

مقایسه الگوی تغییرات زمانی مقادیر دبی و رسوب ماهانه در تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی

فریبا اسفندیاری درآباد - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی
رئوف مصطفی‌زاده* - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
پیروزه فقه‌زاده - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۴/۱۱

چکیده

برآورد صحیح میزان رسوبات حمل شده توسط جریان رودخانه در مدیریت رودخانه‌ها و طراحی پروژه‌های حفاظت آب و خاک ضروری می‌باشد. با توجه به تغییرات مقدار رسوب متناسب با دبی رودخانه، ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی تغییرات رواناب و رسوب می‌تواند در تعیین و کنترل منشأ تولید رسوب مؤثر باشد. در پژوهش حاضر تغییرات ماهانه دبی و رسوب در ۱۵ ایستگاه هیدرومتری، استان آذربایجان غربی در یک دوره آماری ۲۰ ساله مورد تحلیل قرار گرفته است. بر اساس ارتباط تغییرات بار رسوبی و دبی، از معادله خطی شده سنجه رسوب با تبدیل لگاریتمی داده‌های دبی جریان و رسوب استفاده گردید. سپس دوره‌های کم‌آبی و پرآبی با استفاده از تئوری Run تعیین گردید، و به منظور تعیین الگوی وقوع دوره‌های کم‌آبی و پرآبی از روش Power Laws Analysis استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که حداکثر مقادیر دبی و رسوب ایستگاه‌ها به صورت هم‌زمان و در فصل بهار (خصوصاً در ماه اردیبهشت) اتفاق افتاده است که با مقادیر بالای بارندگی، ذوب برف بهاره و موجودیت رسوب در این فصل در ارتباط بوده است. علیرغم اینکه بیشترین مقدار دبی در ایستگاه ساری‌قمیش ۴۳۴/۱ مترمکعب بر ثانیه بوده، اما برخلاف انتظار، بیشترین مقدار رسوب در ایستگاه قاسملو ۵۱۷۴/۹ تن در روز در طول دوره آماری مشاهده شد که این مورد بر عدم تبعیت حمل رسوب از مقدار بالای دبی اشاره دارد. همچنین بیشترین دامنه تغییرات لگاریتم دبی و رسوب مربوط به ایستگاه پل بهراملو با مقادیر ۱/۲ مترمکعب بر ثانیه و ۲/۳ تن در روز می‌باشد. در ادامه مقادیر وقوع تعداد و تکرار دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در ایستگاه‌های مختلف با استفاده از پلات لگاریتمی دوگانه رسم شد، و مشخص شد که در ایستگاه‌های مورد مطالعه، تکرار دوره‌های کم‌آبی با رسوب پایین، بیش‌تر از تکرار دوره‌های پرآبی و مقادیر رسوب بالا بوده است. بر این اساس، دوره‌های کم‌آب با فراوانی بیش‌تری اتفاق افتاده است که نشان‌دهنده تمایل رفتار رودخانه‌ها به وضعیت فصلی بودن است و نیز تکرار بالای دوره‌های کم‌رسوب نشان‌دهنده این است که در اکثر ماه‌های سال، میزان رسوب جریان قابل توجه نیست. همچنین تداوم دوره‌های پرآب و نیز دوره‌های کم‌رسوب بسیار بیش‌تر بوده است. بر اساس نتایج می‌توان گفت که در منطقه مورد مطالعه، حمل مقادیر بالای رسوب مربوط به ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد محدود شده است. مقایسه پلات‌های لگاریتمی دوگانه نشان داد که در ایستگاه‌های چپرآباد، دورود، نقده، اشنویه و پی‌قلعه تغییرات مقادیر رواناب و رسوب در دوره‌های مختلف در یک راستا بوده ولی در سایر ایستگاه‌ها وقوع مقادیر رواناب و رسوب هم‌زمان نبوده و از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کنند.

واژگان کلیدی: تغییرات دبی و رسوب، تئوری Run، دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، Power Laws Analysis.
استان آذربایجان غربی

مقدمه

مطالعه فرآیند رسوب‌زایی به‌عنوان یکی از معضلات اساسی مطرح بوده و مدیریت آن بدون شناخت ماهیت پیچیده و عوامل مؤثر در وقوع آن امکان‌پذیر نیست. جریان آب مهم‌ترین عوامل فرسایشی پوسته زمین بوده و در مسیر حرکت خود موادی را به‌صورت محلول معلق و بار بستر حمل می‌کند که این فرآیند، انتقال رسوب گفته می‌شود (پیری و همکاران، ۱۳۸۳، ۳۲؛ آرنیلد^۱، ۱۹۹۹، ۱۲۲). هرساله بالغ‌بر ۲۰ تا ۵۲ میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان انتقال می‌یابد و در آب‌های ساکن ته‌نشین می‌شود (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۱، ۴). کشور ما نیز از عواقب زیان‌بار این پدیده مصون نبوده و سالانه بخش عمده‌ای از خاک‌های حاصلخیز زراعی و مرتعی، در اثر بهره‌برداری نادرست و بارندگی شسته شده، از بین می‌رود. همچنین به دلیل شرایط آب و هوایی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و فشار بیش‌ازحد به اراضی حوضه‌های آبخیز، رودخانه‌های کشور ما در مقایسه با رودخانه‌های جهان رسوب بیشتری را حمل می‌کنند (رفاهی، ۱۳۷۵، ۳۴۱؛ کرادر^۲ و همکاران، ۲۰۰۷، ۲۵۳). شناخت وضعیت رسوب‌دهی و میزان رسوب خروجی یک حوضه، درک درستی از پدیده فرسایش و عواقب آن را فراهم می‌نماید (پیری و همکاران، ۱۳۸۳، ۳۲؛ کرافورد^۳، ۱۹۹۱، ۳۳۲). 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 می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۶، ۲۳۴). به‌منظور برآورد رسوب انتقالی رودخانه‌ها به‌طور معمول از معادله سنجه‌رسوب استفاده می‌شود (مساعدی و همکاران، ۱۳۸۵، ۳۳۲؛ پوپولوسکی^۴ و همکاران ۱۹۸۹، ۷۸). معادله سنجه‌رسوب را فلیمنگ^۵ در سال ۱۹۷۹ به نقل از والینگ^۶ (۱۹۷۸) و اسلمن^۷ (۲۰۰۰، ۲۳۵)، با بررسی آمار رسوب معلق ۲۵۰ رودخانه دنیا، برای حوزه‌های فاقد آمار ارائه داد، درعین‌حال برآورد رسوب از طریق معادله همواره با مقداری خطا همراه می‌باشد. (رابرت^۸، ۱۹۸۵، ۱۳۸۱). تغییرات ماهانه دبی و رسوب حاصل از منحنی سنجه‌رسوب در ایستگاه‌های مختلف مورد تحلیل قرار می‌گیرد، و برای دوره‌های کم‌آبی و پرآبی یک حد آستانه مشخص، معمولاً از روش تئوری ران استفاده شده است. منظور از ران، دنباله‌ی ممتدی از دنباله‌ها است که مقدار آن‌ها بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از حد (مینا) باشد (یالدیز^۹، ۲۰۱۴، ۱۱۷۸). همچنین برای تحلیل و بررسی تداوم دوره‌های بیش‌تر و کم‌تر از میانگین دبی و رسوب نیز از روش آنالیز توانی استفاده می‌شود (سن^{۱۰}، ۲۰۰۸، ۲۶۶). در تعیین تغییرات زمانی- مکانی رسوب‌دهی در حوضه آبریز قره‌سو در استان اردبیل اسفندیاری درآباد و قراچورلو (۱۳۹۴) به‌منظور ارائه‌ی مدلی، برآوردی از بار رسوبی در زیر حوضه‌های موردنظر، را مورد آزمون قراردادند. ایشان از داده‌های ۶ ایستگاه باران‌سنجی و هیدرومتری طی یک دوره ۲۲ ساله استفاده گردید. روش تحقیق مبتنی بر تحلیل آماری رگرسیونی متغیرهای بارش، بار رسوب و همچنین تحلیل تغییرات متغیرهای بارش و رسوب بود. نتایج حاصل از تحلیل‌های رگرسیونی، نشان‌دهنده همبستگی ضعیف متغیر بارش با رسوب‌دهی ایستگاه‌ها در مقیاس میان‌سالی و در مقابل همبستگی خوب آن‌ها در مقیاس درون‌سالی بود. رضایی بنفشه و عابدی (۱۳۹۴) به بررسی عوامل مؤثر در تولید رسوب در حوضه آبخیز ليقوان‌چای 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

