زمانی رسوب معلق طی سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۳۸۳ در حوزه آبخیز مندربجان اصفهان به‌وسیله Nasri و همکاران (2011) مورد مطالعه قرار گرفت. ایشان با اشاره به زیان‌های ناشی از رسوب‌گذاری در مخزن سد زاینده‌رود، به این نتیجه رسیدند که احداث سازه‌های آبی و نیز عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک نقش مؤثری در تغییرات زمانی رسوب‌دهی داشته است. به‌طور کلی نتایج مطالعات مزبور نشان می‌دهد که تغییرات سالانه رسوب‌دهی و روندهای کاهشی یا افزایشی آن بیشتر از عوامل طبیعی، از فعالیت‌های انسانی متأثر شده است. Rezaeei-Banafsheh و Abedi (2015) به بررسی عوامل مؤثر در تولید رسوب در حوزه آبخیز لیقوان‌چای پرداختند. ایشان دبی رسوب معلق را برای روزهای بدون آمار با استفاده از مدل‌سازی رابطه بین دبی جریان و دبی معلق رسوب و برنامه‌ریزی ژنتیک برآورد کردند. نتایج ایشان نشان داد که بین متغیر دبی متوسط جریان و دبی رسوب معلق رابطه معنی‌داری با ضریب همبستگی بالای ۹۰ درصد وجود داشته، بین متغیر بارش و دبی رسوب معلق رابطه معنی‌داری با ضریب همبستگی پایین نسبت به دبی متوسط جریان برقرار است. روند تغییرات زمانی بار رسوبی رودخانه نارمادا^۱ در هند در طول سال‌های

¹ Narmada

درصد بار رسوب به وسیله ۱۴ تا ۴۰ درصد کل دبی در ایستگاه‌های مختلف انتقال پیدا می‌کند.

در این راستا، می‌توان پیش‌بینی کرد که تغییرات رسوب در مقیاس‌های زمانی بزرگ‌تر نیز متأثر از تغییرات جریان به‌عنوان عامل اصلی کنترل رفتار رسوب باشد. با توجه به تغییرات مقدار رسوب متناسب با دبی رودخانه، ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی رواناب و رسوب می‌تواند در تعیین مناطقی با تولید بالای رواناب و پیش‌بینی مقدار تولید دبی، امکان اولویت‌بندی مناطق مؤثر در ایجاد فرسایش و تولید رسوب را فراهم کند. همچنین، در زمان‌هایی با دبی بالای جریان، می‌توان پیش‌بینی کرد که حمل رسوب در زمان مورد نظر بیشتر بوده است. بر همین اساس، استفاده از شاخص شدت تمرکز و شاخص تعدیل توزیع دبی و رسوب و مقایسه آن در ایستگاه‌های مورد مطالعه از موارد قابل توجه در پژوهش حاضر است. همچنین، ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی رواناب و رسوب تجمعی و تحلیل آن از اهداف پژوهش حاضر است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: استان آذربایجان غربی با مساحت ۳۷۴۰۰ کیلومتر مربع که ۲/۶۵ درصد مساحت کشور را تشکیل می‌دهد، در شمال غربی کشور قرار دارد. در این تحقیق، ایستگاه‌های هیدرومتری دارای آمار دبی و رسوب واقع در مرکز و جنوب آذربایجان غربی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. متوسط دما حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد است و با توجه به آمار ایستگاه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه مقادیر بارش سالانه دارای تغییرات است و بر اساس آمار مقدار میانگین بارندگی سالانه برابر ۳۳۸ میلی‌متر می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور). موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در شکل ۱ مشخص شده است.

روش تحقیق: در این پژوهش از آمار بلندمدت و کامل نمونه‌برداری‌های دبی و رسوب ۱۵ ایستگاه هیدرومتری در یک دوره ۲۰ ساله استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در تغییرات زمانی و مکانی دبی و رسوب ماهانه در جدول

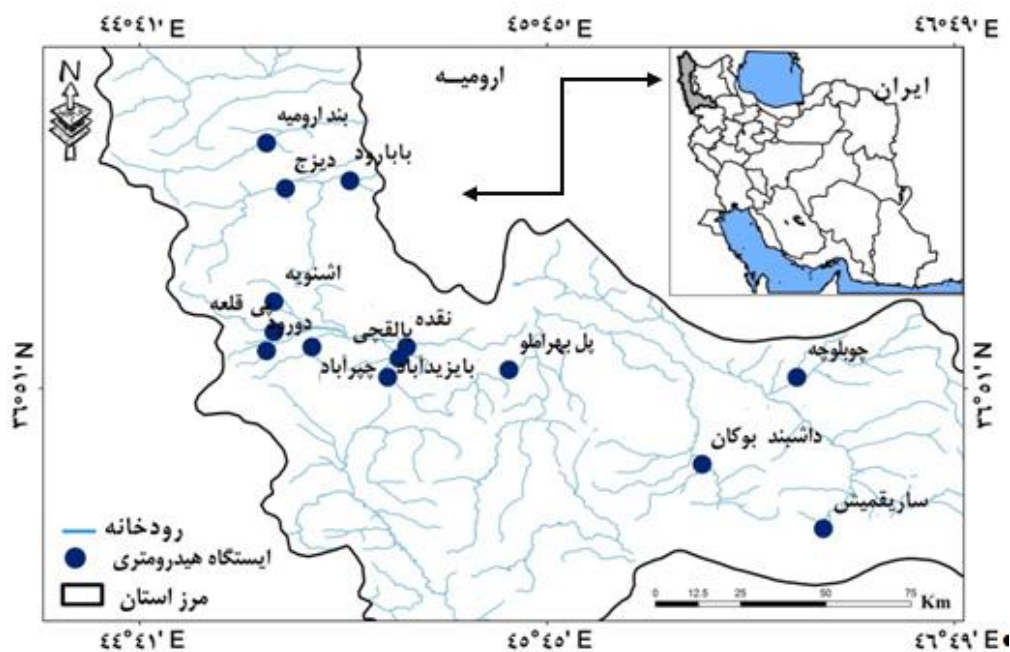
۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ به‌وسیله Chakrapani و Gupta (۲۰۰۷) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ایشان نشان داد که علاوه بر شناسایی سه عامل زمین‌شناسی حوضه، بارش و حضور سدها یا مخازن آب، به‌عنوان مهمترین عوامل مؤثر بر جریان آب و رسوب معلق، نتیجه گرفتند که کاهش چشمگیر جریان رسوب معلق در رودخانه‌های مزبور ناشی از ساخت سدها و مخازن آب بوده است.

