

# تحلیل مکانی و زمانی رسوب معلق در حوزه آبریز قره سو

دکتر منوچهر فرج زاده<sup>1</sup>، مرتضی قره چورلو<sup>2</sup>

## چکیده

تحقیق حاضر با هدف برآورد بار رسوب معلق حوزه‌ها با استفاده از عوامل هیدروکلیمایی و نیز تعیین الگوی تغییرات مکانی و زمانی رسوب در حوزه آبریز قره‌سو واقع در استان اردبیل صورت پذیرفت. برای انجام این تحقیق از داده‌های 7 ایستگاه باران‌سنجی و هیدرومتری هم نام طی یک دوره 22 ساله استفاده گردید. روش تحقیق مبتنی بر تحلیل‌های آماری رگرسیونی بین متغیرهای بارش، دبی و رسوب در محیط نرم افزار SPSS بود و مدل‌های بهینه با توجه به روابط همبستگی بالا و معنی داری قابل قبول استخراج گردید. نتایج حاصله حاکی از همبستگی بسیار ضعیف متغیر بارش متوسط با متوسط رسوب معلق در ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. در مقابل متغیر دبی همبستگی متوسط و معنی داری با میزان رسوب معلق داشت و در بهترین حالت بیش از 52 درصد تغییرات رسوب دهی را تبیین نمود. نتایج تغییرات مکانی رسوب نشان داد که ایستگاه دوست بیگلو با متوسط سالانه رسوب 1749/79 تن در روز بیشترین و ایستگاه لای با متوسط سالانه رسوب 1/7 تن در روز کمترین میزان رسوب دهی را در حوزه مورد مطالعه داشتند. تغییرات زمانی رسوب نشان دهنده بیشترین میزان رسوب در فروردین ماه و کمترین آن در مردادماه بود. از طرفی تغییرات سالانه رسوب در ایستگاه‌های لای و پل سلطانی با روند افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها با روند کاهشی رو به رو بود، در حالی که روندهای دبی تنها در ایستگاه لای حالت افزایشی را نشان می‌داد. در این میان تغییرات سالانه بارش به غیر از ایستگاه سامیان در سایر ایستگاه‌ها روند افزایشی را نشان داده و نا هم‌سویی زیادی با روندهای رسوب و دبی از این لحاظ داشت.

## کلمات کلیدی:

رسوب معلق، تغییرات زمانی - مکانی، تحلیل رگرسیونی، هیدروکلیماتیک، قره‌سو.

1- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس [farajzam@modares.ac.ir](mailto:farajzam@modares.ac.ir).

2- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی از دانشگاه تربیت مدرس [M.sunrise87@yahoo.com](mailto:M.sunrise87@yahoo.com).

## **Analysis of the Spatial and Temporal Suspended sediment of Qarahsu Drainage Basin**

**Farajzadeh M<sup>1</sup>, Garahchorlo M<sup>2</sup>**

### **Abstract**

This study is aimed at estimating suspended sediment load in watersheds using hydro-climatic factors with the intent to determine spatial and temporal variations of sediment yield in Qarah Su drainage basin, Ardebil Province. For this study, data from seven rain gauge and hydrometric stations during a 22-year period were used. The research was based on statistical regression analysis between variables of precipitation, discharge and sediment load using SPSS software, extracting optimal model according to high correlation and acceptable significance. The results indicated very poor correlation between the mean rainfall and mean suspended sediment load in the studied stations. In contrast, discharge showed moderate and significant correlation with the suspended sediment load, which in the best condition, it explained 52% of the precipitation variations. Results of spatial variations showed that Dostbaglu station with average annual sediment load of 1749/79 tons per day had the maximum sediment yield. Lay station with an average annual sediment load of 1/7 ton per day had the minimum sediment yield in the studied basin. Temporal variations showed the highest sediment load rate in April and the in July. Variations in annual sediment load have an increasing trend in Lay and Pole Soltani stations, whereas other stations have a decreasing trend. The discharge trends showed an increasing mode only in Lay station. Meanwhile, with the exception of the Samian station, variations in annual precipitation in the stations showed increasing trend, which has considerable difference with the trends of sediment load and discharge.

### **Key words:**

Suspended sediment, Hydroclimatic, Spatial-temporal variations, Regression analysis, Qarahsu.

1--Associated Professor of Tarbiat Modares University, [farajzam@modares.ac.ir](mailto:farajzam@modares.ac.ir).

2- Masters of Geomorphology from Tarbiat Modares University

## مقدمه

در قرن اخیر، پدیده فرسایش خاک و انتقال رسوب برای جامعه بشری مسائل و مشکلات زیادی به وجود آورده است، به طوری که تجزیه و تحلیل آن و پیدا کردن راه حل‌های سریع و به موقع مستلزم تحقیقات دامنه داری در سطح جهان است (شعبانی و همکاران، 1386). هر ساله بالغ بر 20 میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان حمل می‌شود که بخش عمده آن را رسوبات معلق تشکیل می‌دهد (معمد وزیری و همکاران، 1388). رسوب‌های حمل شده توسط رودخانه مشکلات زیادی از جمله رسوب گذاری در مخازن سدها و کاهش حجم مفید آنها، تغییر مسیر رودخانه به دلیل رسوب گذاری در بستر آنها، کاهش ظرفیت عبور آبراهه‌ها و تأسیسات انتقال آب و تغییر کیفیت آب به لحاظ کاربردهای آشامیدنی و کشاورزی را به وجود می‌آورند (فیض نیا و همکاران، 1386). از طرفی برآورد مقدار رسوب در پروژه‌های حفاظت خاک، طراحی و اجرای سازه‌های آبی، آبخیزداری و نیز بهره برداری از منابع آب از اهمیت به سزایی برخوردار است (جلالی و همکاران، 1386). متأسفانه به دلیل شرایط آب و هوایی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی و فشار بیش از حد به اراضی حوزه‌های آبخیز، رودخانه‌های کشور ما در مقایسه با رودخانه‌های جهان رسوب بیشتری را حمل می‌کنند (مساعدی و همکاران، 1385) و سالانه بیش از 100 میلیون متر مکعب از گنجایش مفید سدها بر اثر انباشته شدن رسوبات کاسته می‌شود (موسوی و همکاران، 1385).

پدیده‌های فرسایش و انتقال رسوب در آبراهه‌ها و رودخانه‌ها از پیچیده ترین مباحث حوزه‌های آبخیز می‌باشند (جلالی و همکاران، 1386). بی گمان با توجه به تعدد و تغییرات فراوان عوامل دخیل در ایجاد فرسایش و تخریب، حتی در یک حوزه کوچک، قانونمند کردن طبیعت و روش‌های بررسی بسیار مشکل است یعنی همانند آنچه در علوم پایه مانند ریاضی، فیزیک و شیمی وجود دارد، مباحث علوم کاربردی به ویژه طبیعی را نمی‌توان در قالب فرمول‌های غیر قابل تغییر بیان کرد، ولی می‌توان قوانین حاکم را در قالب رابطه آماری نمایش داد و عوامل اصلی در تولید فرسایش و رسوب یک حوزه را مشخص کرد. این کار به برنامه ریزی‌های بهتر برای کاهش خسارات ناشی از فرسایش و رسوب در یک حوزه کمک می‌کند (شعبانی و همکاران، 1386). در این میان بایستی توجه داشت که 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 تصمیم گیری و قضاوت نادرست و غیر واقعی در مورد رفتار فرسایش و رسوب در برنامه ریزی و عملیات اجرایی حوزه‌های آبخیز گردد (وروانی و همکاران، 1386).

مطالعات فراوانی برای شرح تغییرات بار رسوبی توسط اثرات ترکیبی خصوصیات مختلف حوضه زهکشی در