¹- Arnild

²- Crowder

³- Crawford

⁴- Popolawski

⁵- Fleming

⁶- Waling

⁷- Asselman

⁸- Robert

⁹- Yildiz

¹⁰- Sen

کردند. نتایج ایشان نشان داد که بین متغیر دبی متوسط جریان و دبی رسوب معلق رابطه معنی‌داری با ضریب همبستگی بالای ۹۰٪ وجود داشته و بین متغیر بارش و دبی رسوب معلق رابطه معنی‌داری با ضریب همبستگی پایین نسبت به دبی متوسط جریان برقرار است. در بررسی تغییرات فصلی رسوب معلق، خوجینی و نژادهاشمی (۱۹۸۸) و محمدی و همکاران (۲۰۰۷) به ترتیب با بررسی رسوب‌دهی حوضه آبخیز طالقان و گرگان‌رود نتیجه گرفتند که بیش‌ترین رسوبات حوضه در فصل بهار حمل می‌گردد. ونفنگ و کاتب^۱ (۲۰۱۱) در تحقیقی، به تغییرات دبی و رسوب حوضه رودخانه جیالینگ^۲ در چین طی ۵۰ سال (۱۹۵۶-۲۰۰۶) پرداختند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که طی دوره مورد مطالعه مقدار رسوب کاهش یافته، به طوری 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 آب‌وخاک باعث کاهش دبی و رسوب رودخانه مورد مطالعه شده است. هو^۳ و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود، به تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق و دلایل تغییرات آن در سه ایستگاه بالادست، میان و پایین‌دست رود یانگ‌تسه در چین طی پنج دهه پرداختند، سپس به این نتیجه رسیدند که رسوب معلق تحت تأثیر خصوصیات حوضه آبخیز و فعالیت‌های انسانی تغییر می‌کند. وانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات زمانی و مکانی ته‌نشست رسوب معلق را در پنج ایستگاه واقع در زیرشاخه‌های رودخانه زرد چین طی ۵۰ سال با روش بیان رسوب مورد بررسی قراردادند و عامل اصلی تغییرات رسوب راه، فعالیت‌های انسانی از جمله ساخت سدهای اصلاحی در بازه‌های رودخانه مورد مطالعه معرفی نمودند.

مرور منابع نشان می‌دهد که تحقیقات انجام‌شده به‌خصوص در داخل کشور، به بررسی روش‌هایی برای برآورد رسوب معلق پرداخته‌اند و یا تغییرات مکانی رسوب‌دهی را با استفاده از مدل‌ها و به‌صورت مقایسه رسوب خروجی در زیر حوضه‌ها مورد ارزیابی قرار داده‌اند. همچنین در مطالعات مشابه خارج از کشور که در زمینه تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق رودخانه انجام شده است، نقش دبی در تغییرات رسوب یکسان در نظر گرفته شده است در حالیکه تغییرات دبی در هر ایستگاه می‌تواند دارای تأثیر متفاوتی در تغییرات رسوب باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، تعیین الگوی تغییرات ماهانه دبی و رسوب در ایستگاه‌های واقع در منطقه مورد مطالعه است. به عبارتی در تحقیق حاضر امکان استفاده از روش آنالیز توانی در مقایسه تغییرات تکرار و تداوم وقوع دوره‌هایی با مقادیر دبی و رسوب متفاوت از روی مقادیر شیب منحنی لگاریتمی دوگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

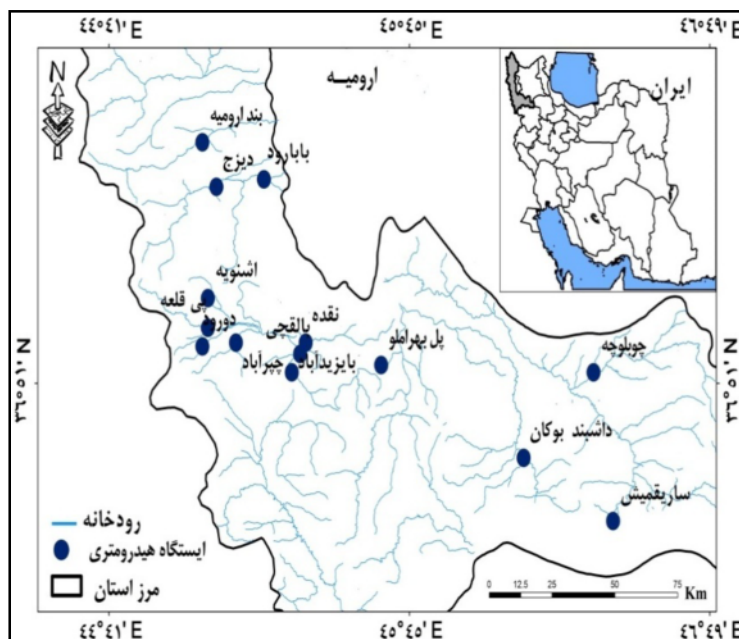
استان آذربایجان غربی با مساحت ۳۷۴۰۰ کیلومتر مربع که حدود ۲/۶۵ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد، در شمال غربی کشور قرار دارد. در این تحقیق ایستگاه‌های هیدرومتری دارای آمار رسوب واقع در مرکز و جنوب آذربایجان غربی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. میانگین بارندگی سالانه حوضه بین مقدار ۳۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر در مناطق مختلف تغییر می‌کند و متوسط دما حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد است.

^۱- Wenfeng and Kateb

^۲- Jialing

^۳- Hu

^۴- Wang



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

روش تحقیق

با توجه به وجود ایستگاه‌ها در مناطق مختلف استان و در شرایط آب و هوایی تقریباً متفاوت و همچنین طولانی بودن طول دوره آماری مورد استفاده، امکان بررسی وضعیت دوره‌های پربابی و کم‌آبی هیدرولوژیک در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. برای انجام این پژوهش، بر اساس طول دوره آماری ۲۰ ساله و نیز کامل بودن داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌ها، تعداد ۱۵ ایستگاه هیدرومتری شرکت مدیریت منابع ایران که بر رودخانه‌های قسمت‌های مختلف استان واقع شده‌اند، انتخاب گردید که مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و مقادیر شاخص محاسباتی آن‌ها در جدول (۱)، ارائه شده است.