پژوهش Lana-Renault و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی تغییرپذیری زمانی روابط میان بارش، دبی و غلظت رسوب معلق و عوامل مؤثر بر غلظت رسوب معلق در یک حوزه آبخیز مدیترانه‌ای کوچک در اسپانیا نشان داد که تغییرپذیری زمانی روابط، نشان‌دهنده پاسخ سریع هیدرولوژیکی و رسوبی آبخیز بوده، تطابق زمانی خوبی بین مقادیر دبی و رسوب وجود داشته است. Wu و همکاران (۲۰۰۸) به مقایسه تأثیرپذیری مقادیر دبی در شرایط مختلف کانال بر میزان انتقال رسوب در رودخانه زرد چین پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که دبی زیاد دارای دوره بازگشت پنج تا شش سال بوده و میزان انتقال رسوب تابع میزان دبی و شرایط رسوب چندین سال گذشته رودخانه بوده است. Kateb و Wenfeng (۲۰۱۱) در پژوهشی، به تغییرات دبی و رسوب حوضه رودخانه جیالینگ^۱ در چین طی دوره ۲۰۰۶-۱۹۶۵ پرداختند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که طی دوره مورد مطالعه مقدار رسوب کاهش یافته، به‌طوری که در سال ۱۹۸۵ یک تغییر اساسی در میزان رسوب رخ داده است و یک رابطه معنی‌دار میان دبی و رسوب وجود دارد. بر اساس نتایج آن‌ها عامل حفاظت آب و خاک باعث کاهش دبی و رسوب رودخانه مورد مطالعه شده است. Roy و Sinha (۲۰۱۴) دبی مؤثر رودخانه گنگا^۲ در کشور هند را با استفاده از دو روش مقدار-فراوانی و تحلیلی در شش ایستگاه با استفاده از آمار ۳۰ ساله دبی و رسوب به‌دست آوردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که بیشتر مقدار انتقال رسوب در کمتر از ۴۰ درصد جریان انجام شد که این جریان می‌تواند به‌عنوان دبی مؤثر در نظر گرفته شود. همچنین، ۵۰

^۱ Jialing

^۲ Ganga

۱ ارائه شده است. Arabkhedri و همکاران (۲۰۰۴) می‌تواند تقریباً معرف تغییرات اقلیمی و در نتیجه تغییرات رسوب باشد.



شکل ۱- موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در استان آذربایجان غربی

جدول ۱- مقادیر شاخص محاسباتی دبی و رسوب در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	متوسط دبی ($m^3 s^{-1}$)	متوسط رسوب ($tday^{-1}$)
بایزیدآباد	۳۶/۸	۴۵/۳	۰/۴	۷/۰
چپرآباد	۳۶/۹	۴۵/۱	۰/۸	۰/۸
دورود	۳۶/۹	۴۵/۰	۱/۲	۱/۱
قاسملو	۳۶/۵۷	۴۵/۰۱	۲/۳	۶۹/۱
نقده	۳۶/۵۸	۴۵/۲۳	۱۰/۱	۹۳/۲
دانشبند	۳۶/۳۹	۴۶/۱۰	۲/۳	۲۴/۳
پی قلعه	۳۷/۰۰	۴۵/۰۲	۸/۱	۷۱/۳
بالقچی	۳۶/۵۶	۴۵/۲۲	۰/۷	۱۸/۷
ارومیه	۳۷/۵	۴۵/۰	۵/۰	۱۴۶/۹
دیزج	۳۷/۳	۴۵/۰	۷/۸	۱۴۰/۳
بابارود	۳۷/۴	۴۵/۲	۲/۰	۲۲/۱
چوپلوجه	۳۶/۵۳	۴۶/۲۵	۴/۱	۸۰/۵
ساریقمیش	۳۶/۲۹	۴۶/۲۹	۵۱/۴	۲۱۹/۶
اشنویه	۳۷/۰۲	۴۵/۰۵	۱/۳	۱۷/۵
پل بهراملو	۳۶/۵۴	۴۵/۳۹	۱۰/۵	۲۲۸/۴

پلی‌نومیال^۱ درجه شش، در طول دوره آماری موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری پرداخته شده است. هر

در راستای اهداف تحقیق به بررسی روابط رگرسیونی متغیرهای دبی با میزان رسوب‌دهی و همچنین، ارتباط بین رواناب و رسوب با معادله

^۱ Polynomial

تغییراتی در روند رواناب و رسوب می‌باشد. در این راستا باید اشاره شود که تغییر شرایط اقلیمی یک منطقه، چون تمام ایستگاه‌های منطقه را متأثر می‌کند، موجب تغییر شیب منحنی‌های به‌دست آمده نمی‌شود (Liu و همکاران، ۲۰۰۷).

$$DMC = R_n + R_{n-1} \quad (2)$$

که در آن، DMC منحنی جرم مضاعف (واحد آن معادل واحد رواناب یا رسوب می‌باشد)، R مقدار پارامتر مورد نظر (رواناب بر حسب میلیون متر مکعب و رسوب نیز بر حسب تن در روز)، n مقدار پارامتر سال موجود و $n-1$ جمع مقادیر پارامتر سال‌های قبلی است. ۲- شاخص تغییرات سالانه^۳ (AVA): این شاخص نیز شامل ضریب تغییرات، ضریب تعدیل توزیع سالانه و شدت تمرکز دبی و رسوب در طول دوره آماری موجود در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد (Zhai و همکاران، ۲۰۱۶).

۱-۲- ضریب تغییرات^۴: مقدار انحراف معیار یک ایستگاه تقسیم بر میانگین پارامتر مورد استفاده همان ایستگاه بر اساس رابطه (۳) است (Mahdavi، ۲۰۰۲).

$$C_v = \frac{\sigma}{R} \quad (3)$$

که در آن، C_v ضریب تغییرات، σ انحراف معیار و R میانگین پارامتر مورد استفاده (واحد آن‌ها بستگی به پارامتر مورد نظر دارد).

۲-۲- ضریب تعدیل توزیع سالانه^۵: نشانگر یکنواختی یا عدم یکنواختی تغییرات دبی و رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد که براساس رابطه (۴) محاسبه شد (Zhai و همکاران، ۲۰۱۶).

$$C_r = \frac{\sum_{t=1}^{12} \phi(t)[R(t) - \bar{R}]}{\sum_{t=1}^{12} R(t)} \quad \begin{cases} \phi(t) = \{0, & R(t) < \bar{R} \\ \phi(t) = \{1, & R(t) \geq \bar{R} \end{cases} \quad (4)$$

که در آن، C_r ضریب تعدیل توزیع سالانه، t ماه‌های سال (۱، ۲، ۳،، ۱۲)، R متوسط پارامتر ماهانه (دبی و رسوب) و \bar{R} متوسط پارامتر سالانه (دبی و رسوب) می‌باشد.

چند که تفاوت‌ها و تشابهات موجود در تغییرات زمانی متغیرها نیز به‌گونه‌ای می‌تواند بیانگر چگونگی ارتباط میان متغیرها باشد. بر اساس داده‌های ماهانه دبی در سال‌های مختلف، حجم رواناب سالانه ایستگاه‌های مختلف در طول دوره آماری محاسبه شد.