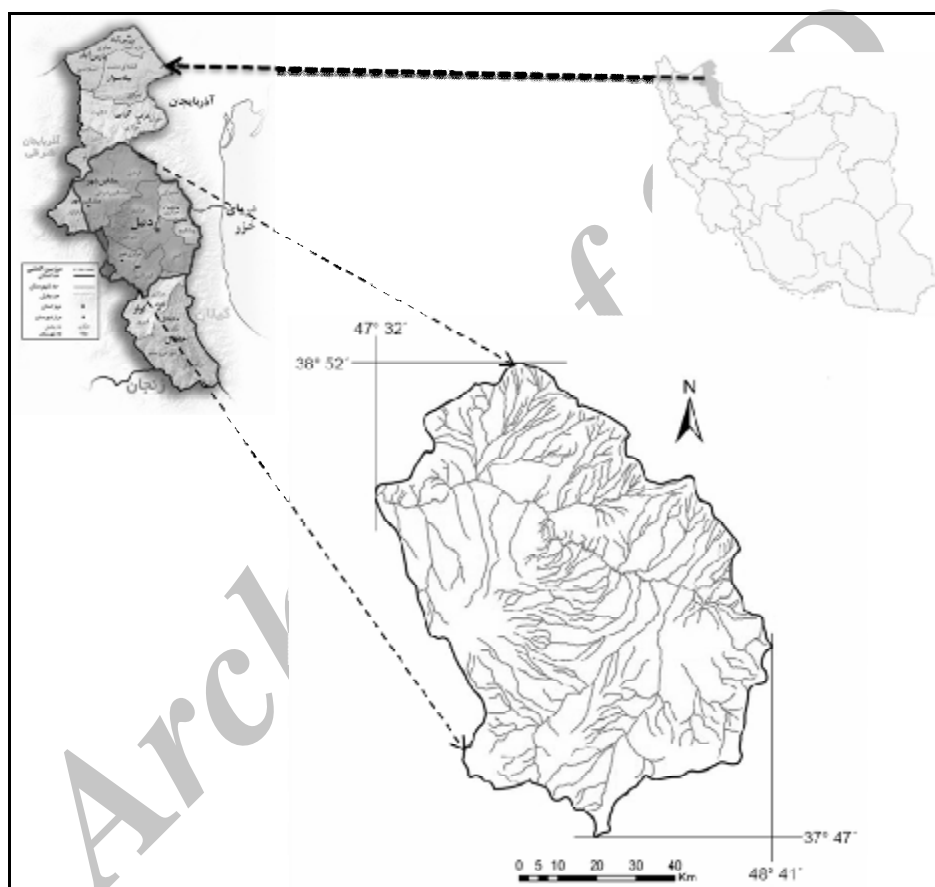
سراسر جهان انجام شده که این روابط عموماً به صورت مدل‌های رگرسیونی چند متغیره یگانه یا چند گانه بیان می‌شوند (خداشناس و همکاران، 1387). از بین تحقیقات خارجی می‌توان از Branson و Owen (1970)، Jansen و Painter (1979)، کلو و والینگ (1983: به نقل از همتی و همکاران)، Ferraresi (1990)، Bray و Xie (1993)، Colvo و همکاران (1997)، Verstraeten و Poesen (2001)، Sanjay و همکاران (2003)، Restrepo و همکاران (2006)، Grauso و همکاران (2007)، Trambly و همکاران (2008)، Walling (2008)، Restrepo و همکاران (2009)، Roman و همکاران (2010) نام برد و در بین محققین داخلی می‌توان به مطالعات عرب خدری و زرگر (1374)، میرابوالقاسمی و مرید (1374)، قدیمی عروس محله (1378)، همتی و همکاران (1380)، وروانی و همکاران (1381) آقا بیگی (1384) ثقفیان و همکاران (1384) حکیم خانی و عرب خدری (1385) صادقی و همکاران (1385) شعبانی و همکاران (1386) معظمی و فیض نیا (1386) خداشناس و همکاران (1387) اشاره نمود. پیداست که با در نظر گرفتن خصوصیات متفاوت حوزه‌های آبریز از برخی جهات و نیز رویکردهای مختلف محققین در زمینه برآورد رسوب با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، معادلات ارائه شده بیشتر برای منطقه مورد مطالعه کاربرد داشته و در هر حوزه منطقه ای بایستی به ایجاد روابط خاص آن منطقه اقدام نمود. از طرفی آنچه که در بین این تحقیقات و مطالعات به خصوص در داخل کشور خلا آن بیشتر احساس می‌گردد از یک سو موضوع تغییرات زمانی رسوب دهی حوزه‌ها به ویژه در بلند مدت و متعاقب آن تعیین روندهای مربوطه است که برنامه ریزی و مدیریت حوزه‌ها را با توجه به آینده یاری خواهد نمود و از سوی دیگر مبحث تغییرات مکانی - فضایی میزان بار رسوبی حوزه‌های آبخیز می‌باشد که در این زمینه جهت درک بهتر تغییرات مکانی - فضایی میزان بار رسوبی حوزه‌ها، تهیه نقشه پراکنش مکانی بار رسوبی حوزه‌ها ضروری می‌نماید. از جمله کارهای تحقیقی معدودی که در این زمینه انجام گردیده است می‌توان به Lajczak و Jansson (1993)، Bobrovistkaya و همکاران (2003)، Yang و همکاران (2004)، Lecce و همکاران (2006) در خارج کشور و میرابوالقاسمی و مرید (1374)، آقا بیگی (1384)، تلوری و همکاران (1386) در داخل کشور اشاره کرد که در بیشتر این تحقیقات بعد تغییرات زمانی مد نظر قرار گرفته است.

با در نظر گرفتن موارد فوق و با محور قرار دادن عوامل مؤثر بر رسوب دهی و همچنین تعیین تغییرات زمانی - مکانی بار رسوب معلق در داخل حوزه‌ها، تحقیق حاضر با هدف تشخیص، تعیین و شناساندن روابط متغیرهای بارش و دبی با میزان بار رسوب معلق رودخانه‌ها از یک سو و تغییرات زمانی - مکانی رسوب دهی آنها از سوی دیگر انجام یافته است.

## 2- مواد و روش‌ها

## 2-1- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز قره سو به عنوان یکی از زیرحوزه‌های حوزه آبریز ارس در مختصات جغرافیایی  $32^{\circ} 47'$  تا  $41^{\circ} 48'$  طول شرقی و  $37^{\circ} 47'$  تا  $52^{\circ} 38'$  عرض شمالی واقع گردیده است. این حوزه با مساحت بالغ بر 7455 کیلومتر مربع قسمت مرکزی استان اردبیل را شامل شده و بخش کوچکی از آن نیز در محدوده استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. رشته صلوات در شمال، رشته کوه سبلان در غرب، رشته تالش در شرق و ادامه رشته بزغوش در جنوب آن را محدود کرده‌اند.



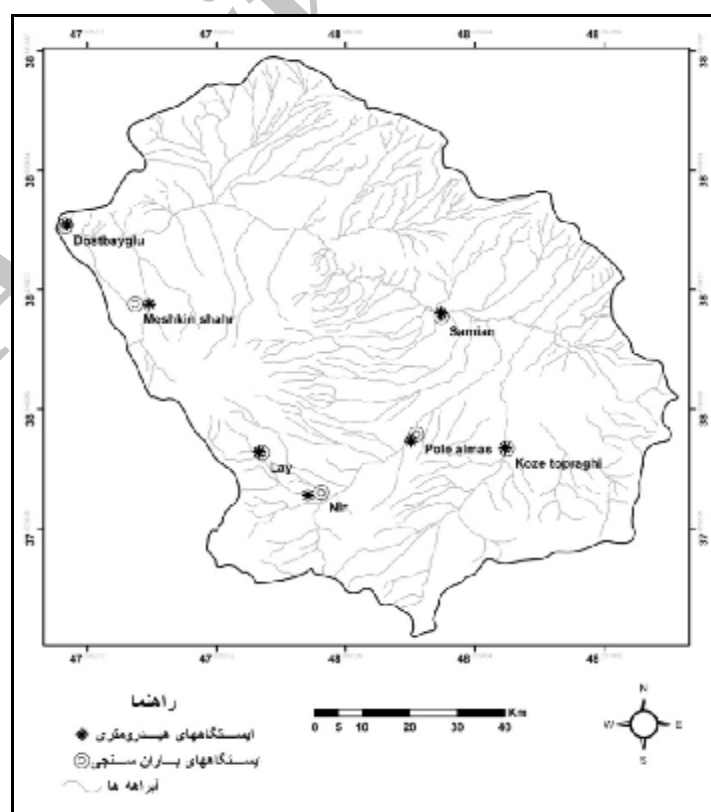
شکل 1- نقشه موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز قره سو

اختلاف ارتفاع بین پست ترین (760 متر از سطح دریا) و بلندترین نقطه آن (4800 متر از سطح دریا) برابر با 4040 متر می‌باشد که مسلماً این عامل تأثیر قابل توجهی بر شرایط بیوکلیمایی و تنوع زیستی در منطقه مورد مطالعه می‌تواند داشته باشد. میزان ارتفاع از سطح دریا و جهت قرار گیری ارتفاعات غربی و شرقی در مقابل جریانات باران آور از یک طرف سبب افزایش بارندگی در ایستگاه‌های رو به باد گشته و از طرف دیگر مانع نفوذ رطوبت به ایستگاه‌های داخلی می‌گردد (مجیدپور، 1381). بیشینه بارندگی فصلی حوزه مورد مطالعه به تبعیت از

بارندگی‌های آذربایجان در فصل بهار اتفاق می‌افتد و کمینه بارندگی فصلی حوزه مربوط به فصل تابستان می‌باشد. در کل حوزه قره سو یک سیستم برفی - سیلابی است و مقدار زیادی از آب رودخانه‌ها، حاصل ذوب برفی است که در فصل زمستان تا اواخر فروردین ماه در ارتفاعات انباشته شده است که این انبار بزرگ آبی در تابستان به تدریج ذوب گشته و در رودخانه‌ها جریان می‌یابد (مهندسین مشاور بوم آباد، 1376).

## 2-2- داده‌ها و روش تحقیق

در این مطالعه از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و باران سنجی اخذ شده از سازمان مدیریت منابع آب ایران و همچنین سازمان آب منطقه ای استان اردبیل استفاده گردید. در انتخاب ایستگاه‌ها، اولویت با آمار بلند مدت و کامل نمونه‌برداری‌های رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری بوده و ایستگاه‌های باران سنجی نیز بر این اساس منطبق گردید. ایستگاه‌های منتخب شامل 7 ایستگاه همانام (به غیر از ایستگاه پل سلطانی) به اسامی پل الماس، پل سلطانی، دوست بیگلو، سامیان، کوزه تپراقی، لای و نیر بودند که موقعیت آنها در شکل شماره 2 مشخص شده است. دوره زمانی مشترک مورد استفاده در این تحقیق یک دوره 22 ساله از سال آبی 64-65 تا سال آبی 85-86 را شامل می‌شود که در انتخاب این پایه زمانی مشترک معیارهای کامل بودن، طول کافی داده‌ها و استفاده از آخرین داده‌های در دسترس مد نظر قرار گرفت. عرب خدری و حکیم خانی (1385) بر این عقیده‌اند که 20 سال آمار رسوب می‌تواند تقریباً معرف تمام تغییرات اقلیمی و در نتیجه تغییرات رسوب باشد.



شکل 2- موقعیت ایستگاه‌های منتخب حوزه قره سو

در انجام تجزیه و تحلیل‌ها و اخذ نتایج مربوطه از نرم افزارهای ArcGIS 9.3، Excell و SPSS بهره گرفته شد. بدین ترتیب که برقراری ارتباط بین متغیرها و ایجاد مدل‌های برآورد رسوب در قالب تحلیل رگرسیونی دو متغیره و چند متغیره به روش جبری در محیط نرم افزاری SPSS صورت گرفت، نمایش تغییرات زمانی و کشف روندهای متغیرها در قالب نمودارهای توالی زمانی در محیط نرم افزاری Excel میسر گردیده و در نهایت جهت نمایش تغییرات مکانی رسوب به صورت نقشه از قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید.