برای برآورد بار رسوب معلق روش‌های متعددی وجود دارد که با توجه به وضعیت آمار منطقه مورد بررسی، در اکثر موارد در این روش‌ها از رابطه توانی بین دبی جریان و دبی رسوب معلق یا همان منحنی سنج رسوب استفاده می‌شود. در این روش پس از تعیین غلظت نمونه‌های رسوب، با اطلاع از مقدار آبدی رودخانه در زمان برداشت نمونه، یک رابطه ریاضی (معمولاً غیرخطی) بین بار رسوبی معلق رودخانه و آبدی آن برقرار شد. در عمل با توجه به داده‌های دبی آب و دبی رسوب متناظر با آن، هر دو سری داده به صفحه مختصات لگاریتمی منتقل شده و خط بهترین برازش بر مبنای روش کم‌ترین مربعات از میان آن‌ها عبور داده شد. در نهایت، نمودار دبی آب-دبی رسوب به همراه معادله مربوطه و ضریب همبستگی آن برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد و معادله‌ای به صورت رابطه (۱) که به منحنی سنج رسوب معروف است بین دو متغیر برقرار گردید (بهبودیان، ۲۰۰۹، ۲۸۴).

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

که در آن، Q_s دبی مواد رسوبی معلق (تن در روز)، Q_w دبی جریان آب (مترمکعب بر ثانیه)، a و b ضرایب معادله بوده و با رسم خط بهترین برازش محاسبه شده است.

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

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	حداکثر		متوسط		انحراف معیار		ضریب تغییرات	
			دبی	رسوب	دبی	رسوب	دبی	رسوب	دبی	رسوب
بایزیدآباد	۳۶/۸	۴۵/۳	۲۳۱/۴	۴/۰	۷/۰	۰/۴	۲۵/۵	۰/۵	۳/۶	۱/۵
چپرآباد	۳۶/۹	۴۵/۱	۷/۱	۴/۹	۰/۸	۰/۸	۱/۰	۰/۸	۱/۳	۱/۰
دورود	۳۶/۹	۴۵/۰	۱۴/۰	۱۰/۶	۱/۱	۱/۲	۲/۰	۱/۷	۱/۸	۱/۴
قاسملو	۳۶/۵	۴۵/۰	۵۱۷۴/۹	۷۰/۶	۶۹/۱	۲/۳	۴۱۳/۳	۶/۶	۶/۰	۲/۹
نقده	۳۶/۵	۴۵/۲	۱۴۴۱/۶	۹۱/۳	۹۳/۲	۱۰/۱	۱۸۸/۹	۱۴/۸	۲/۰	۱/۵
داشبند	۳۶/۳	۴۶/۱	۱۶۵۰/۱	۷۰/۶	۲۴/۳	۲/۳	۱۳۴/۳	۶/۶	۵/۵	۲/۹
پی‌قلعه	۳۷/۰	۴۵/۰	۹۵۹/۲	۶۱/۲	۷۱/۳	۸/۱	۱۵۰/۶	۱۱/۵	۲/۱	۱/۴
بالتچی	۳۶/۵	۴۵/۲	۴۹۶/۶	۷/۷	۱۸/۷	۰/۷	۵۷/۸	۱/۱	۳/۱	۱/۵
ارومیه	۳۷/۵	۴۵/۰	۲۷۹۴/۲	۳۹/۱	۱۴۶/۹	۵/۰	۳۸۴/۹	۷/۰	۲/۶	۱/۴
دیزج	۳۷/۳	۴۵/۰	۱۶۲۸/۱	۴۵/۱	۱۴۰/۳	۷/۸	۲۶۶/۷	۸/۷	۱/۹	۱/۱
بابارود	۳۷/۴	۴۵/۲	۱۱۴۹/۵	۳۶/۲	۲۲/۱	۲/۰	۸۹/۴	۳/۹	۴/۱	۲/۰
چوپلوچه	۳۶/۵	۴۶/۲	۲۴۵۲/۷	۵۲/۱	۸۰/۵	۴/۱	۲۳۰/۳	۶/۶	۲/۹	۱/۶
ساری قمیش	۳۶/۲	۴۶/۲	۲۷۴۸/۶	۴۳۴/۱	۲۱۹/۶	۵۱/۴	۳۸۵/۶	۶۶/۰	۱/۸	۱/۳
اشنویه	۳۷/۰	۴۵/۰	۲۸۱/۶	۱۱/۳	۱۷/۵	۱/۳	۴۲/۴	۲/۱	۲/۴	۱/۶
پل بهراملو	۳۶/۵	۴۵/۳	۳۶۸۵/۳	۹۰/۱	۲۲۸/۴	۱۰/۵	۵۴۷/۲	۱۶/۹	۲/۴	۱/۶

تعیین دوره‌های پربابی و کم‌آبی

در این راستا پس از استخراج منحنی سنجه‌رسوب، تغییرات ماهانه دبی و رسوب در ایستگاه‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفت، سپس با استفاده از تئوری Runs تعداد و تداوم دوره‌های پربابی و کم‌آبی مشخص گردید و هم‌چنین مقادیر دبی و رسوب در دوره‌های مذکور نیز محاسبه گردد (یوجیچ، ۱۹۶۷). رسوب‌دهی و ضرورت آگاهی از تغییرات زمانی - مکانی آن در ایستگاه‌های موردنظر، باهدف تشخیص و تعیین تغییرات بار رسوبی ماهانه در ارتباط با دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری انجام‌گرفته است. (بوردی^۲ و همکاران، ۲۰۰۴، ۸۱). دوره‌های پربابی و کم‌آبی در جریان رودخانه‌ای می‌تواند در مقیاس‌های زمانی متفاوت در نظر گرفته شود که در پژوهش حاضر، مبنای ماهانه انتخاب‌شده است (سیندریک^۳ و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۷۵؛ میسرا و سینگ^۴، ۲۰۱۰، ۲۰۴). برای تعیین تداوم دوره کم‌آبی، از بررسی و تحلیل دنباله‌ها استفاده‌شده است که در روش تئوری دنباله‌ها اگر مقادیر دبی از یک حد آستانه کم‌تر باشد کم‌آبی رخ خواهد داد. بنابراین

^۱- Yevjevich

^۲- Bordi

^۳- Cindric

^۴- Mishra and Singh

از روش تئوری Run برای تعیین دوره‌های پربابی و کم‌ابی استفاده گردید. بر این اساس میانگین‌های (۱۲ ماه) دبی و رسوب در کل دوره آماری برای تعیین حد آستانه در انتخاب دوره‌های پربابی و کم‌ابی استفاده شده است (یالدیز، ۲۰۱۴، ۱۱۷۸). در این مرحله، مقادیر مثبت و منفی پس از کم نمودن مقادیر دبی و رسوب هر ماه از مقدار میانگین مقادیر دبی ماهانه، به صورت یک سری داده‌ها به دست آمد (هربست^۱ و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۶۶). پس از محاسبه تفاضل مقادیر دبی و رسوب ماهانه از میانگین درازمدت تعداد دوره‌های پربابی و کم‌ابی و نیز مقادیر رسوب معلق زیاد و کم در طول کل دوره آماری به ترتیب از کم‌ترین مقیاس زمانی (۱ ماهه) تا بیش‌ترین آن (۴۷ ماهه) برای هر ایستگاه محاسبه گردید. سپس با افزایش مقیاس زمانی (تعداد ماه‌های بیش‌تر)، تعداد وقوع دوره‌های پربابی و کم‌ابی کاهش پیدا کرد.

آنالیز توانی

برای تحلیل و بررسی تداوم دوره‌های بیش‌تر و کم‌تر از میانگین دبی و رسوب از روش آنالیز توانی بر اساس روابط (۲) و (۳) استفاده گردید (سن، ۲۰۰۸، ۲۶۶). از آنجاکه روش آنالیز توانی با مفاهیم احتمالاتی دوره‌های کم‌ابی و پربابی مرتبط است، در واقع از مشکلاتی همچون نرمال بودن داده‌ها، مقادیر حدی و سایر اثرات آن مستثنی است. در این روش به جای تغییرات مقادیر فصلی یا سالانه، دوره‌های کم‌ابی و پربابی دبی و رسوب ماهانه مورد توجه است.