برای برآورد بار رسوب معلق از رابطه توانی بین دبی جریان و دبی رسوب معلق یا همان منحنی سنج رسوب استفاده شده است (Esfandyari و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به داده‌های دبی آب و دبی رسوب متناظر با آن، هر دو سری داده به صفحه مختصات لگاریتمی منتقل شده، خط بهترین برازش بر مبنای روش کمترین مربعات رسم شد. در نهایت، نمودار دبی آب و دبی رسوب به‌همراه معادله مربوطه و ضریب همبستگی آن برای منطقه مورد مطالعه به‌دست آمد. به‌منظور برآورد رسوب انتقالی رودخانه‌ها به‌طور معمول از معادله سنج رسوب (رابطه ۱) استفاده می‌شود. این معادله به‌وسیله فلمینگ^۱ در سال ۱۹۷۹ با بررسی آمار رسوب معلق ۲۵۰ رودخانه دنیا، برای حوضه‌های فاقد آمار ارائه شد (Behboodian، ۲۰۰۹).

$$Q_s = aQ_w^b \quad (1)$$

که در آن، Q_s دبی مواد رسوبی معلق (تن در روز)، Q_w دبی جریان آب (متر مکعب بر ثانیه)، a و b ضرایب معادله بوده، با رسم خط بهترین برازش محاسبه شده است. همچنین، پس از برآورد مقادیر رسوب معلق، از شاخص‌های منحنی جرم مضاعف برای ارتباط بین مقادیر رواناب با رسوب و توزیع تغییرات سالانه بین مقادیر دبی با رسوب استفاده شد.

۱- منحنی جرم مضاعف^۲ (DMC): شاخص مذکور توزیع روند تغییرات بین مقادیر تجمعی رسوب و رواناب را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در صورت افزایش ناگهانی در روند تغییرات، منحنی تجمعی جرم مضاعف در نقطه عطف ظاهر خواهد شد (Mu و همکاران، ۲۰۱۰؛ Zhai و همکاران، ۲۰۱۶). مقادیر تجمعی رواناب و رسوب سالانه که به‌صورت رابطه (۲) ارائه شده با میانگین مقادیر تجمعی رواناب و رسوب سالانه ثبت شده دوره قبلی همان ایستگاه مقایسه شد و عدم وجود همگنی با هم‌دیگر می‌تواند دال بر وجود

³ Annual Variation Analysis

⁴ Variation of coefficient

⁵ Annual distribution of regulating coefficient

¹ Fleming

² Double Mass Curve

هیدرومتری مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی نشان شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده از تغییرات دبی و رسوب ماهانه مربوط به شکل ۳، مشاهده می شود که بیشینه یکنواختی دبی و رسوب، در اردیبهشت و کمترین دبی و رسوب، در شهریور بوده است. به عبارتی می توان گفت که در ایستگاه های مورد مطالعه، بیشترین مقادیر رسوب و دبی در فصل بهار و کمترین مقادیر آن در فصل پاییز و تابستان می باشد. از آنجایی که در این مطالعه رسوب مد نظر است وجود دبی جریان برای حمل و اندازه گیری رسوب الزامی است، به همین دلیل می توان بالا بودن رسوب معلق در فصل بهار که در آن باران های بهاری باعث ایجاد جریان زیاد می شود را توجیه کرد. منحنی تجمعی مقادیر رواناب و رسوب سالانه در طول دوره آماری موجود در ایستگاه های هیدرومتری مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی در شکل ۴ ارائه شده است.

شکل ۴ به منظور بررسی هماهنگی تغییرات آمار تجمعی رواناب و رسوب سالانه برای ایستگاه های مورد مطالعه در طول دوره آماری موجود رسم شده است. معمولاً نمایش نقاط بر روی دستگاه مختصات به منظور رسم منحنی های جرم مضاعف، خط مستقیم تشکیل نمی دهد بلکه به طور متوسط با کمی انحراف می توان از میان آن ها خط مستقیمی را عبور داد که این انحرافات جزئی تغییر شیب در منحنی به حساب نمی آید. به طور کلی منحنی های جرم مضاعف منعکس کننده تغییرات دو مؤلفه مورد بررسی است که اساس تجزیه و تحلیل روند تغییرات می باشد. بر اساس نتایج، در ایستگاه های پل بهراملو، چوپلوچه، ساری قمیش، پی قلعه، نقده، دورود و چپرآباد روند تغییرات شیب منحنی در طول دوره آماری ثابت بوده، مقدار رسوب متناسب با مقدار رواناب می باشد.

به عبارتی می توان گفت که روند تغییرات یکنواختی در مقدار رواناب و رسوب وجود دارد و داده ها دارای روند افزایشی یا کاهش نیستند. ولی در ایستگاه های دیزج، ارومیه، بالقچی، داشبند، قاسملو و بایزیدآباد (به جز دو ایستگاه، که اشنویه از سال ۱۳۸۱ به بعد مقدار رسوب متناسب با رواناب افزایش پیدا کرده، تغییر شیب آن نسبت به سال های ۱۳۷۱ تا

۲-۳- شدت تمرکز^۱: کمینه و بیشینه تغییرات به دست آمده از مقادیر دبی و رسوب را در ایستگاه های هیدرومتری نشان می دهد و بر اساس رابطه های (۵) تا (۸) محاسبه شد (Young و همکاران، ۲۰۰۰؛ Zhai و همکاران، ۲۰۱۶).

$$C_d = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} / \sum_{t=1}^{12} R(t) \quad (5)$$

$$R_x = \sum_{t=1}^{12} R(t) \cos \theta_t \quad (6)$$

$$R_y = \sum_{t=1}^{12} R(t) \sin \theta_t \quad (7)$$

$$\theta_t = \left(\text{day of occurrence} \right) \times \frac{2\pi}{LENM} \quad (8)$$

که در آن ها، C_d شدت تمرکز دبی و رسوب، R_x جمع مقادیر مؤلفه افقی ۱۲ ماه سال، R_y جمع مقادیر مؤلفه عمودی ۱۲ ماه سال، $R(t)$ مقادیر پارامتر ماهانه (دبی و رسوب)، θ زاویه برداری از مقادیر دبی و رسوب و LENM برابر ۱۲ ماه می باشد.