در راستای اهداف تحقیق ابتدا تحلیل‌های آماری متغیرهای بارش، دبی و رسوب و نتایج به دست آمده از تغییرات زمانی و مکانی آنها به ترتیب در قالب جداول و نمودارهای مربوطه آورده شده و سپس به بررسی روابط رگرسیونی متغیرهای بارش و دبی با میزان رسوب دهی ایستگاه‌های نمونه پرداخته شده است. هر چند که تفاوت‌ها و تشابهات موجود در تغییرات زمانی متغیرها نیز به گونه ای می‌تواند گویای چگونگی ارتباط میان متغیرها باشد.

### 3- نتایج و بحث

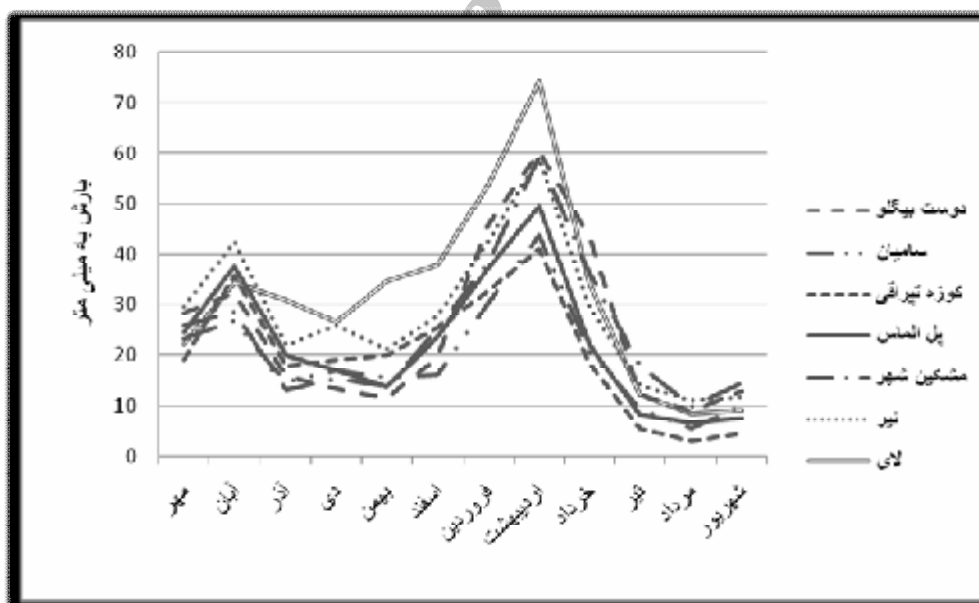
#### 3-1- تحلیل تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای بارش، دبی و رسوب

##### الف- تغییرات زمانی - مکانی بارش

همان طور که از مقادیر جدول شماره 1 و همچنین شکل شماره 2 پیداست در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین بارندگی در ماه اردیبهشت رخ داده است که بالاترین بارندگی این ماه در ایستگاه لای با 74/1 میلی متر و پایین ترین آن در ایستگاه کوزه تپراقی با 41 میلی متر مشاهده می‌شود. بارش بیشتر این ماه نسبت به ماه‌های دیگر به دلیل فعالیت سامانه‌های غربی و وجود منبع رطوبتی دریای مدیترانه و نیز عامل همرفت دامنه ای در فصل بهار می‌باشد که شرایط را برای وقوع بیشینه بارش ماهانه در آذربایجان فراهم می‌آورد (علیچانی، 1385). در مقابل مرداد ماه به خصوص به دلیل نبود منابع رطوبتی کمترین بارندگی را داشته است که کمترین بارندگی این ماه به ایستگاه کوزه تپراقی با 2/8 میلی متر و بیشترین آن به ایستگاه نیر با 11 میلی متر اختصاص دارد. بیشترین اختلاف مابین پرباران ترین و کم باران ترین ماه (دامنه تغییرات) مربوط به ایستگاه لای با 65/8 میلی متر می‌باشد در حالی که ایستگاه‌های کوزه تپراقی و سامیان به ترتیب با 38/2 و 38/3 میلی متر کمترین اختلاف را از این لحاظ دارا هستند. این موضوع می‌تواند ناشی از عامل ارتفاع و نیز فاصله از کوه بوده و نشانگر تأثیر عوامل محلی در مقادیر بیشینه و کمینه بارش ماهانه باشد. همبستگی میزان بارش سالانه ایستگاه‌ها با ارتفاع آنها در جدول شماره 1 پیداست. رضایی بنفشه (1382) نیز طی مطالعه خود به این نتیجه رسید که نقش عوامل محلی در رژیم بارندگی حوزه مشهود می‌باشد.

جدول (1): توزیع بارش ماهانه (به میلی متر) در ایستگاه‌های منتخب حوزه آبریز قره سو (1385 - 1364)

ماهها	ایستگاه‌های باران سنجی									
	لاي	نير	مشكين شهر	پل الماس	کوزه تپراقی	سامیان	دوست بیگلر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
مهر	21,9	29,6	25,8	24,4	19,1	23,3	28,3	24,6	3,64	0,15
آبان	34,2	42,5	28,7	37,7	35,7	26,7	32,1	33,9	5,38	0,16
آذر	30,7	21,9	13,1	20,0	17,8	14,7	15,7	19,1	5,94	0,31
دی	26,4	25,8	15,4	17,0	19,1	17,1	13,2	19,1	5,08	0,27
بهمن	34,4	21,2	13,8	13,7	19,9	15,5	11,4	18,6	7,82	0,42
اسفند	37,7	27,7	25,2	23,4	25,2	16,1	19,4	25,0	6,85	0,27
فروردین	53,6	42,8	38,6	37,3	32,6	30,4	45,8	40,2	7,98	0,20
اردیبهشت	74,1	58,9	59,2	49,5	41,0	43,7	60,2	55,2	11,39	0,21
خرداد	34,1	29,5	36,2	22,1	18,2	20,7	43,4	29,2	9,29	0,32
تیر	12,0	14,0	18,0	8,2	5,3	9,3	12,1	11,3	4,14	0,37
مرداد	8,3	11,0	9,8	6,5	2,8	5,4	8,8	7,5	2,81	0,37
شهریور	9,0	11,7	14,4	7,4	4,5	10,0	12,8	10,0	3,37	0,34
مجموع	376,5	336,6	298,3	267,2	241,2	232,8	303,2	293,6	51,6	0,28
دامنه تغییرات	65,8	47,9	49,4	43	38,2	38,3	51,4	47,7	-	-
انحراف معیار	13,71	16,76	10,54	12,19	13,43	14,29	14,23	18,85	-	-
ارتفاع	2038	1623	1485	1480	1402	1286	816	1433,78	-	-



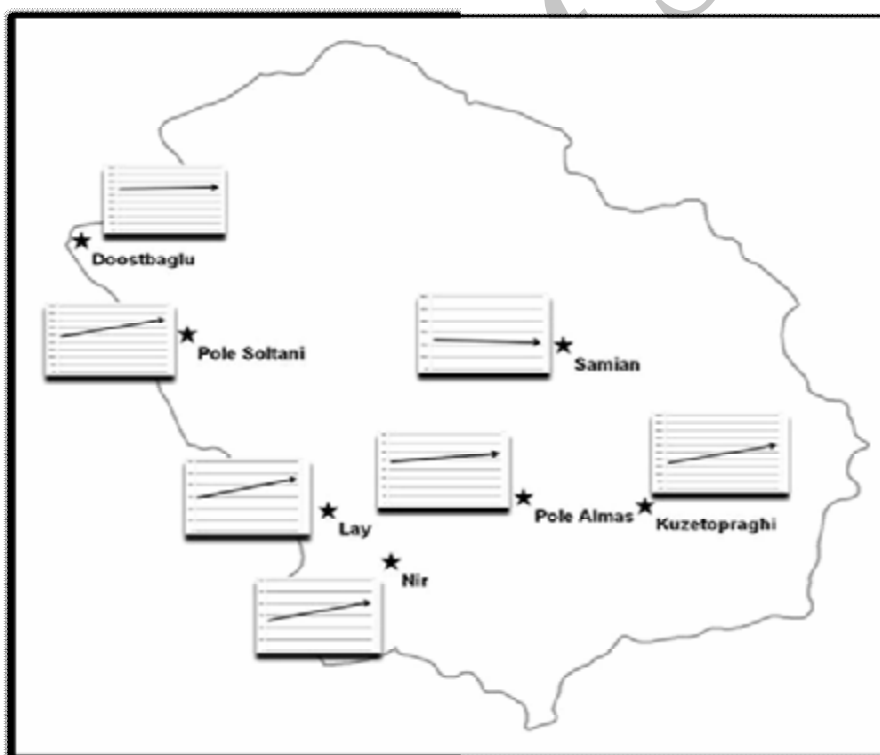
شکل 3- نمودار توزیع بارش‌های ماهانه در ایستگاه‌های منتخب حوزه قره سو (1385 - 1364)

با توجه به بیشینه بارش ماهانه ایستگاه‌ها در ماه اردیبهشت و کمینه آن در مردادماه حداکثر انحراف معیار متوسط بارش ماهانه حوزه نیز در اردیبهشت ماه (11/39) و حداقل آن در مردادماه (2/81) دیده می‌شود. از طرفی نظر بر ضریب تغییرات بارندگی‌های متوسط ماهانه حوزه نشان می‌دهد که ماه‌های مهر و آبان با اختلاف اندک از



هم به ترتیب با ضریب تغییرات 15 و 16 درصد، بیشترین ثبات در وقوع بارش‌های ماهانه حوزه را داشته و در مقابل بهمن ماه با ضریب تغییرات 42 درصد کمترین نظم و ثبات را از این لحاظ دارد. آنچه که از مقایسه مجموع بارش‌های ماهانه در ایستگاه‌های منتخب حاصل می‌شود نشان دهنده بیشترین بارندگی سالانه در ایستگاه لای با میانگین بارش سالانه 376/5 میلی متر و کمترین بارندگی سالانه در ایستگاه سامیان با متوسط بارش سالانه 232/8 میلی متر می‌باشد.