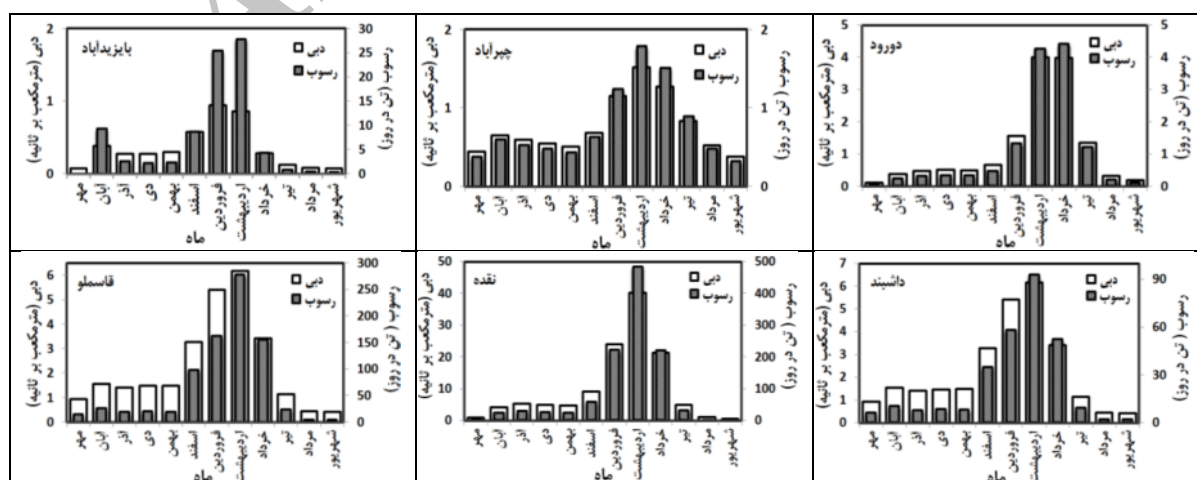
$$Y_w = a_w x_w^{-b_w} \quad (2)$$

$$Y_d = a_d x_d^{-b_d} \quad (3)$$

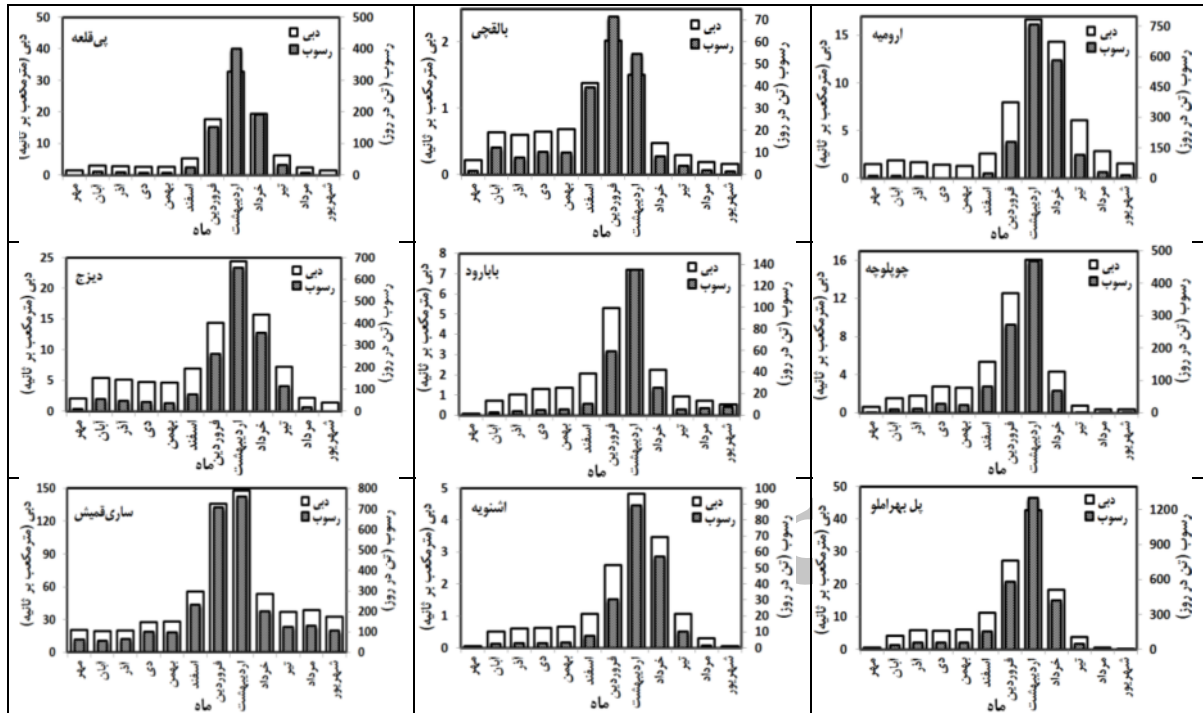
که در آن‌ها، Y_w و Y_d به ترتیب مقیاس زمانی دوره‌های پربابی و کم‌ابی، X_w و X_d به ترتیب تعداد دوره‌های پربابی و کم‌ابی می‌باشند و پارامترهای a_w ، b_w ، a_d و b_d به خصوصیات دوره‌های پربابی و کم‌ابی بستگی دارند. برآورد این پارامترها با استفاده از نمودار لگاریتمی دوگانه بر روی یک خط مستقیم امکان‌پذیر است. بر روی نمودار لگاریتمی دوگانه مقادیر ثابت و شیب خط رابطه مذکور به صورت خط مستقیم در خواهد آمد که نشان‌دهنده مقادیر a و b هستند.

نتایج

مقادیر تغییرات دبی و رسوب در ماه‌های مختلف از سال در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی در شکل (۲) ارائه شده است.

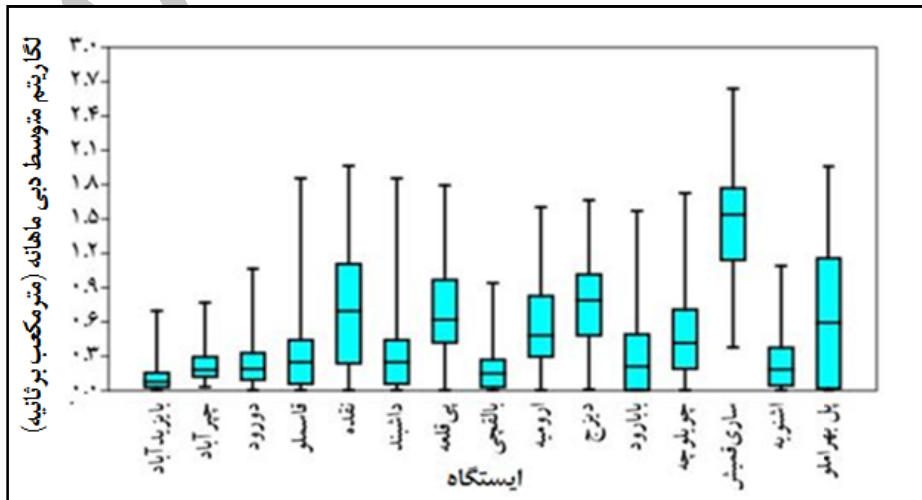


¹ - Herbst



شکل ۲: مقایسه الگوی تغییرات زمانی مقادیر دبی و رسوب ماهانه در تعدادی از رودخانه‌های استان آذربایجان غربی