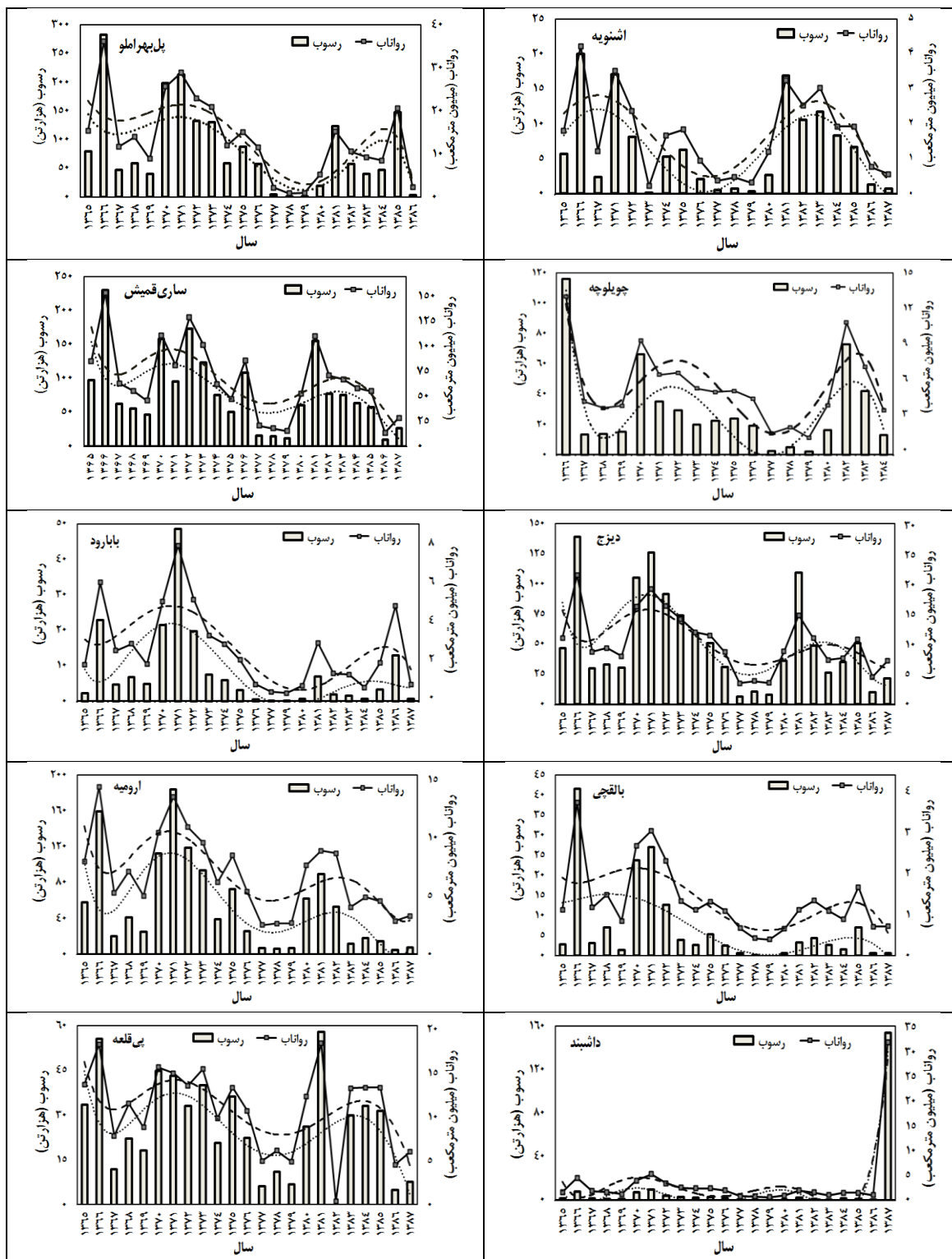
نتایج و بحث

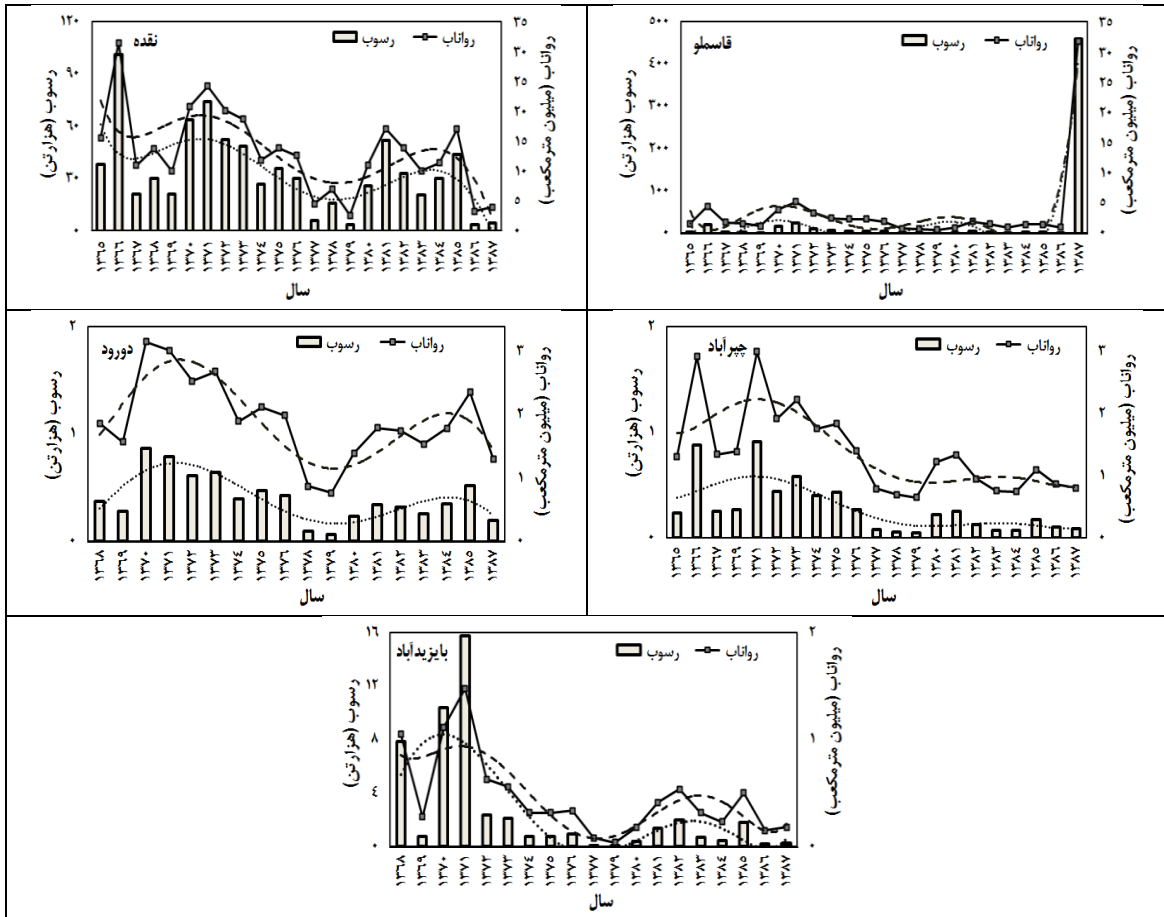
مقادیر تغییرات رواناب و رسوب در طول دوره آماری موجود در تعدادی از ایستگاه های هیدرومتری استان آذربایجان غربی در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج حاصل از محاسبات آماری مربوط به تغییرات رواناب و رسوب سالانه، ایستگاه های مورد مطالعه در شکل ۲ نشان می دهد که بیشترین یکنواختی رواناب و رسوب در طول دوره آماری موجود در ایستگاه های ساری قمیش، دیزج، پی قلعه، نقده و دورود بوده است. به عبارتی می توان گفت که در بقیه ایستگاه های مورد مطالعه، عدم یکنواختی مقادیر رسوب و رواناب در طول دوره آماری وجود دارد. در صورتی که در ایستگاه های داشبند و قاسملو روند تغییرات به جز سال ۱۳۸۷ دارای کمترین مقادیر رواناب و رسوب بوده است، ولی در سال ۱۳۸۷ این دو ایستگاه مذکور بیشترین مقدار رواناب و رسوب را در بین بقیه ایستگاه ها دارا هستند. همچنین، در شکل ۳ مقادیر تغییرات متوسط دبی و رسوب ماهانه در ایستگاه های