در ادامه تغییرات زمانی بارش، با استفاده از نمودارهای توالی زمانی بارش در ایستگاه‌های منتخب، روندهای زمانی بدست آمده از این نوسانات سالانه طی 22 سال آماری بر روی محدوده حوزه به نمایش درآمد (شکل 4). با توجه به نقشه فوق به غیر از ایستگاه سامیان که روند نزولی را نشان می‌دهد، در سایر ایستگاه‌ها با سیر افزایشی بارش رو به رو هستیم. در این بین شیب صعودی روند بارش در ایستگاه دوست بیگلو به نسبت سایر ایستگاه‌ها ملایم تر بوده و احتمال تغییر روند بارش سالانه در آینده در این ایستگاه بیشتر می‌باشد.



شکل 4- نقشه تغییرات مکانی روندهای بارش سالانه در ایستگاه‌های نمونه حوزه قره سو (1385 - 1364)

### ب - تغییرات زمانی - مکانی دبی

نتایج حاصل از تغییرات دبی ماهانه (جدول 2) در ایستگاه‌های نمونه نشان می‌دهد کمترین دبی متوسط سالانه مربوط به ایستگاه لای با 1/12 متر مکعب بر ثانیه و بیشترین آن مربوط به ایستگاه دوست بیگلو با 6/96 متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. ایستگاه لای کوچک ترین زیرحوزه از لحاظ مساحت بوده و ایستگاه دوست بیگلو به عنوان نقطه

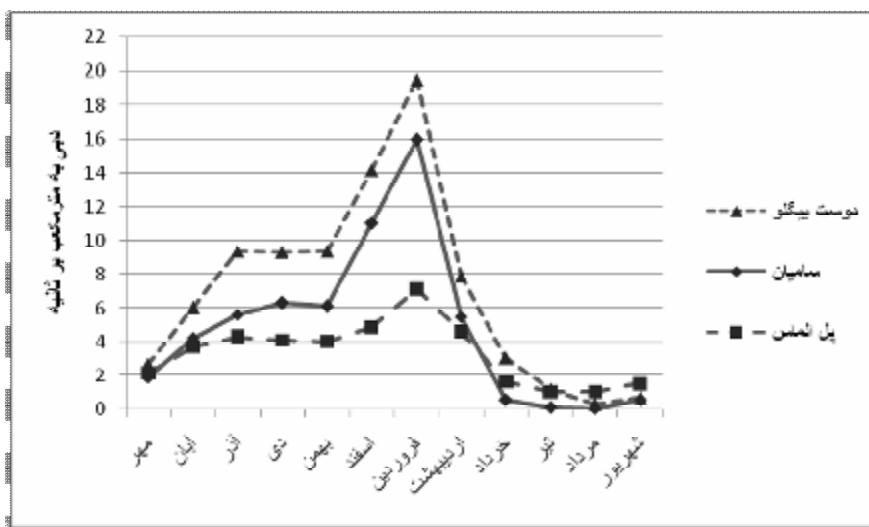
خروجی حوزه محسوب می‌شود. بیشترین دامنه تغییرات آب دهی ماهانه مربوط به ایستگاه دوست بیگلو با 19/21 متر مکعب بر ثانیه و کم‌ترین آن متعلق به ایستگاه لای با 0/08. متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. به همان منوال دبی ماهانه ایستگاه دوست بیگلو بیشترین انحراف معیار برابر با رقم 55/88 و ایستگاه لای کمترین انحراف معیار دبی ماهانه را برابر با رقم 0/03. دارد. اما آنچه که از ارقام میانگین کل تعمیم یافته برای کل حوزه بر می‌آید نشان دهنده بیشترین آب دهی در ماه فروردین با متوسط 7/01 متر مکعب بر ثانیه و کمترین آب دهی در مرداد ماه با متوسط 1/29. متر مکعب بر ثانیه است. حد اکثر انحراف معیار دبی ماهانه نیز در ماه فروردین با رقم 7/74 و حداقل آن در مرداد ماه با رقم 0/38. به چشم می‌خورد. از طرفی مقادیر ضریب تغییرات حاکی از بیشترین ناهمگنی و بی‌نظمی دبی ماهانه در ماه مرداد برابر با 131 درصد و کمترین ناهمگنی دبی ماهانه در اردیبهشت ماه برابر با 91 درصد است. در کل بی‌نظمی رژیم آب دهی ماهانه در حوزه و عدم اعتماد به تأمین آب مورد نیاز در طول ماه‌های مختلف سال محرز است.

جدول (2): توزیع دبی ماهانه (به متر مکعب بر ثانیه) در ایستگاه‌های منتخب حوزه قره سو (1364-1385)

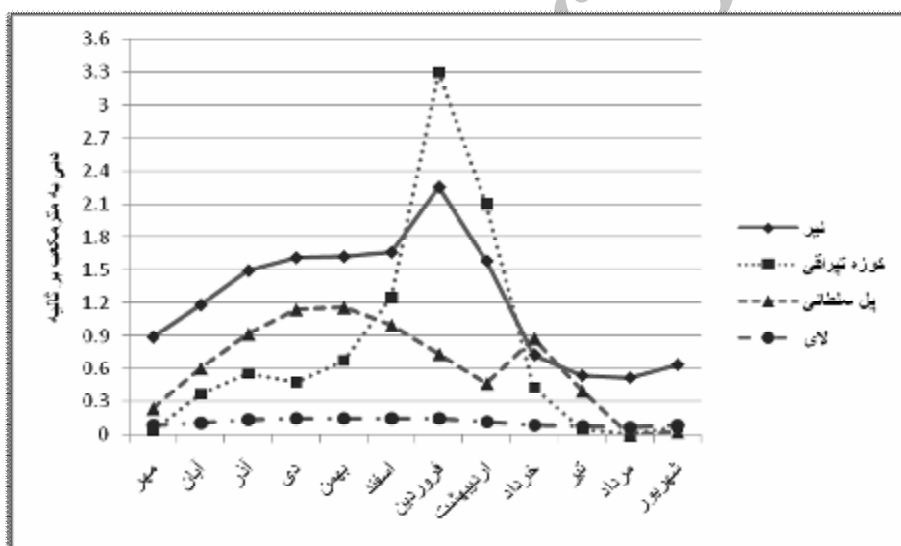
ماهها	ایستگاه‌های هیدرومتری								ضریب تغییرات	
	لای	نیر	پل سلطانی	پل الماس	کوزه تپراقی	سامیان	دوست بیگلو	میانگین		
مهر	0,09	0,89	0,24	2,15	0,04	1,89	2,64	1,13	1,08	0,95
آبان	0,11	1,18	0,61	3,70	0,37	4,26	6,06	2,33	2,33	1
آذر	0,14	1,49	0,92	4,33	0,56	5,62	9,37	3,20	3,41	1,06
دی	0,15	1,61	1,14	4,10	0,48	6,31	9,31	3,30	3,45	1,04
بهمن	0,15	1,62	1,16	4,04	0,68	6,12	9,38	3,31	3,41	1,03
اسفند	0,15	1,66	1,00	4,90	1,25	11,00	14,18	4,88	5,55	1,14
فروردین	0,14	2,25	0,74	7,13	3,30	15,96	19,52	7,01	7,74	1,10
اردیبهشت	0,12	1,58	0,47	4,63	2,10	5,49	7,88	3,18	2,88	0,91
خرداد	0,09	0,73	0,88	1,61	0,43	0,59	3,04	1,05	0,99	0,94
تیر	0,08	0,54	0,40	1,04	0,05	0,10	1,15	0,48	0,46	0,96
مرداد	0,07	0,52	0,002	1,03	0,01	0,09	0,31	0,29	0,38	1,31
شهریور	0,09	0,64	0,03	1,53	0,07	0,56	0,70	0,51	0,53	1,04
میانگین	0,12	1,23	0,63	3,34	0,79	4,83	6,96	2,6	2,53	0,97
دامنه تغییرات	0,08	1,73	1,16	6,10	3,29	15,87	19,21	6,72	-	-
انحراف معیار	0,03	0,56	0,40	1,88	1,00	4,83	5,88	2,00	-	-

با این که ارقام میانگین کل تعمیم یافته نشان دهنده بیشترین آب دهی ماهانه در فروردین ماه است در ایستگاه‌های پل سلطانی (مشکین شهر) و لای شاهد نتیجه دیگری هستیم که نشان از وقوع بیشترین دبی ماهانه ایستگاه‌های مذکور در فصل زمستان و ماه‌های دی و بهمن دارد. این امر می‌تواند ناشی از کوهستانی بودن

زیرحوزه‌های بالادست ایستگاه‌های مزبور و رژیم برفی - بارانی آنها باشد.



شکل 5- نمودار توزیع دبی‌های ماهانه در ایستگاه‌های دوست بیگلو، سامیان و پل الماس (1385 - 1364)

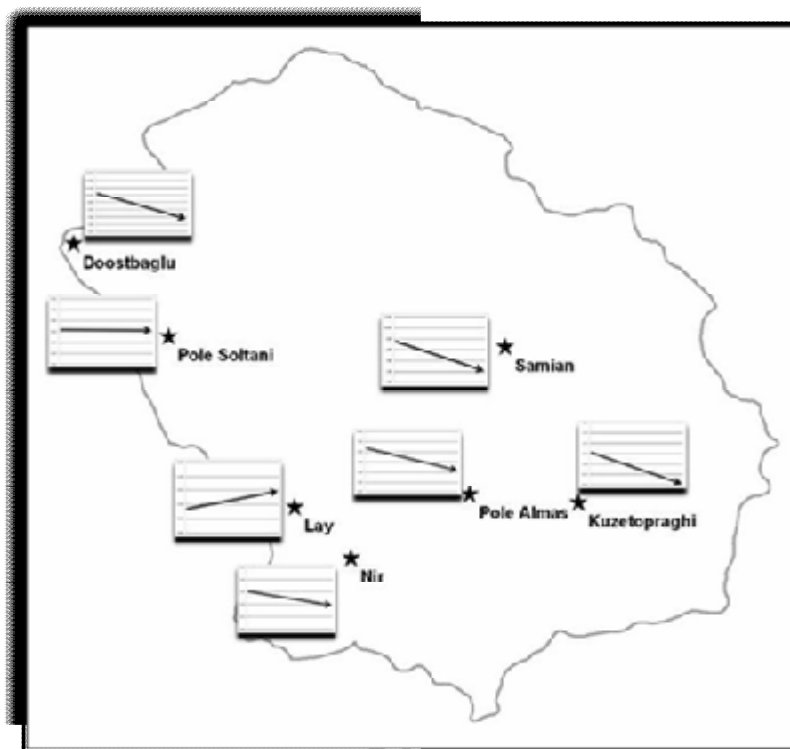


شکل 6- نمودار توزیع دبی‌های ماهانه در ایستگاه‌های نیر، کوزه تیراقي، پل سلطانی و لای (1385 - 1364)

اوج گیری ناگهانی آب‌دهی ماهانه در گذر از اسفند به فروردین و افت متقابل آن در گذر از فروردین به اردیبهشت به غیر از دو ایستگاه لای و پل سلطانی (به عنوان کم دبی ترین ایستگاه‌ها) قابل توجه می‌باشد (شکل‌های 5 و 6) و می‌تواند حاکی از عملکرد ذوب برف زمستانی و تغییرات دبی پایه باشد. در این بین بهره برداری‌های انسانی از منابع آب در فصل بهار نیز می‌تواند مزید بر علت باشد. از سوی دیگر اختلاف فاحشی بین میزان دبی ماه‌های آذر، دی و بهمن (ماه‌های سرد سال) با یکدیگر به خصوص در ایستگاه‌های با دبی زیاد دیده نمی‌شود.