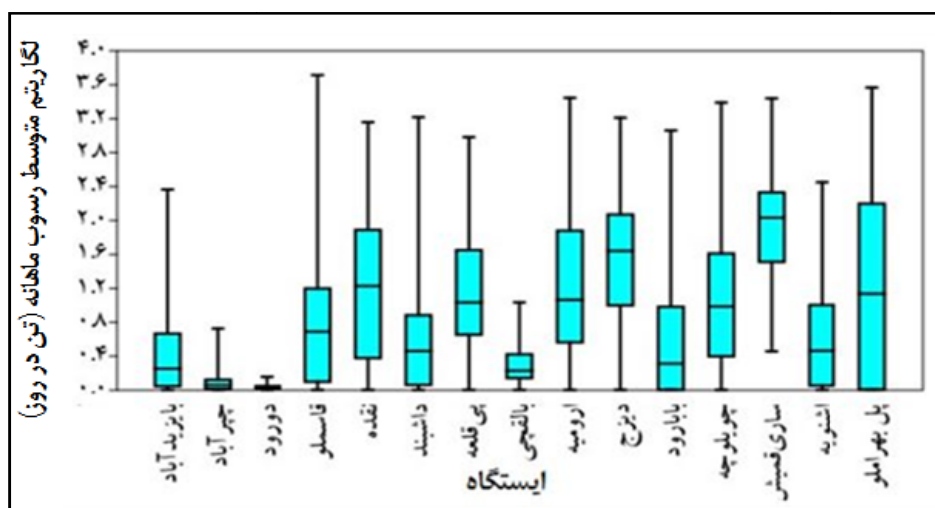
نتایج حاصل از محاسبات آماری مربوط به تغییرات دبی و رسوب ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۲) نشان می‌دهد که بیش‌ترین یکنواختی دبی و رسوب در اردیبهشت‌ماه و کم‌ترین دبی و رسوب در شهریورماه بوده است. به عبارتی می‌توان گفت که در ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیش‌ترین مقادیر رسوب و دبی فصل بهار و کم‌ترین مقادیر آن در فصل پاییز و تابستان می‌باشد. از آنجایی که در این مطالعه رسوب مدنظر است وجود دبی جریان برای حمل و اندازه‌گیری رسوب الزامی می‌باشد، به همین دلیل می‌توان بالا بودن رسوب معلق در فصل بهار که در آن باران‌های بهاری باعث ایجاد جریان زیاد می‌شود را توجیه نمود. نمودار جعبه‌ای مربوط به مقادیر لگاریتم حداقل، حداکثر و متوسط دبی ماهانه در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار جعبه‌ای لگاریتم دبی ماهانه در تعدادی از ایستگاه‌های آذربایجان غربی

نتایج به‌دست‌آمده در نمودار جعبه‌ای مربوط به لگاریتم دبی ماهانه نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کم‌ترین دامنه تغییرات به ترتیب در ایستگاه‌های پل بهراملو و بایزیدآباد با مقادیر ۱/۲ و ۰/۱ مترمکعب بر ثانیه می‌باشند، و همچنین حداکثر دبی ماهانه در ایستگاه ساری‌قمیش با مقدار ۲/۳ مترمکعب بر ثانیه، نشان‌دهنده این است که مقدار دبی در بالادست رودخانه بیش‌تر بوده است.

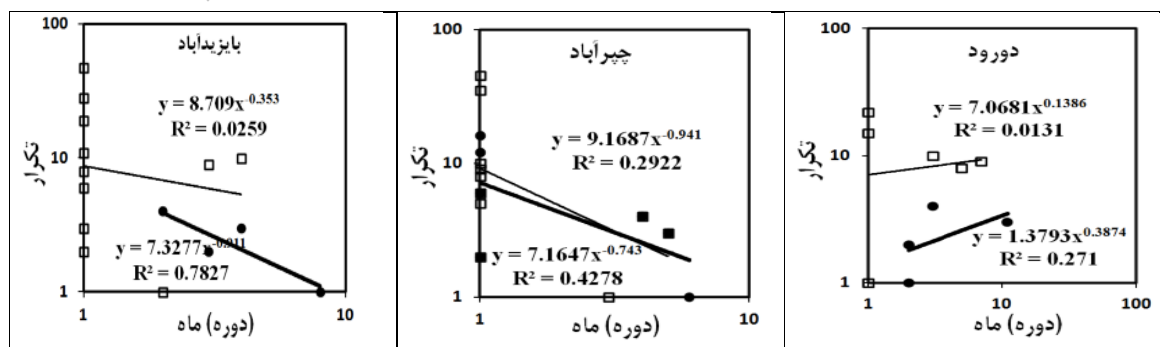
مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط لگاریتم رسوب ماهانه در نمودار جعبه‌ای به‌صورت شکل (۴) ارائه شده است.