¹ Concentration rate

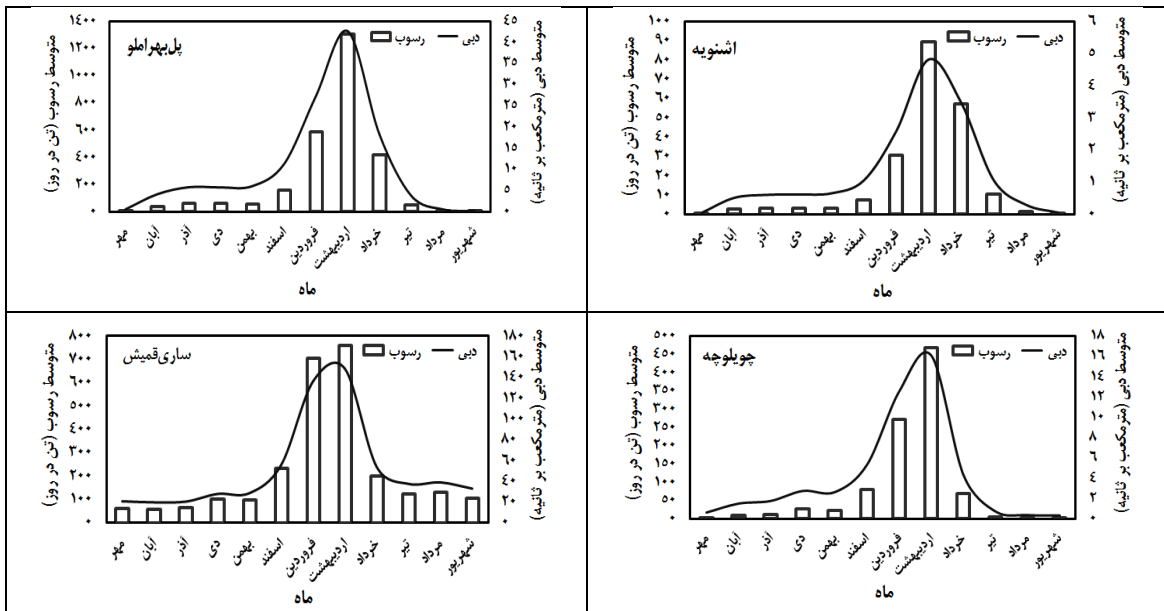
رسوب متناسب با مقدار رواناب بوده ولی از سال ۱۳۷۱ به بعد این روند در ایستگاه‌های مذکور کاهش پیدا کرده که دلیل آن می‌تواند ناشی از مقدار رسوب کمتر یا این که مقدار رواناب در این دوره آماری کم بوده است.

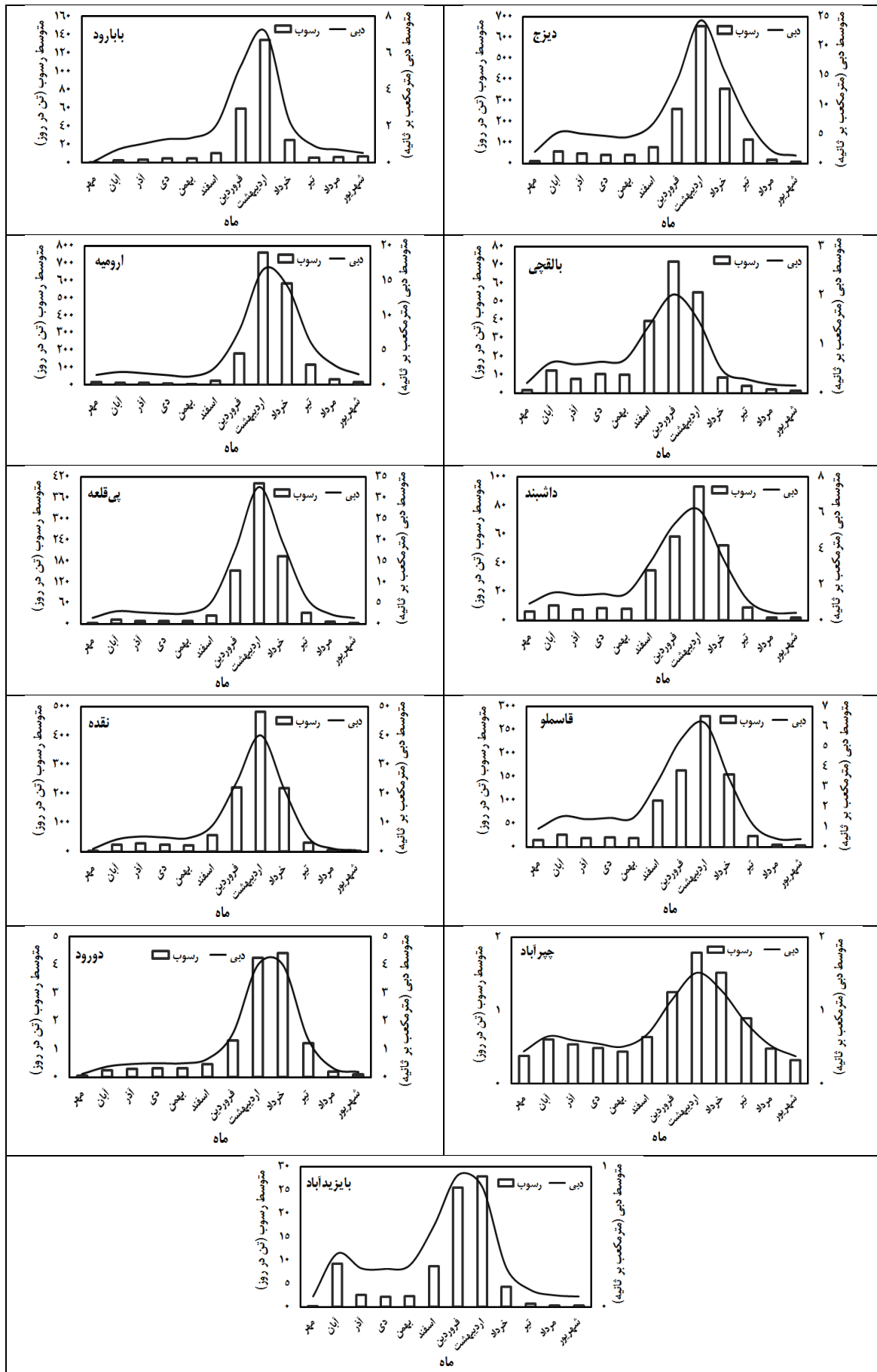
۱۳۸۰ که دارای یک روند کاهشی بوده، افزایش، ولی در مقایسه با سال‌های قبل از ۱۳۷۱، دارای روند کاهشی است و همچنین، این تغییرات نیز در ایستگاه بابرود برعکس ایستگاه اشنویه بوده، داده‌ها در سال‌های اول فاقد تغییرات بوده، به عبارتی مقدار