و اما نتایج حاصل از بررسی نوسانات دبی سالانه در ایستگاه‌های نمونه حوزه قره سو (شکل 7) نشان می‌دهد

به غیر از ایستگاه لای که با روند افزایشی دبی سالانه روبروست در سایر ایستگاه‌ها، روند کاهش دبی سالانه مشاهده می‌شود. در این میان سیر کاهش دبی در ایستگاه پل سلطانی از شیب بسیار ملایمی برخوردار بوده و نزدیک به الگوی بی‌روندی است.



شکل 7- نقشه تغییرات مکانی روندهای دبی سالانه در ایستگاه‌های نمونه حوزه قره سو (1364 - 1385)

### ج - تغییرات زمانی - مکانی رسوب

در اندازه‌گیری بار رسوبی در مطالعات مربوط به فرسایش خاک موانع و محدودیت‌هایی وجود دارد که لازم است تشخیص داده شود. این موانع هم با معضلات اندازه‌گیری ارتباط دارد و هم در کنار آن به قابل اعتماد بودن داده‌ها و نیز به مشکلات مرتبط با تفسیر داده‌های حاصل مربوط می‌گردد. این موانع و مشکلات بر آگاهی ما از شدت فرسایش بالادست حوزه‌ها تأثیر فراوانی می‌گذارد (لال، 1383). در حوزه مورد مطالعه نمونه‌گیری‌های رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری در سال‌های مختلف از لحاظ پوشش دادن ماه‌ها با یکدیگر تفاوت زیادی داشتند، به طوری که در برخی از سال‌ها برای تمام 12 ماه سال، نمونه وجود داشت و در مقابل بعضی از سال‌های آماری تنها برای نصف ماه‌های سال نمونه داشتند. این موضوع بدون شک انجام تجزیه و تحلیل‌ها را با کاستی‌ها و مشکلاتی رو به رو می‌سازد.

به هر حال نتایج حاصل از تغییرات ماهانه رسوب‌دهی در ایستگاه‌های نمونه (جدول 3) حاکی از وقوع بیشترین بار رسوبی در ایستگاه دوست بیگلو با متوسط رسوب ماهانه 1626/43 تن در روز و کمترین آن در ایستگاه لای با

متوسط رسوب ماهانه  $1/92$  تن در روز می‌باشد. به همان ترتیب بیشترین اختلاف مابین حداکثر و حداقل رسوب در ماه‌های سال به ایستگاه دوست بیگلو به میزان  $4577/97$  تن در روز تعلق دارد و در مقابل ایستگاه لای کمترین تفاوت بین حداکثر و حداقل رسوب ماهانه را به میزان  $4/53$  تن در روز دارا می‌باشد. همانند نتایج بدست آمده برای میزان بار رسوبی ایستگاه‌ها و نیز شاخص دامنه تغییرات رسوب در ماه‌های مختلف، ایستگاه دوست بیگلو بیشینه انحراف معیار رسوب ماهانه را با رقم  $1426/45$  کسب نموده است و کمینه انحراف معیار رسوب متوسط ماهانه به ایستگاه لای با رقم  $1/36$  تعلق دارد. در واقع اختلاف بین کوچکترین زیرحوزه یعنی لای چای با کل حوزه به ازای ایستگاه دوست بیگلو در اینجا معلوم می‌گردد.

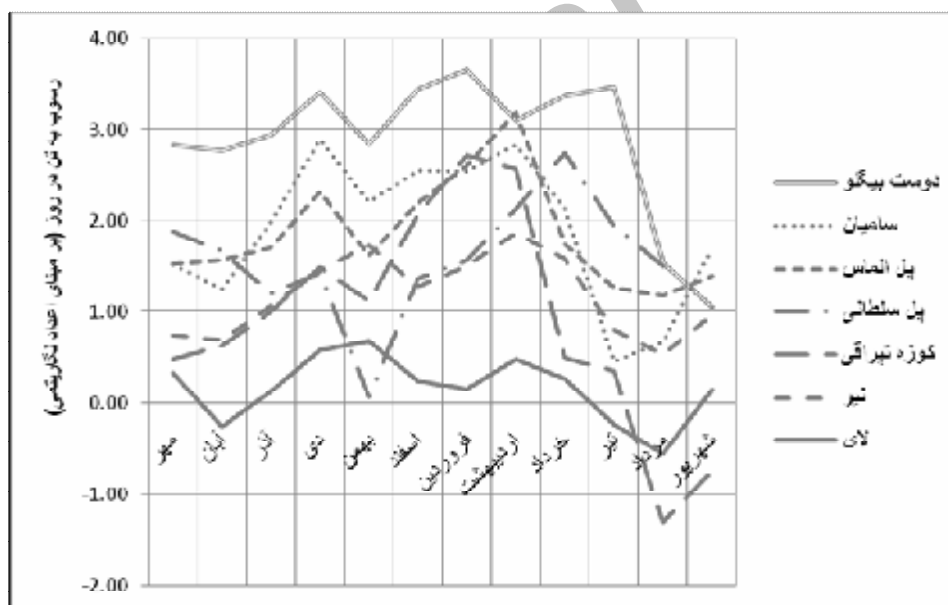
جدول (3): توزیع رسوب معلق ماهانه (تن در روز) در ایستگاه‌های منتخب حوزه آبریز قره سو (1364-1385)

ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	ایستگاه‌های هیدرومتری							ماهها
			دوست بیگلو	سامیان	کوزه تپراقی	پل الماس	پل سلطانی	نیر	لای	
2,09	243,51	116,79	665,92	32,25	3,06	33,89	74,75	5,49	2,16	مهر
2,16	214,85	99,24	548,90	17,73	4,29	36,61	45,73	4,88	0,56	آبان
2,12	316,25	149,39	862,87	93,34	10,21	50,55	15,89	11,55	1,34	آذر
1,83	961,52	525,60	2616,90	766,50	30,72	206,50	26,54	28,17	3,80	دی
1,82	249,88	137,44	690,75	158,24	13,03	41,12	1,16	52,95	4,81	بهمن
2,07	1037,08	501,06	2836,20	357,62	114,50	155,34	23,15	18,76	1,74	اسفند
1,97	1663,81	844,55	4589,30	344,42	512,75	396,17	36,67	31,09	1,45	فروردین
1,05	611,23	579,86	1262,80	672,63	368,56	1545,40	133,64	72,66	3,02	اردیبهشت
1,93	867,29	449,86	2366,90	132,56	3,14	54,47	552,79	37,27	1,89	خرداد
2,53	1124,71	444,67	2994,3	2,82	2,27	18,44	87,91	6,36	0,59	تیر
1,16	14,95	12,90	34,93	4,54	0,05	15,16	0,32	3,34	0,28	مرداد
1,14	18,17	15,87	11,32	48,21	0,18	24,98	-	9,15	1,38	شهریور
1,79	508,48	324,03	1626,43	219,24	88,56	214,91	90,77	23,47	1,92	میانگین
-	-	831,65	4577,98	763,73	512,70	1530,54	552,79	69,32	4,53	دامنه تغییرات
-	-	267,76	1426,45	263,67	170,29	433,75	152,03	21,94	1,36	انحراف معیار

ارقام به دست آمده برای میانگین کل حوزه نشان دهنده کمترین تجانس و همگونی میزان رسوب ایستگاه‌ها در فروردین ماه با انحراف معیار  $1663/81$  و بیشترین آن در ماه مرداد با انحراف معیار  $14/95$  می‌باشد. این موضوع می‌تواند با رجوع به مقادیر بیشینه و کمینه رسوب متوسط ماهانه که به ترتیب در ماه فروردین ( $844/55$  تن در روز) و مرداد ( $12/90$  تن در روز) رخ داده است توجیه گردد. بیشترین ضریب تغییرات متوسط رسوب ماهانه در حوزه مربوط به تیرماه با  $253$  درصد می‌باشد و ماه اردیبهشت با ضریب تغییرات  $105$  درصد، کمترین ناهمگنی

رسوب ماهانه حوزه را داشته است. در کل میزان ناهمگنی و بی‌نظمی رژیم رسوب ماهانه حوزه در تمامی ماه‌های سال در حد بسیار بالایی بوده و قابل پیش‌بینی نیست. نکته قابل توجه در شاخص ضریب تغییرات دبی و رسوب وقوع رژیم منظم آب‌دهی و به تبع آن رسوب‌دهی ماهانه در ماه اردیبهشت نسبت به سایر ماه‌هاست که احتمالاً ناشی از وقوع بارش‌های زیاد در بیشتر نقاط حوزه در ماه مذکور می‌باشد.