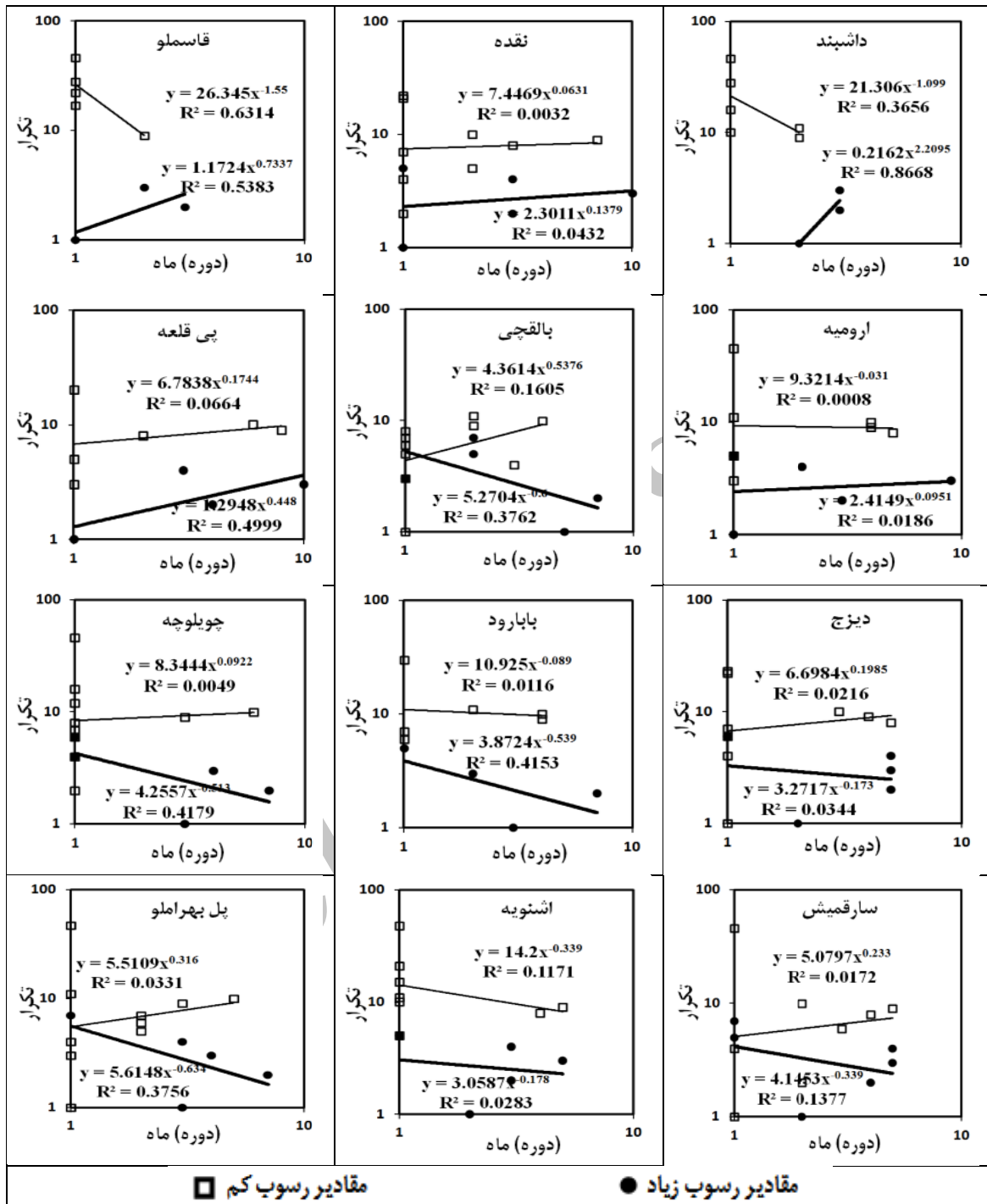


شکل ۴: نمودار جعبه‌ای لگاریتم رسوب ماهانه در تعدادی از ایستگاه‌های آذربایجان غربی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نمودار جعبه‌ای مربوط به لگاریتم رسوب ماهانه، مشاهده می‌شود که حداکثر مقدار لگاریتم رسوب در ایستگاه قاسملو، ۳/۸ تن در روز برآورد شده است. درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین دامنه تغییرات رسوب به ترتیب در ایستگاه‌های پل بهراملو و دورود با مقادیر ۲/۳ و ۰/۱ تن در روز می‌باشند. همچنین می‌توان گفت که تغییرات دبی منجر به روند تغییرات رسوب شده در نتیجه بیش‌ترین دامنه تغییرات لگاریتم دبی و رسوب مربوط به ایستگاه پل بهراملو می‌باشد.

پلات لگاریتمی دوگانه طول دوره‌های کم‌آبی و پرآبی و نیز ماه‌هایی با مقادیر رسوب ماهانه کم‌وزیاد، به ازای فراوانی وقوع در شکل (۵) نشان داده شده است که خطوط رگرسیونی متناسب با هر دوره در هر ایستگاه پرازش داده شده است.



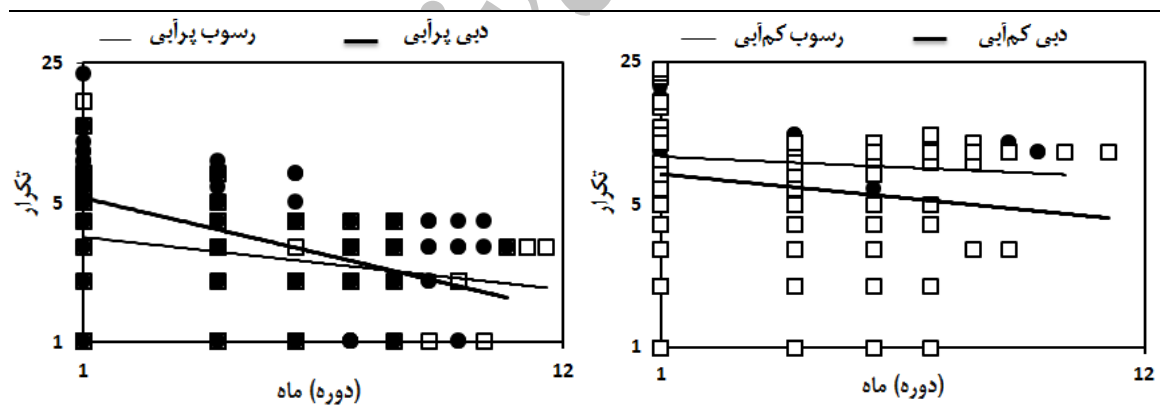


شکل ۵: پلات لگاریتمی دوگانه تعداد وقوع دوره‌های مختلف با مقادیر رسوب ماهانه زیاد و کم در ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی

بر اساس نتایج شکل (۵)، می‌توان گفت که در پلات لگاریتمی دوگانه تکرار و تداوم دوره‌های پرابی و کم‌ابی رسوب به ازای فراوانی وقوع نشان‌دهنده این است که خطوط رگرسیونی متناسب با هر ایستگاه در هر دوره برآزش داده شده است. رابطه معکوس میان تداوم و تعداد وقوع ماه‌های متوالی با مقادیر رسوب زیاد و کم وجود دارد. بدین ترتیب که با افزایش تداوم دوره موردنظر از تعداد وقوع ماه‌های متوالی رسوب کم و رسوب زیاد کاسته می‌شود. روش خط مستقیم رگرسیونی

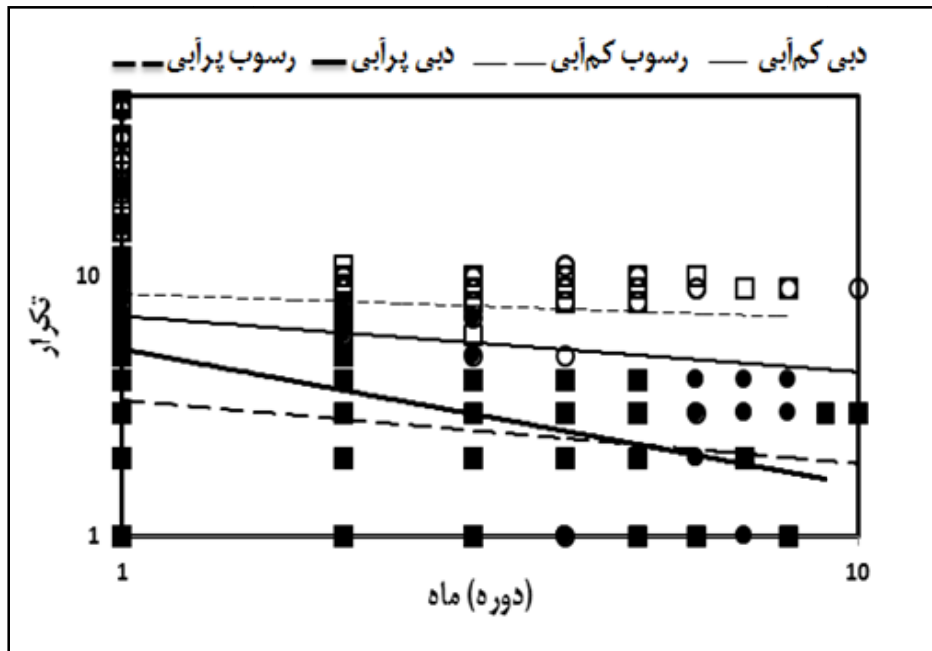
بر روی پلات لگاریتمی دوگانه مبنای تعیین دوره‌های رسوب کم‌وزیاد خواهد بود. در تفسیر نمودارهای لگاریتمی دوگانه و خطوط برازش داده‌شده رگرسیونی، نزدیکی ابر نقاط به خط مستقیم نشان می‌دهد که دوره‌های رسوب زیاد و کم در جریان رودخانه‌ای دارای یک رژیم همگن می‌باشند. خطوط نزدیک یا موازی بدون تقاطع دو دوره مختلف بیانگر عدم تغییرات زمانی در رسوب است و هرگونه انحراف منظم از خط مستقیم بیانگر شرایط یکنواخت است. عدم تلاقی خطوط دوره‌های کم‌رسوب و رسوب زیاد نشان می‌دهند که دوره‌های مذکور همیشه کوتاه‌تر یا طولانی‌تر از یکدیگر هستند. اگر خط مربوط به دوره رسوب زیاد بالاتر از خط مربوط به رسوب پایین جریان قرار گیرد، در ایستگاه موردنظر مقادیر رسوب بالا غالبیت بیشتری داشته، در غیر این صورت مقادیر کم‌رسوب غالب خواهد بود (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴، ۴۳۵). در بعضی ایستگاه‌ها مانند چپرآباد و بالقچی تلاقی میان خطوط مستقیم رسوب کم‌وزیاد دیده می‌شود. درحالی‌که در سایر ایستگاه‌های نقده، پی‌قلعه، ارومیه، اشنویه که خطوط مستقیم مربوط به دو دوره‌ی رسوب زیاد و کم موازی هستند، به این معنی است که دوره‌های کم‌رسوب همیشه بلندتر از دوره‌های پر رسوب می‌باشند. سپس در ایستگاه‌های داشبند و قاسملو با افزایش تداوم دوره، دوره‌های رسوب زیاد افزایش یافته ولی از دوره‌های کم‌رسوب کاسته می‌شود. همچنین در ایستگاه‌های پل‌پهراملو، ساری‌قمیش، چوبلوچه، دیزج شیب خطوط دوره‌های کم‌رسوب مثبت است، که بیانگر تکرار بیشتر دوره‌های طولانی‌مدت با رسوب پایین است. به عبارتی در ایستگاه‌های مذکور، تعداد دوره‌هایی با مقادیر کم‌رسوب دارای وقوع بیشتر هستند و سایر ایستگاه‌ها دارای رفتاری متفاوت می‌باشند.