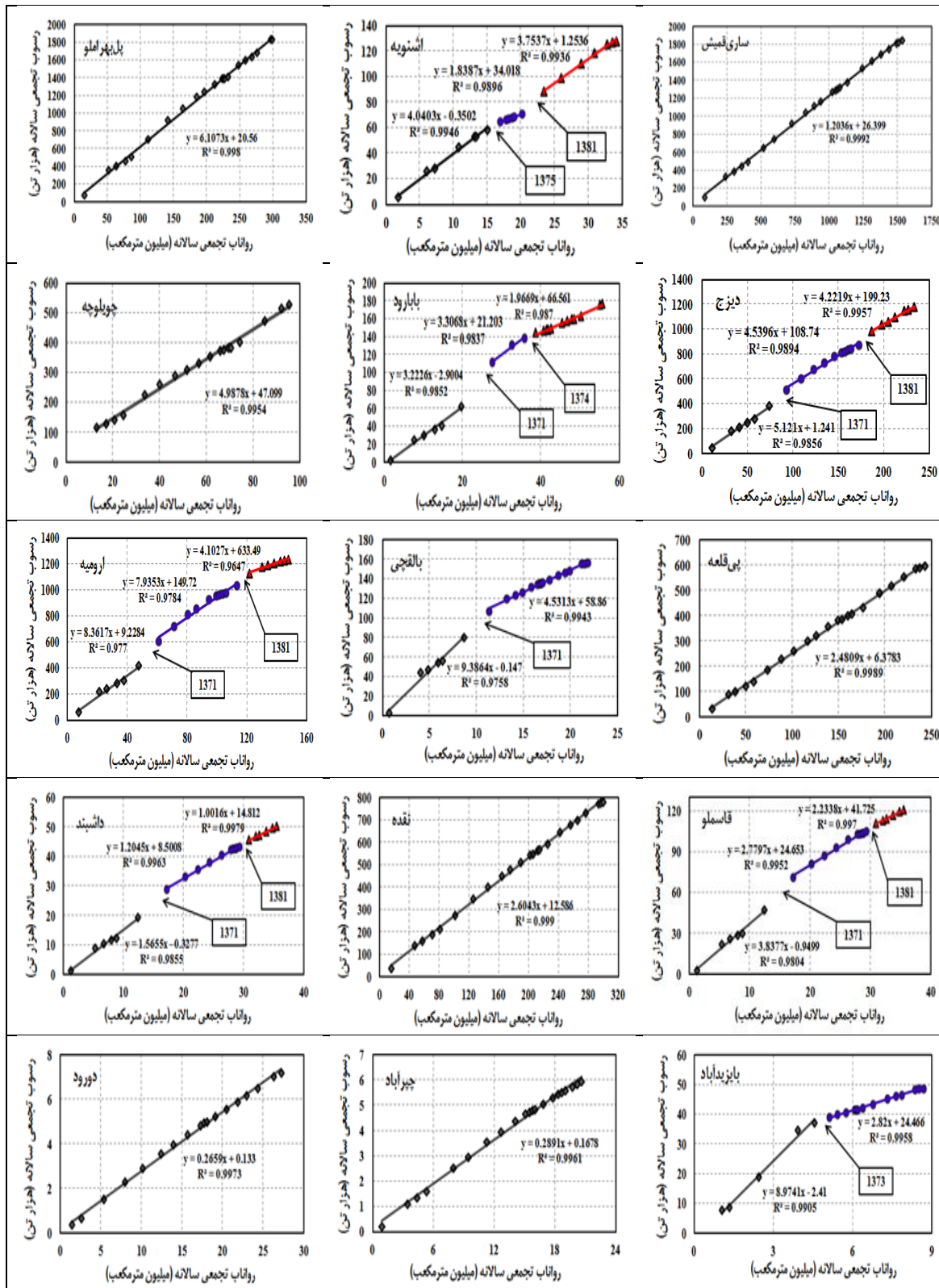


شکل ۲- تغییرات مقادیر رواناب و رسوب در طول دوره آماری موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی





شکل ۳- تغییرات مقادیر متوسط دبی و رسوب ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی



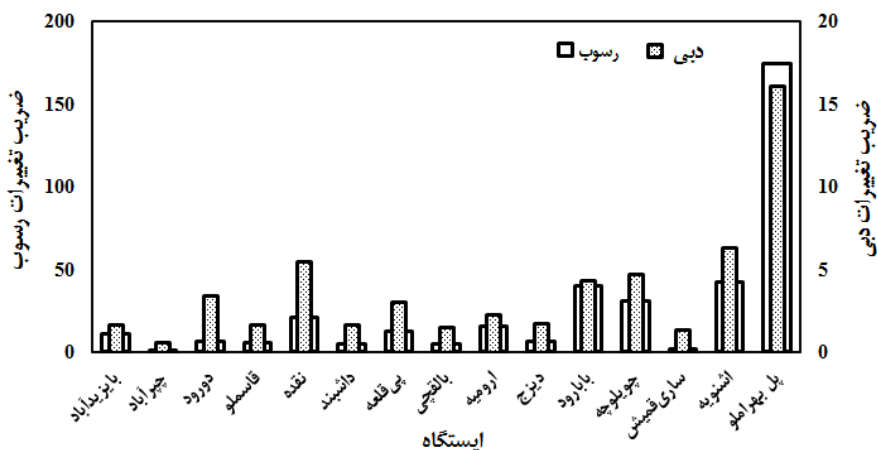
شکل ۴- منحنی تجمعی مقادیر رواناب و رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی

که با افزایش ضریب تغییرات دبی مقادیر رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش پیدا کرده است که به معنی تأثیرپذیری رسوب از مقادیر دبی می‌باشد، ولی بیشترین ضریب تغییرات دبی و رسوب مربوط به

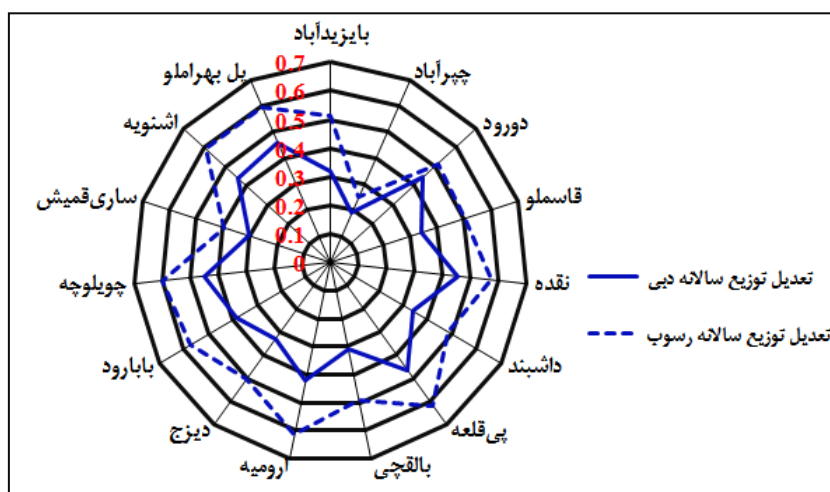
مقادیر ضریب تغییرات دبی و رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در طول دوره آماری در شکل ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از شکل ۵ می‌توان گفت

مطالعه در طول دوره آماری موجود در استان آذربایجان غربی به صورت شکل های ۶ و ۷ ارائه شد.