و اما آنچه که در اولین نگاه به نمودار تغییرات ماهانه رسوب (شکل 8) برداشت می‌شود نوسانات و تفاوت‌های قابل ملاحظه میزان رسوب ماهانه در بین ایستگاه‌های نمونه در مقایسه با الگوی تغییرات ماهانه دبی و بارش ایستگاه‌ها می‌باشد. به طوری که برخلاف نتایج تعمیم یافته برای کل حوزه نمی‌توان ماه به خصوص را برای مقادیر بیشینه و کمینه بار رسوبی ماهانه در ایستگاه‌های نمونه انتخاب نمود، بدین ترتیب که بر خلاف سایر ایستگاه‌ها کمینه بار رسوبی در ایستگاه‌های سامیان و دوست بیگلو به غیر از مرداد ماه اتفاق می‌افتد. از طرفی وقوع بیشینه بار رسوبی ماهانه در ایستگاه سامیان در دی ماه، لای در بهمن ماه، دوست بیگلو و کوزه تپراقی در فروردین ماه، پل الماس و نیر در اردیبهشت ماه و پل سلطانی در خردادماه می‌باشد.



شکل 8- نمودار توزیع رسوب معلق ماهانه در ایستگاه‌های منتخب حوزه آبریز قره سو (1385 - 1364)

در بین ایستگاه‌های نمونه تغییرات رسوب ماهانه دو ایستگاه لای و نیر تفاوت زیادی را با دیگر ایستگاه‌ها نشان می‌دهند برای نمونه اولین فراز رسوب ماهانه این ایستگاه‌ها در بهمن ماه اتفاق افتاده است در حالی که ایستگاه‌های دیگر این فراز را در دی ماه تجربه کرده‌اند. این موضوع احتمالاً به برودت زیاد هوا در ایستگاه‌های مزبور و طولانی بودن دوره سرما نسبت به سایر ایستگاه‌ها برمی‌گردد که جریان دبی را به تأخیر می‌اندازد. گذشته از این با این که در بیشتر ایستگاه‌ها، یک افت خط منحنی دبی ماهانه در ماه اردیبهشت اتفاق افتاده است ولی در ایستگاه پل

سلطانی و دوست بیگلو این افت، یکی دو ماه دیرتر اتفاق افتاده است. این امر ممکن است ناشی از دوام جریان رودخانه تا تابستان باشد که توان لازم را به رودخانه‌ها در حمل رسوب داده است.

نوسانات رسوب سالانه ایستگاه‌های نمونه طی 22 سال آماری (شکل 9) نشان می‌دهد روندهای رسوب معلق در ایستگاه‌های لای و پل سلطانی با شیب ملایمی رو به افزایش است، اما سایر ایستگاه‌ها با سیر نزولی رسوب مواجه هستند. در این بین روند رسوب ایستگاه لای با روند بارش و دبی ایستگاه مذکور هم سو است در حالی که روند افزایشی رسوب در ایستگاه پل سلطانی با روند بارش آن هم سو ولی با روند دبی این ایستگاه نا هم سو می‌باشد این امر می‌تواند اشاره به قابلیت زیاد رسوب دهی در حوزه بالادست ایستگاه مزبور (خیابو چای) داشته باشد که حتی در دبی‌های کم با رسوب قابل توجهی روبروست.



شکل 9- نقشه تغییرات مکانی روندهای رسوب معلق سالانه در ایستگاه‌های نمونه حوزه قره سو (1385 - 1364)

در راستای تشخیص و تبیین تفاوت‌های مکانی بار رسوب معلق در ایستگاه‌های منتخب و اولویت‌بندی زیرحوزه‌های بالادست آنها از نظر اقدامات حفاظتی و تخفیف اثرات فرسایشی و تولید رسوب بود سعی گردید تا علاوه بر جدول مقادیر رسوب متوسط و رسوب ویژه ایستگاه‌ها (جدول 4)، نقشه پراکنش مکانی - فضایی میزان بار رسوبی ایستگاه‌های منتخب (شکل 10) تهیه و به نمایش درآید. با در نظر گرفتن این که در جدول شماره 4 زیرحوزه‌ها به ترتیب مساحت از کوچک به بزرگ (راست به چپ) ردیف شده‌اند و نیز شماره رتبه آنها نیز در سمت چپ ارقام مربوط به رسوب متوسط و ویژه درج گردیده است علاوه بر امکان مقایسه زیرحوزه‌ها از نظر رسوب دهی می‌توان به رابطه میزان بار رسوبی آنها با مساحت شان نیز پی برد. با توجه به نتایج به دست آمده

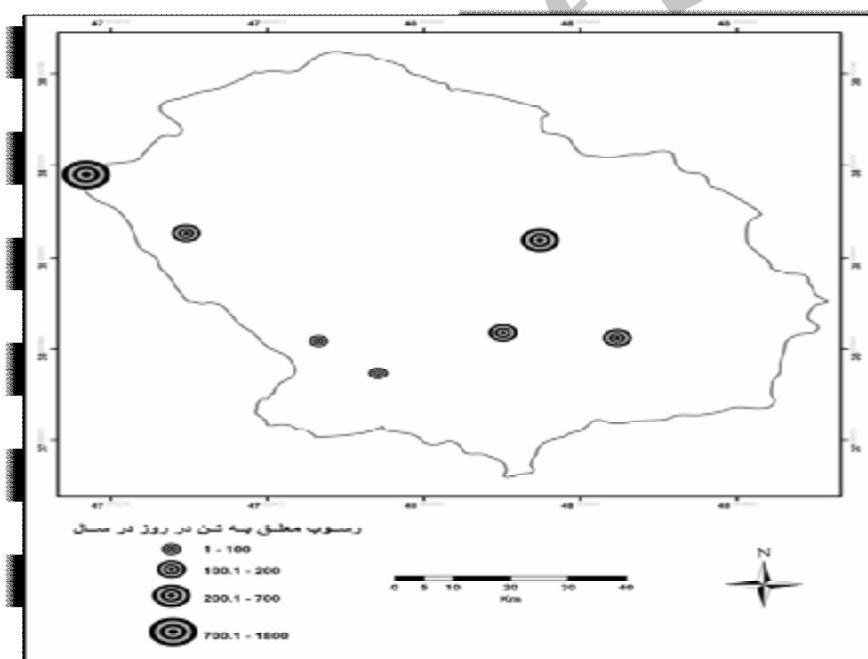
ایستگاه دوست بیگلو بیشترین میزان بار رسوب متوسط سالانه برابر با 1749/79 تن در روز و ایستگاه لای کمترین میزان بار رسوب متوسط سالانه برابر با 1/7 تن در روز را دارا بوده‌اند. در مقابل ایستگاه نیر با 01/ تن در روز در کیلومتر مربع در سال کمترین و ایستگاه پل سلطانی (مشکین شهر) با 1/46 تن در روز در کیلومتر مربع در سال بیشترین رسوب ویژه را در بین ایستگاه‌ها داشته‌اند.

جدول (4): مقادیر رسوب متوسط (تن در روز) و رسوب ویژه (تن در روز در کیلومتر مربع در سال)

در ایستگاه‌های منتخب حوزه آبریز قره سو (1364 - 1385)

دوست بیگلو	سامیان	پل الماس	کوزه تپراقی	نیر	پل سلطانی	لای	
(1)1749/79	(2)618/59	(5)110/03	(4)131/08	(6)25/16	(3)141/08	(7)1/7	متوسط رسوب سالانه
7455/62	4066/87	1171/87	781/25	253/75	96/25	31/25	مساحت زیرحوزه (کیلومتر مربع)**
(2).123	(4).15	(5).09	(3).17	(7).01	(1)1/46	(6).05	رسوب ویژه

\*\* منبع: رضایی بنفشه، 1367



شکل 10- نقشه پراکنش میانگین سالانه رسوب معلق در ایستگاه‌های نمونه حوزه قره سو (1364 - 1385)

مقادیر رسوب متوسط و به خصوص رسوب ویژه ایستگاه پل سلطانی در مقایسه با مساحت کوچک زیرحوزه بلا دست آن (خیابو چای) بسیار قابل توجه است که نشان از حاکمیت فرآیندهای فرسایشی در حوزه بالادست این ایستگاه دارد. در این بین سیلابی بودن رودخانه خیابو (اسکندرپور، 1386) می‌تواند تعیین کننده باشد. برای مثال در تاریخ 82/3/9 به مقدار 5850 تن در روز رسوب معلق در این ایستگاه مشاهده شده است که تنها جریانات سیلابی می‌توانسته حمل کننده این میزان رسوب باشد. نکته قابل توجه دیگری که از نتایج فوق به دست آمد این بود که



برخلاف قاعده عمومی مبنی بر کاهش رسوب دهی با افزایش مساحت حوزه، در حوزه مورد مطالعه رابطه مشخصی بین میزان رسوب زیرحوزه‌ها و عامل مساحت وجود ندارد.

آنچه که از نقشه تغییرات مکانی میزان رسوب در ایستگاه‌های نمونه (شکل 10) برداشت می‌شود اشاره به این دارد که میزان بار رسوبی از طرف زیرحوزه‌ها به سمت شاخه اصلی و خروجی حوزه افزایش می‌یابد. در این بین وضعیت استثنایی میزان بار رسوبی زیر حوزه خیاو (شمال غرب حوزه) که ایستگاه پل سلطانی بر روی آن احداث گردیده است در مقایسه با بار رسوبی ایستگاه‌های پل الماس و کوزه تپراقی جلب توجه می‌کند.

### 3-2- تحلیل توأمان روندهای سالانه بارش، دبی و رسوب

در راستای تحلیل ارتباط بین متغیرهای بارش، دبی و رسوب از لحاظ تغییرات زمانی در ایستگاه‌های منتخب نتایج به شرح زیر حاصل گردید:

1- روابط میان روندهای سه گانه بارش، دبی و رسوب تنها در ایستگاه‌های لای و سامیان هم سویه و قرینه است که در این بین ایستگاه سامیان با هم سوئی روندهای نزولی و ایستگاه لای با هم سوئی روندهای صعودی مشخص می‌باشد.

2- هم سوئی روندهای نزولی دبی و رسوب در ایستگاه‌های نیر، پل الماس، کوزه تپراقی و دوست بیگلو قابل مشاهده است.