پلات لگاریتمی دوگانه در شکل (۶)، نشان‌دهنده وقوع تعداد دوره‌های کم‌آبی و پرآبی دبی و رسوب ماهانه، به ازای فراوانی وقوع می‌باشد، همچنین خطوط رگرسیونی متناسب با هر دوره از دبی و رسوب در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه برازش داده‌شده است.



شکل ۶: پلات لگاریتمی دوگانه وقوع تعداد و تکرار دوره‌های مختلف کم‌آبی و پرآبی و رسوب کم‌وزیاد در ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی

بر اساس نتایج در شکل (۶)، پلات لگاریتمی دوگانه ایستگاه‌های هیدرومتری در طول دوره‌ی آماری موردنظر نشان می‌دهد که، نزدیکی ابر نقاط به خط مستقیم در دوره‌های پرآبی دبی و رسوب بالا دارای یک رژیم همگن بوده و همچنین نزدیک یا موازی بدون تقاطع دو دوره مختلف در نمودار کم‌آبی و رسوب پایین، بیانگر عدم تغییرات زمانی در دبی و رسوب است. همچنین قرارگرفتن خط بالاتر رسوب نسبت به دبی، نمایانگر رسوب بیشتر در طول دوره کم‌آبی است. اما در نمودار مربوط به پرآبی، تقاطع دو خط مربوط به پرآبی دبی و رسوب نشان می‌دهد که با افزایش دبی، رسوب کم‌تر شده و با کاهش دبی، رسوب افزایش پیدا کرده است.



شکل ۷: پلات لگاریتمی کم‌آبی و پرآبی بر روند تغییرات دبی و رسوب در تعدادی از ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی

قرار گرفتن دوره کم‌آبی و رسوب پایین، بالاتر از دوره‌ی پرآبی و رسوب بالا در شکل (۷) نشان می‌دهد که در طول دوره‌ی آماری با کاهش کم‌آبی، مقادیر رسوب نیز کم‌تر می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش روند تغییرات دبی 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 رسوب‌دهی ایستگاه‌های منتخب به‌خصوص در مقیاس ماهانه قابل توجه است. هم‌چنین افزایش تغییرپذیری رسوب‌دهی ماهانه با افزایش شرایط کم‌آبی و دبی ایستگاه‌ها بر وجود روابط نزدیک دبی با وضعیت رسوب‌دهی ایستگاه‌های منتخب دلالت دارد. مقادیر تغییرات دبی و رسوب در ماه‌های مختلف از سال در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در شکل (۲) نشان می‌دهد که، حداکثر 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 زمستانه نیز بر میزان آبدهی بالایی رودخانه‌ها در این فصل تأثیرگذار بوده است که با نتایج، خوچینی و نژادهاشمی (۱۹۸۸) و محمدی و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر تولید رسوب در فروردین‌ماه به دلیل تمرکز بارش مطابقت دارد. نتایج بین دو نمودار جعبه‌ای دبی و رسوب در شکل‌های (۳) و (۴) نشان‌دهنده این است که کم‌ترین لگاریتم دبی و رسوب به ترتیب در ایستگاه‌های یازیدآباد (۰/۱ مترمکعب بر ثانیه) و دورود (۰/۱ تن در روز) می‌باشد. اما علیرغم اینکه ایستگاه نقده و پل‌بهراملو دارای لگاریتم دبی یکسان هستند اما رسوب در پل‌بهراملو بیش‌تر است. در نتیجه بیش‌ترین دامنه تغییرات لگاریتم دبی و رسوب مربوط به ایستگاه پل‌بهراملو با مقادیر ۱/۲ مترمکعب بر ثانیه و ۲/۳ تن در روز می‌باشد که با یافته رضایی بنفشه و عابدی (۱۳۹۴)، از لحاظ معنی‌داری دبی و رسوب در یک راستا است. در تفسیر نمودارهای لگاریتمی دوگانه و خطوط برازش داده‌شده رگرسیونی در شکل (۵)، تلاقی میان خطوط مستقیم رسوب کم‌وزیاد در ایستگاه‌های مانند چپرآباد و بالقچی دیده می‌شود. درحالی‌که دوره‌های رسوب پایین در ایستگاه‌های نقده، پی‌قلعه، ارومیه، اشنویه همیشه بلندتر از دوره‌هایی با رسوب زیاد می‌باشند، به‌عبارتی در این ایستگاه‌ها دوره‌های کم‌رسوب غالبیت بیش‌تری دارد. هم‌چنین شیب خطوط دوره‌های کم‌رسوب مثبت بوده و بیانگر تکرار بیش‌تر دوره‌های طولانی‌مدت

کم‌رسوب در ایستگاه‌های پل بهراملو، ساری قمیش، چویلوجه، دیزج است. به عبارتی در ایستگاه‌های مذکور، تعداد دوره‌های کم‌رسوب با دوره وقوع بیش‌تر اتفاق افتاده است و سایر ایستگاه‌ها دارای رفتاری متفاوت می‌باشند. پلات لگاریتمی دوگانه در شکل‌های (۶) و (۷)، نشان‌دهنده وقوع تعداد دوره‌های کم‌آبی و پرآبی و تغییرات رسوب ماهانه، به ازای فراوانی وقوع در ایستگاه‌های هیدرومتری در طول دوره آماری موجود می‌باشد. در تمامی دوره‌ها، وقوع کم‌آبی و رسوب پایین بیش‌تر از پرآبی و رسوب بالا بوده است، و همچنین ارتباط بین دبی و رسوب همیشه به صورت یک رابطه مستقیم نمی‌باشد، نتایج این پژوهش با یافته‌های اسفندیاری درآباد و قراچورلو (۱۳۹۴)، هو و همکاران (۲۰۱۱) و وانگ و همکاران (۲۰۱۲) در یک راستا است. از آنجایی که بیش‌ترین مقدار رسوب در دبی‌های بالا انتقال پیدا می‌کند، پیشنهاد می‌گردد در جریان‌های سیلابی به تعداد کافی نمونه‌برداری صورت گیرد. در مجموع بر اساس نتایج، حمل مقادیر بالای رسوب در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد اتفاق افتاده است. مقایسه پلات‌های لگاریتمی دوگانه نشان داد که در ایستگاه‌های چپرآباد، دورود، نرده، اشویه و پی‌قلعه تغییرات مقادیر رسوب در دوره‌های مختلف متأثر از الگوی تغییرات رواناب بوده ولی در سایر ایستگاه‌ها وقوع مقادیر رواناب و رسوب هم‌زمان نبوده و از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کنند. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی، عوامل مؤثر بر میزان دبی و رسوب معلق تولیدشده در هر حوضه، شامل ویژگی‌های فیزیکی حوضه بالادست در هر ایستگاه از جمله وسعت حوضه بالادست، طول آبراه‌ها با درجه انشعاب مختلف، مجموع طول کل آبراه‌ها، تراکم آبراه‌ها و فاصله از بالادست با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی باید محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. همچنین ارزیابی اثرات اختلال در شرایط هیدرولوژیکی، کاربری اراضی و شبکه زهکشی بر فرآیندهای کنترل‌کننده مؤلفه‌های دبی و تولید رسوب معلق از مواردی است که در ارزیابی هم‌زمانی وقوع مقادیر حداکثر و تغییرات رواناب و رسوب نیازمند مطالعات دقیق‌تری است.