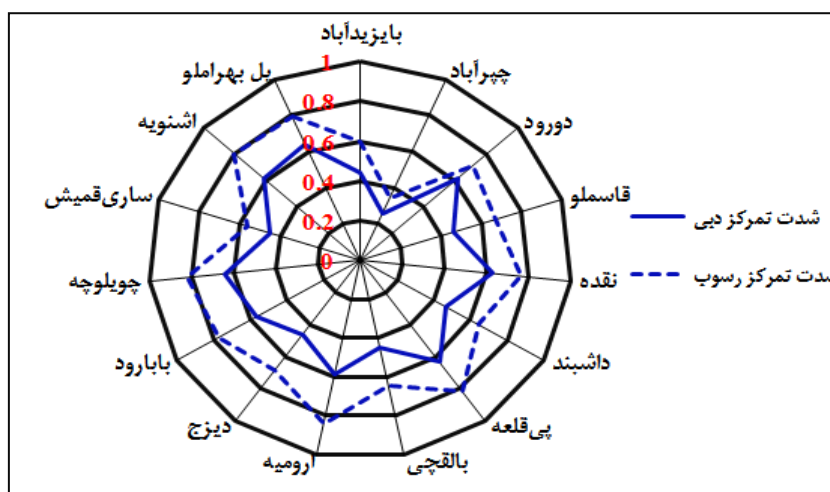
ایستگاه پل بهراملو به ترتیب برابر ۱۶ و ۱۷۳ درصد است. مقادیر ضریب تعدیل توزیع سالانه و شدت تمرکز دبی و رسوب در ایستگاه های هیدرومتری مورد



شکل ۵- ضریب تغییرات مقادیر دبی و رسوب در ایستگاه های هیدرومتری استان آذربایجان غربی



شکل ۶- ضریب تعدیل توزیع سالانه دبی و رسوب در ایستگاه های هیدرومتری استان آذربایجان غربی



شکل ۷- شدت تمرکز مقادیر دبی و رسوب در ایستگاه های هیدرومتری استان آذربایجان غربی

مقادیر دبی و رسوب در فصل بهار و خصوصاً در ماه اردیبهشت اتفاق افتاده است و می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر عامل بارندگی، عامل ذوب برف نیز بر میزان آبدهی بالای رودخانه‌ها در این فصل، تأثیرگذار بوده است. بنابراین، نتایج شکل ۴ نشان داد که در ایستگاه‌های پل بهراملو، چوپلوچه، ساری‌قمیش، پی‌قلعه، نقده، دورود و چپرآباد، روند تغییرات شیب منحنی جرم مضاعف در طول دوره آماری ثابت بوده، به عبارتی می‌توان گفت که روند تغییرات یکنواختی در مقدار رواناب و رسوب وجود دارد، یعنی مقدار رسوب متناسب با مقدار رواناب می‌باشد. ولی در ایستگاه‌های دیزج، ارومیه، بالقچی، داشبند، قاسملو و بایزیدآباد (به جز ایستگاه‌های اشنویه و بابارود که هر کدام دارای هر دو روند کاهشی و افزایشی بوده‌اند)، شیب منحنی تجمعی دارای روند تغییرات بوده که نشان می‌دهد منحنی‌های جرم مضاعف در ایستگاه‌های مذکور دارای روند کاهشی در طول دوره بوده است و می‌تواند بیانگر تغییرات زمانی بارش، اقدامات حفاظتی انسان (احداث سد) در سطح حوضه یا مقدار رسوب کمتر در طول دوره آماری باشد. همچنین، بیشترین مقادیر ضریب تغییرات دبی و رسوب ماهانه در شکل ۵ مربوط به ایستگاه پل بهراملو به ترتیب برابر ۱۶ و ۱۷۳ درصد می‌باشد و ایستگاه چپرآباد با کمترین تعدیل توزیع سالانه مقادیر دبی ۰/۱۹ و رسوب ۰/۲۵ درصد در شکل ۶ دارای یکنواخت بودن روند تغییرات دبی و رسوب در همه ماه‌های سال بوده، ولی بیشترین و کمترین شدت تمرکز دبی و رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در شکل ۷ به ترتیب در ایستگاه‌های ارومیه (با مقادیر دبی ۰/۵۸ و رسوب ۰/۸۴ درصد) و چپرآباد (با مقادیر دبی ۰/۲۵ و رسوب ۰/۳۵ درصد) می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که با افزایش مقادیر دبی و رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در طول دوره آماری، رسوب نیز افزایش پیدا کرده است که نتایج این پژوهش با یافته‌های Lana-Renault و همکاران (۲۰۰۷)، Wu و همکاران (۲۰۰۸)، Wenfeng و Kateb (۲۰۱۱) و Roy و Sinha (۲۰۱۴) در بررسی تغییرپذیری زمانی روابط میان بارش، دبی و غلظت رسوب معلق در یک راستا می‌باشد. به این معنی که میزان رسوب بسته به

نتایج حاصل از تغییرات دبی و رسوب ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهد که کمترین ضریب تعدیل توزیع سالانه دبی و رسوب مربوط به ایستگاه چپرآباد، به ترتیب برابر ۰/۱۹ و ۰/۲۵ درصد است که بیانگر یکنواخت بودن توزیع مقادیر دبی و رسوب در همه ماه‌های سال بوده، ولی در سایر ایستگاه‌ها مقدار بی‌نظمی بیشتر نشان می‌دهد که در ماه‌های محدودی از سال مقادیر دبی و رسوب غیر یکنواخت می‌باشد. همچنین، بیشترین شدت تمرکز دبی و رسوب در ایستگاه ارومیه به ترتیب برابر ۰/۵۸ و ۰/۸۴ درصد بوده، ولی کمترین آن مربوط به ایستگاه چپرآباد با مقادیر دبی ۰/۲۵ و رسوب ۰/۳۵ درصد می‌باشد، در حالی که در بیشتر ایستگاه‌ها شدت تمرکز یکنواخت بوده است. در نتیجه در ایستگاه‌های مورد مطالعه ضریب تعدیل توزیع سالانه و شدت تمرکز رسوب بیشتر از مقادیر دبی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش روند تغییرات زمانی و مکانی دبی، رواناب و رسوب در ۱۵ ایستگاه هیدرومتری در استان آذربایجان غربی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات و بی‌نظمی مقادیر دبی و رسوب‌دهی ایستگاه‌های منتخب به‌خصوص در مقیاس ماهانه قابل توجه است. همچنین، افزایش تغییرپذیری رسوب‌دهی سالانه با افزایش مقادیر رواناب ایستگاه‌ها بر وجود روابط نزدیک رواناب با وضعیت رسوب‌دهی ایستگاه‌های منتخب دلالت دارد. بیشترین یکنواختی رواناب و رسوب با پلی‌نومیال درجه شش، در طول دوره آماری موجود در شکل ۲، در ایستگاه‌های ساری‌قمیش، دیزج، پی‌قلعه، نقده و دورود می‌باشد. به عبارتی می‌توان گفت که روند تغییرات رواناب و رسوب در ایستگاه‌های مذکور در طول دوره افزایشی بوده ولی در سایر ایستگاه‌ها این تغییرات در بعضی از سال‌ها دارای روند افزایشی و همچنین کاهشی بوده، که ممکن است ناشی از شرایط هیدرولوژیکی رودخانه یا مقادیر بارش‌ها در طول دوره آماری باشد. مقادیر تغییرات دبی و رسوب در ماه‌های مختلف از سال در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشینه

تغییرات در مقادیر دبی و رسوب ماهانه در منطقه مورد مطالعه را می‌توان با خصوصیات حوضه، واکنش هیدرولوژیک و کاربری اراضی (زمان شخم اراضی کشاورزی) مرتبط دانست که از عوامل اصلی کنترل‌کننده مؤلفه‌های دبی و تولید رسوب معلق است.