3- با این که روندهای بارش و رسوب در ایستگاه پل سلطانی قرینگی داشته و سیر صعودی را نشان می‌دهند اما روند دبی این ایستگاه با سیر نزولی رو به روست.

علت این که با وجود روند رو به افزایش بارش، شاهد روند کاهشی دبی و به تبع آن کاهش رسوب دهی در ایستگاه‌های نیر، پل الماس، کوزه تپراقی و دوست بیگلو هستیم شاید به بهره برداری زیاد از آب رودخانه‌ها در بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری مذکور بر می‌گردد که در این بین هدایت مستقیم آب به کانال‌های آبیاری کشاورزی و یا ذخیره این آب در پشت سدها می‌تواند تأثیر گذار باشد. نگاهی به هم سوئی روندهای افزایشی بارش، دبی و رسوب در ایستگاه لای به عنوان ایستگاهی که در دامنه کوه سبلان واقع شده و از گزند دخالت‌های انسانی تا حدود زیادی دور مانده است می‌تواند شاهدهی بر این مدعا باشد. از طرفی نکته جالب توجه در مورد نتایج حاصل از تغییرات زمانی دبی، هم زمانی افت خط تغییرات زمانی دبی در ایستگاه‌های نیر، پل الماس، کوزه تپراقی، سامیان و دوست بیگلو بعد از سال آبی 75-76 بوده است که در مورد تغییرات زمانی رسوب نیز افت مشابهی اما این بار از سال آبی 72-73 در ایستگاه‌های مزبور اتفاق افتاده است. این گونه الگوی تغییرات مشابه و

هم زمان در ایستگاه‌های هیدرومتری به احتمال زیاد ناشی از عوامل انسانی است که بر عدم تبعیت روندهای دبی و رسوب از روندهای بارش اثر گذار بوده است.

4- در ایستگاه پل سلطانی با وجود این که روند دبی سالانه بر خلاف روند بارش، سیر نزولی دارد لیکن روند رسوب سالانه ایستگاه مزبور نیز روند صعودی را نشان می‌دهد و علت این امر همان گونه که قبلاً نیز به آن اشاره شد به خصوصیات سیل خیزی ناشی از همراهی عوامل توپوگرافی، جنس زمین و پوشش گیاهی تنک منطقه و عوامل دیگر (اسکندرپور، 1386) برمی‌گردد که قدرت و ظرفیت حمل رسوب بیشتری را به رودخانه خیاو در مقایسه با سایر زیرحوزه‌ها بخشیده است.

### 3-3- تحلیل‌های رگرسیونی

جهت بررسی تأثیر هر یک از متغیرهای بارش و دبی بر میزان بار رسوب معلق ایستگاه‌های نمونه از تحلیل رگرسیونی دو متغیره بر اساس داده‌های میانگین ماهانه متغیرها استفاده گردید که نتایج آن به صورت جداول 5 و 6 ملاحظه می‌شود. لازم به ذکر است که مدل‌های رگرسیونی تنها برای آن دسته از روابط آورده شده است که حداقل در سطح 0/05 معنی دار بودند. روابط رگرسیونی میان متغیرهای بارش (متغیر مستقل) و متغیر رسوب (متغیر وابسته) مطابق جدول 5 نشان می‌دهد که به غیر از سه ایستگاه پل الماس، کوزه تپراقی و نیر در سایر ایستگاه‌ها روابط همبستگی معنی داری مشاهده نمی‌شود و در بهترین حالت در ایستگاه کوزه تپراقی متغیر بارش با ضریب همبستگی 0/18. تنها قادر به تبیین 3 درصد واریانس رسوب دهی است. در کل میزان همبستگی متغیر بارش با رسوب در ایستگاه‌های منتخب در حد بسیار ضعیفی بوده و ارائه مدل‌های رگرسیونی بهینه را حتی برای ایستگاه‌های دارای روابط معنی دار با مشکل مواجه می‌سازد.

جدول (5): همبستگی متغیر بارش با رسوب در ایستگاه‌های منتخب حوزه قره سو (1364-1385)

نام ایستگاه	تعداد نمونه رسوب	میزان همبستگی (R)	ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )	معنی داری (Sig)	فرمول رگرسیون (Y = a + b x)
پل الماس	203	.17	.03	.02	$Y = -170/24 + 17/79 x$
پل سلطانی	146	.06	.003	.48	-
دوست بیگلو	168	.12	.01	.13	-
سامیان	145	.01	.00	.89	-
کوزه تپراقی	121	.18	.03	.05	$Y = 33/73 + 4/76 x$
لای	170	.04	.001	.63	-
نیر	199	.16	.03	.02	$Y = 3/2 + .72 x$

جدول (6): همبستگی متغیر دبی با رسوب در ایستگاه‌های منتخب حوزه قره سو (1364-1385)

نام ایستگاه	تعداد نمونه رسوب	میزان همبستگی (R)	ضریب تعیین ( $R^2$ )	معنی داری (Sig)	فرمول رگرسیون ( $Y = a + b x$ )
پل الماس	203	.127	.108	.100	$Y = - 486/09 + 215/25 x$
پل سلطانی	146	.124	.106	.1003	$Y = 91/45 + 2/14 x$
دوست بیگلو	168	.168	.146	.100	$Y = - 548/53 + 224/45 x$
سامیان	145	.161	.138	.100	$Y = - 597/07 + 174/07 x$
کوزه تپراقی	121	.172	.152	.100	$Y = - 112/18 + 181/94 x$
لای	170	.164	.141	.100	$Y = - .1/7 + 16/6 x$
نیر	199	.108	.1007	.124	-

با توجه به روابط رگرسیونی میان متغیرهای دبی و رسوب (جدول 6) به غیر از ایستگاه نیر در سایر ایستگاه‌ها شاهد روابط همبستگی معنی دار و قابل قبول هستیم. با این حال این روابط همبستگی در ایستگاه‌های پل سلطانی و پل الماس به ترتیب با ضریب همبستگی  $.124$  و  $.127$  در حد ضعیف و در ایستگاه‌های لای با ضریب همبستگی  $.164$ ، ایستگاه کوزه تپراقی  $.172$ ، ایستگاه سامیان  $.161$  و ایستگاه دوست بیگلو با  $.168$  در حد خوبی است. در بهترین حالت متغیر دبی قادر به تبیین 52 درصد تغییرات رسوب دهی در ایستگاه کوزه تپراقی بوده که قابل توجه است.

در بخش دوم ارتباط متغیرهای سه گانه، با استفاده از تحلیل رگرسیونی چند متغیره و دخالت دادن متغیرهای بارش ( $x_1$ ) و دبی ( $x_2$ ) به عنوان متغیرهای مستقل و متغیر رسوب معلق به عنوان متغیر وابسته سعی گردید تا روابط بهینه و مدل‌های رگرسیونی مربوطه استخراج گردیده و در پیش بینی مقادیر رسوب به کار گرفته شوند. این روابط همانند روابط قبلی در قالب جدول 7 ارائه گردیده است.

جدول (7): همبستگی متغیرهای دبی و بارش با رسوب در ایستگاه‌های منتخب حوزه قره سو (1364-1385)

نام ایستگاه	تعداد نمونه رسوب	میزان همبستگی (R)	ضریب تعیین ( $R^2$ )	معنی داری (Sig)	فرمول رگرسیون ( $Y = a + b x_1 + b x_2$ )
پل الماس	203	.129	.109	.100	$Y = - 666/91 + 10/97 x_1 + 193/85 x_2$
پل سلطانی	146	.125	.106	.101	$Y = 52/66 + 1/43 x_1 + 2/16 x_2$
دوست بیگلو	168	.168	.146	.100	$Y = - 815/11 + 9/72 x_1 + 222/74 x_2$
سامیان	145	.161	.138	.100	$Y = - 536/94 - 2/61 x_1 + 174/34 x_2$
کوزه تپراقی	121	.172	.152	.100	$Y = - 119.64 + .34 x_1 + 181/21 x_2$
لای	170	.164	.141	.100	$Y = - .99 + .009 x_1 + 16/62 x_2$
نیر	199	.118	.103	.104	$Y = - 1/48 + .71x_1 + 3/8 x_2$

با توجه به روابط حاصله در تمام ایستگاه‌های نمونه مدل‌های قابل قبولی به دست آمده است و می‌تواند در برآورد رسوب ایستگاه‌های منتخب به کار برده شود. در این بین مدل رگرسیونی به دست آمده در ایستگاه کوزه

تپراقی با ضریب همبستگی 0/72، ضریب تبیین 0/52 و سطح معنی داری 0/00 به عنوان بهترین مدل و مدل رگرسیونی ایستگاه نیر با ضریب رگرسیون 0/18، ضریب تبیین 0/03 و سطح معنی داری 0/04 به عنوان ضعیف ترین مدل شناخته می‌شود. در این بین بایستی توجه داشت که با مقایسه نتایج سه جدول فوق تأثیر بیشتر متغیر دبی (نسبت به متغیر بارش) بر متغیر رسوب در ایستگاه‌های منتخب واضح و مسلم بوده و سهم غالب این متغیر در معادلات رگرسیونی و پیش بینی میزان رسوب ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

#### 4- نتیجه گیری

در کل نتایج حاصل از روابط رگرسیونی دو متغیره میان بارش و رسوب دهی در ایستگاه‌های مورد مطالعه حاکی از عدم رابطه یا رابطه بسیار ضعیف بارش با رسوب دهی بود و متغیر میزان متوسط بارش قادر به توضیح تغییرات رسوب دهی را تبیین نمود. از طرفی به جز ایستگاه‌های لای و پل سلطانی روند تغییرات زمانی رسوب با روند تغییرات بارش هم سویی نداشت. این نتایج با نتایج کارهای کلو و والینگ (1983)، Bobrovistkaya و همکاران (2003)، همتی و همکاران (1380) (حوزه آبخیز مرکزی مازندران) هم خوانی داشته و در مقابل با نتایج تحقیقات Ferraresi (1990) و میرابوالقاسمی و مرید (1374) مغایرت نشان می‌دهد. بر خلاف متغیر بارش، با توجه به روابط رگرسیونی میان داده‌های نمونه رسوب و دبی متناظر آن، متغیر دبی توانست در بهترین حالت در ایستگاه کوزه تپراقی بیش از 52 درصد واریانس رسوب دهی را توضیح داده و مدل‌های نسبتاً خوبی از رابطه متغیر مزبور با بار رسوب معلق حوزه‌ها به دست آمد. با مشارکت دادن دو متغیر بارش و دبی در تحلیل رگرسیونی چند متغیره نیز تأثیر ضعیف متغیر بارش در رسوب برآوردی آشکار بود.