منابع

- اسفندیاری درآباد، فریبا و مرتضی قراچورلو، ۱۳۹۴، بررسی روابط مکانی- زمانی بار رسوب معلق با بارش در حوضه آبریز قره‌سو، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۴، صص ۱۴۲-۱۲۵.
- پیری، عبدالاسلام، احمدی، میرخالق ضیاءتبار، حبیب نژادروشن، محمود، مساعدی، ابوالفضل و کریم سلیمانی، ۱۳۸۳، بهینه‌سازی رابطه دبی آب و رسوب در حوضه معرف امامه، جنگل و مرتع، شماره ۶۵، صص ۴۰-۳۰.
- رضایی‌بنفشه، مجید و رضا عابدی، ۱۳۹۴، تحلیل روابط حاکم بر بارش، دبی جریان و دبی رسوب حوضه آبریز ليقوان چای (با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک در بازه‌ی زمانی فصلی)، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۴، صص ۷۷-۵۷.
- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۷۵، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، صص ۵۵۱.
- فیض‌نیا، سادات، مجدآبادی فراهانی، فرهاد، محسنی‌ساروی، محسن و محمود عرب‌خدری، ۱۳۸۱، طول دوره آماری مناسب برای برآورد میانگین رسوب سالانه و روابط آن با مساحت، تغییرات رسوبدهی سالانه، خصوصیات اقلیمی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی حوضه آبخیز، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۳، صص ۱۶-۳.
- محمدی، امین، مساعدی، ابوالفضل و علی حشمت‌پور، ۱۳۸۶، تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانه گرگانرود، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد ۱۴، شماره ۴، صص ۲۴۰-۲۳۲.
- مساعدی، ابوالفضل، محمدی، امین، نجفی‌نژاد، علی و فرهاد یغمایی، ۱۳۸۵، بهینه‌سازی روابط دبی جریان و دبی رسوب معلق در ایستگاه‌های منتخب رودخانه گرگانرود، منابع طبیعی ایران، جلد ۵۹، شماره ۲، صص ۳۴۲-۳۳۱.
- مصطفی‌زاده، رئوف، وفاخواه، مهدی و محسن ذبیحی، ۱۳۹۴، تحلیل الگوی وقوع ماه‌های پرباران و کم‌باران در استان گلستان با استفاده از روش آنالیز توانی، اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۴، صص ۴۴۳-۴۲۹.
- Arnild, J.G., 1999, *Water resources of the Texas Gulf Basin, Water Science and Technology*, pp. 121- 133.

- Asselman, M.E.M., 2002, *Fitting and interpretation of sediment rating curves*, *Journal of Hydrology*, Vol. 234, No. 4, pp. 228-248.
- Behboodian, J., 2009, *Non Parametric Statistics, Fifth edition*, Shiraz University press, 280 pp. (In Persian)
- Bordi, I., Fraedrich, K., Jiang, J., and Sutera, A., 2004, *Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eastern China*, *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 79, No. (1-2), pp. 81-91.
- Cindric, K., Pasarić, Z., and Gajic-Capka, M., 2010, *Spatial and temporal analysis of dry spells in Croatia*, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 102, No. (1-2), pp. 171-184.
- Crawford, C.G., 1991, *Estimation of suspended sediment rating curves and mean suspended sediment load*, *Journal of Hydrology*, Vol. 129, pp. 331-348.
- Crowder, D., Demissie, W., and Markus, M., 2007, *The accuracy of sediment load when log-transformation produces nonlinear sediment load-discharge relationship*, *Journal of Hydrology*, Vol. 336, pp. 250-268.
- Fleming, G., 1979, *Deterministic model in hydrology*, *Irrigation and Drainage paper*, PP. 32-80.
- Herbst, P.H., Bredenkamp, D.B., and Barker, H.M.G., 1966, *A technique for the evaluation of drought from rainfall data*, *Journal of Hydrology*, No. 4, pp. 264-272.
- Hu, B., Wang, H., Yang, Z., and Sun, X., 2011, *Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications*, *Quaternary International*, Vol. 230, pp. 34-43.
- Khodjeini, A., and Hashemi Nejad, M., 1988, *Study of suspended sediment yield in Taleghan basin, Pajohesh & Sazandegi*, Vol. 11, No. 2, pp. 10-13. (In Persian)
- Mishra, A.K., and Singh, V.P., 2010, *A review of drought concepts*, *Journal of Hydrology*, Vol. 39, pp. 202-216.
- Mohamadi, A., Mosaedi, A., and Heshmatpour, A., 2007, *Determination of the best model to estimate suspended sediment load in Ghazaghli gauge station Gorganroud river*, *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*, Vol. 14, No. 4, pp. 232-240. (In Persian).
- Popolawski, W.A., Piorewicz, J., and Gourlay, M.R., 1989, *Sediment transport in an Inland river in North Queensland*, *Hydrobiology*, pp. 77-92.
- Robert, B.T., 1985, *Estimating total suspended sediment yield with probability sampling*, *Water Resources Research*, Vol. 21, No. 9, pp. 1381-1388.
- Sen, Z., 2008, *Wadi Hydrology*, CRC Press, Taylor and Francis Group, pp. 347.
- Walling, D.E., 1978, *Suspended sediment and solute response characteristics of the river Exe, Devon, England*. In: Davidson Arnott R., Nickling W. (Eds.), *Research in fluvial systems*. Geoabstracts, Norwich, pp. 169-197.
- Wang, S., Yan, Y., and Li, Y., 2012, *Spatial and temporal variations of suspended sediment deposition in the alluvial reach of the upper Yellow River from 1952 to 2007*, *Catena*, Vol. 92, pp. 30-37.
- Wenfeng, D., and Kateb, H.E., 2011, *Annual discharge and sediment load variation in Jialing River during the Past 50 Years*, *Journal of Mountain Science*, No. 8, pp. 664-676.
- Yevjevich, V., 1967, *An objective approach to definition and investigations of continental hydrologic droughts*, *Hydrology papers*, Colorado State University, Fort Collins, USA, pp. 23.
- Yildiz, O., 2014, *Spatiotemporal analysis of historical droughts in the Central Anatolia, Turkey*, *Gazi University Journal of Science*, Vol. 27, No. 4, pp. 1177-1184.