تغییرات دبی و رواناب، کاهش یا افزایش می‌یابد. البته باید به این نکته نیز توجه داشت که در ایستگاه‌های مورد مطالعه ضریب همبستگی به یکدیگر نزدیک بوده است و می‌توان گفت که در این ایستگاه‌ها رابطه معنی‌دار و خطی وجود دارد. بر همین اساس، نتایج

منابع مورد استفاده

1. Adhami, M., M. Zabihi., S. Zare-Naghadeh and R. Mostafazadeh. 2016. Choosing the best hierarchical clustering technique based on principal components analysis for suspended sediment load estimation. Quarterly Journal of Environmental Erosion Research, 6(4): 47-67 (in Persian).
2. Arabkhedri, M. 2014. A review of the water erosion rate and sediment yield in Iran. Extension and Development of Watershed Managment, 2(4): 23-30 (in Persian).
3. Arabkhedri, M., F.S. Lai, I. Noor Akma and M.K. Mohamad-Roslan. 2010. An application of adaptive cluster sampling for estimating total suspended sediment load. Journal of Hydrology Research, 41(1): 63-73.
4. Arabkhedri, M., Sh. Hakimkhani and J. Varvani. 2004. The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 hydrometric stations). Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 11(3): 123-131 (in Persian).
5. Behboodian, J. 2009. Non-parametric statistics. Fifth edition, Shiraz University Press, 280 pages (in Persian).
6. Esfandyari, F., R. Mostafazadeh. and P. Faghezadeh. 2016. Comparison of temporal variations in monthly discharge and sediment load in some rivers of West Azerbaijan Province. Quantitative Geomorphological Research, 5(2): 53-65 (in Persian).
7. Fang, N.F., Z.H. Shi, L. Lu and J. Cheng. 2011. Rainfall, runoff and suspended sediment delivery relationships in a small agricultural watershed of the Three Gorgesarea, China. Geomorphology, 135: 158-166.
8. Fleming, G. 1979. Deterministic model in hydrology. FAO Irrigation and Drainage Paper, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 32-80.
9. Gupta, H. and G.J. Chakrapani. 2007. Temporal and spatial variations in water flow and sediment load in the Narmada River. Current Science, 92(5): 679-684.
10. Lana-Renault, N., D. Regues, E. Nadal-Romero, M.P. Serrano-Muela and J.M. Garcia-Ruiz. 2010. Streamflow response and sediment yield after farmland abandonment: results from a small experimental catchment in the central Spanish Pyrenees. Pirineos, Revista de Ecologia de Montana, 165: 97-114.
11. Liu, C., Z.Y. Wang and J.Y. Sui. 2007. Analysis on variation of seagoing water and sediment load in main rivers of China. Journal of Hydraulic Engineering, 38(12): 1444-1452.
12. Mahdavi, M. 2002. Applied hydrology. Tehran University Press, 437 pages (in Persian).
13. Mohammadi, A., A. Mosaedi and A. Heshmatpour. 2007. Determination of the best model to estimate suspended sediment loads in Ghazaghly Gauge Station Gorganrood River, Iran. Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 14(4): 1-9 (in Persian).
14. Mosaedi, A., A. Mohammadi Ostadkelayeh, A. Najafinejad and F. Yaghmaiee. 2006. Optimization of the relation between flow discharge and suspended sediment discharge in selected hydrometric stations of Gorgan River. Iranian Journal of Natural Resources, 59(2): 331-343 (in Persian).
15. Mostafazadeh, R., S.H.R. Sadeghi and A. Sadoddin. 2015. Analysis of storm-wise sedimentgraphs and rating loops in Galazchai Watershed, West-Azarbaijan. Journal of Water and Soil Conservation, 21(5): 175-191 (in Persian).
16. Mu, X.M., X.Q. Zhang and P. Gao. 2010. Theory of double mass curves and itsapplications in hydrology and meteorology. Hydrology, 30(4): 47-51.
17. Nasri, M., S. Feiznia, M. Jafari, H. Ahmadi and S. Soltani. 2011. Statistical assessment of sediment change and the effective factors, case study: Menderjan Station. Journal of Range and Watershed Management, 64(1): 95-106 (in Persian).
18. Nikkami, D., R. Sokouti-Oskuee, E. Brooshkeh and F. Heshmati. 2014. Investigating sediment loads of Iranian rivers, case study: Western Azerbaijan. Journal of Watershed Engineering and Management, 5(4): 266-274 (in Persian).
19. Piri, A., M. Habibnezhad, M. Ahmadi, K. Soleimani and A. Mosaedi. 2005. Optimizing the relationship between water discharge and sediment load in Amameh Representative Watershed.

- Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of the Caspian, Mazandaran Univesity, 3(3): 40 (in Persian).
20. Rezaeei-Banafsheh, M. and R. Abedi. 2015. Analysis of precipitation, discharge and sediment relationships in the Lighvanchai Watershed (using seasonal genetic programming). *Hydrogeomorphology*, 4: 57-77 (in Persian).
 21. Roy, N.G., and R. Sinha. 2014. Effective discharge for suspended sediment transport of the Ganga River and its geomorphic implications. *Geomorphology*, 4(3): 221-234.
 22. Tuset, J., D. Vericat and R.J. Batalla. 2016. Rainfall, runoff and sediment transport in a mediterranean mountainous catchment. *Science of the Total Environment*, 540: 114-132.
 23. Vafakhah, M. 2002. Developing mathematic model for estimation of sediment yield in north region of Iran (Mazandaran and Gorgan regions). *Proceedings of the 6th International Seminar on River Engineering*, Ahwaz Shahid Chamran University, 1: 147-159 (in Persian).
 24. Vafakhah, M. 2013. Comparison of cokriging and adaptive neuro-fuzzy inference system models for suspended sediment load forecasting. *Arabian Journal of Geosciences*, 1-16.
 25. Wenfeng, D. and H.E. Kateb. 2011. Annual discharge and sediment load variation in Jialing River during the Past 50 years. *Journal of Mountain Science*, 8: 664-676.
 26. Williams, G.P. 1989. Sediment concentration versus water discharge. *Journal of Hydrology*, 111: 89-106.
 27. Wu, B.S., G.Q. Wang, J.Q. Xia, X.D. Fu and Y.F. Zhang. 2008. Response of bankfull to discharge and sediment load in the lower Yellow River. *Geomorphology*, 100: 366-376.
 28. Young, A.R., C.E., Round and A. Gustard. 2000. Spatial and temporal variations in the occurrence of low flow events in the UK. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4(1): 35-45.
 29. Zhai, H.J., B. Hu, X.Y. Luo, L. Qiu, W.J. Tang and M. Jiang. 2016. Spatial and temporal changes in runoff and sediment loads of the Lancang River over the last 50 years. *Agricultural Water Management*, 1-8.