مقادیر تعمیم یافته تغییرات ماهانه رسوب برای کل حوزه نشان دهنده بیشترین تولید رسوب در ماه فروردین و کمترین آن در مرداد ماه بود که با کمینه و بیشینه آب دهی ماهانه مطابقت داشته اما در مورد بارش تنها بخش کمینه ماهانه بارش با رسوب تطابق زمانی دارد. در مورد تغییرات فصلی رسوب نتایج حاکی از بیشترین میزان رسوب دهی در فصل بهار و کمترین آن در فصل پاییز بوده است. این با نتایج کار Tramblay و همکاران (2008) (در بخش بیشینه بهاره) و آقاییگی (1384) مطابقت داشته و در مقابل با نتایج تحقیق Lecce و همکاران (2006) هم خوانی ندارد. از طرفی با توجه به این که تغییرات روند سالانه بارش به غیر از ایستگاه سامیان در سایر ایستگاه‌ها حالت صعودی داشت، با حذف اثر گذاری این عامل در روند کاهشی آب دهی و به تبع آن بار رسوبی زیرحوزه‌ها و نیز با در نظر گرفتن وقوع تغییرات مشابه در میزان دبی و رسوب پنج ایستگاه از هفت ایستگاه منتخب چنین استنتاج گردید که عوامل انسانی در این تغییرات دخیل بوده‌اند. شروع ساخت شمار قابل توجهی از سدهای ذخیره آب بر روی سرشاخه‌های حوزه مورد مطالعه طی دهه 70 شاهدهی بر این موضوع باشد. نتایج تحقیقات Walling

(2008) نشان داد که اقدامات منفی انسانی موجب کاهش رسوب دهی در برخی از رودخانه‌های دنیا شده است. هم چنین Yang و همکاران (2004) نیز در بررسی رسوب معلق رودخانه یانگ تسه به این نتیجه رسیدند که تغییرات بلند مدت رسوب دهی رودخانه مذکور در ارتباط با فعالیت‌های انسانی از قبیل احداث سد و معدن کاری بوده است. این روند گمراه کننده کاهش رسوب و جمع شدن رسوبات در پشت مخازن سدها باعث خواهد شد زیان‌ها و خسارات ناشی از این امر در آینده بر صدمات و آسیب‌های ناشی از تخریب و هدر رفت خاک و کاهش زمین‌های قابل کشت افزوده شود.

برآورد رسوب ویژه در ایستگاه‌های نمونه نیز نشان داد که ایستگاه پل سلطانی با رسوب ویژه 1/46 تن در روز در کیلومتر مربع در سال به عنوان بحرانی ترین حوزه از نظر فرسایشی و تولید رسوب مطرح بوده و ایستگاه نیر با رسوب ویژه 0/01 تن در روز در کیلومتر مربع در سال بدین لحاظ از شرایط خوبی برخوردار است. در نهایت پیشنهاد می‌شود جهت دست یابی به روابط دقیق تر متغیر بارش با رسوب دهی در حوزه‌ها از خصوصیات مهم بارش چون شدت و مدت بارندگی در تحلیل‌های رگرسیونی استفاده گردد. از طرفی نایبستی از اثر دیگر عوامل مؤثر بر رسوب دهی مانند زمین شناسی، مورفولوژی و پوشش گیاهی حوزه غافل ماند، چرا که ممکن است در برخی حوزه‌ها، عوامل فوق بسته به شدت و ضعف آنها تأثیر بیشتری بر روی فرسایش و تولید رسوب داشته باشند. وضعیت فرسایشی و تولید رسوب در زیرحوزه بالادست ایستگاه پل سلطانی شاهدهی بر ضرورت توجه به این گونه متغیرهاست.

#### منابع

- 1- آقابگی امین، سهیلا (1384). الگوی تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق در زیرحوزه‌های مهم رودخانه هراز، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- 2- اسکندرپور، مرتضی علی (1386). پیش بینی سیلاب در حوزه آبریز خیاوچای بر مبنای عوامل آب و هوایی، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.
- 3- تلوری، عبدالرسول و همکاران (1385). مدل سازی تغییرات زمانی رسوب در حوزه آبخیز گاران در استان کردستان، پژوهش و سازندگی، شماره 75، صص 64-70.
- 4- ثقفیان، بهرام و همکاران (1384). تجزیه و تحلیل منطقه‌ای رسوب معلق بر مبنای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های GIS، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران: مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

- 5- جلالی و همکاران (1386). برآورد بار معلق رسوب ایستگاه هیدرومتری آبلو - نکارود با استفاده از منحنی سنج رسوب و شبکه عصبی مصنوعی، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران - مدیریت حوزه‌های آبخیز، کرج: دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- 6- حکیم خانی، شاهرخ و عرب خدری، محمود (1385). تحلیل رگرسیونی بین رسوب معلق و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوزه دریاچه ارومیه، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 37، شماره 2، صص 223-231.
- 7- خداشناس، رضا و دیگران، 1387. ارائه مدل‌های رگرسیونی چند متغیره برآورد رسوب در حوزه‌های شمال استان خراسان، مجله آب و خاک، جلد 22، شماره 2، صص 150-164.
- 8- رضایی بنفشه، مجید (1382). تحلیل و مدل‌بندی رژیم‌های بارش در حوزه آبریز قره سو، رساله اخذ دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تبریز.
- 9- رضایی بنفشه، مجید (1367). هیدرولوژی و ژئومورفولوژی کمی حوزه آبریز قره سو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- 10- شعبانی، محمد و همکاران (1386). بررسی عوامل مؤثر بر رسوب دهی حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، نشریه منابع طبیعی، دوره 60، شماره 3، صص 759-771.
- 11- صادقی، حمیدرضا و همکاران (1385). تحلیل منطقه‌ای رسوب معلق در حوزه اصفهان و سیرجان، تحقیقات منابع آب ایران، سال دوم، شماره 3، صص 51-65.
- 12- عرب خدری، محمود و زرگر، اکبر (1374). مدل رگرسیونی برآورد میزان رسوب آبخیز در البرز شمالی، مجموعه مقالات اولین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران: معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی صص 403-418.
- 13- علیجانی، بهلول (1385). آب و هوای ایران، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- 14- فیض نیا و همکاران (1386). بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی در تخمین رسوب معلق روزانه (بررسی موردی: حوزه آبخیز زرد رامهرمز در استان خوزستان)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره 60، شماره 4، صص 1199-1210.
- 15- قدیمی عروس محله، فریدون و امین سبحانی، ابراهیم (1378). تعیین الگوی توزیع آماری رسوب معلق حوزه آبریز دریاچه نمک، پژوهش و سازندگی، شماره 44، صص 94-99.
- 16- لال، راتان (1383). روش‌های تحقیق در فرسایش خاک، ترجمه احمد محمودزاده، ارومیه، انتشارات

- 17- مجیدپور، بهنام (1381). تحلیل مکانی و زمانی بارش‌های ماهانه استان اردبیل، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تبریز.
- 18- مساعدی، ابوالفضل و همکاران (1385). بهینه سازی روابط دبی جریان و دبی رسوب معلق در ایستگاه‌های منتخب رودخانه گرگانرود، مجله منابع طبیعی ایران، دوره 59، شماره 2، صص 331-342.
- 19- معتمد وزیری و همکاران (1388). بررسی امکان مدل سازی بار معلق با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زنجانرود)، مجله منابع طبیعی ایران، دوره 62، شماره 2، صص 283-298.
- 20- معظمی، محمد و فیض نیا، سادات (1386). آنالیز ناحیه ای رسوب معلق (مطالعه موردی رودخانه جراحی)، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران - مدیریت حوزه‌های آبخیز، کرج: دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- 21- موسوی و همکاران (1385). بررسی رسوب در مخزن سد زاینده رود با استفاده از مدل‌های تجربی افزایش و کاهش سطح، نشریه آب و فاضلاب اصفهان، شماره 57، صص 76-82.
- 22- میر ابوالقاسمی، هادی و مرید، سعید (1374). بررسی رسوب خیزی حوزه آبخیز رودخانه کرخه و برخی عوامل مؤثر بر آن، مجموعه مقالات اولین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران: معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی، صص 461-475.
- 23- مهندسین مشاور بوم آباد (1376). مطالعات توجیهی حوزه آبریز قره سو (جلد 13: سنتز مطالعات)، دفتر مهندسی و مطالعات منابع طبیعی، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور.
- 24- وروانی، جواد و همکاران (1386). ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی برآورد رسوب حوزه‌های آبخیز در زمان سیلاب‌های منفرد و ارائه ضرائب اصلاحی، نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره 60، شماره 4، صص 1225-1239.
- 25- وروانی، جواد و همکاران (1381). آنالیز ناحیه ای رسوب معلق با استفاده از معادله رگرسیونی در حوزه آبخیز گرگانرود، مجله منابع طبیعی ایران، دوره 55، شماره 1، صص 35-47.
- 26- همّتی، محمد و همکاران (1380). بررسی رابطه رسوب دهی حوزه‌های آبخیز با لیتولوژی و عوامل بارش مؤثر، همایش ملی مدیریت ارضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک: مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان مرکزی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، صص 234-244.

27-Bobrovistkaya, Nelly. N., Kokorev, Alexander V., and Lemeshko, Nataly A. (2003). Regional patterns in recent trends in sediment yields of Eurasian and Siberian rivers. *Global and Planetary Change* 39: 127-146.

28-Branson, F. and Owen, J. (1970). Plant cover, runoff, and sediment yield relationships on Mancos shale in western Colorado. *Water Resources Research* 6(3): 783-790.

29-Bray, D.I., and Xie, H. (1993). A regression method for estimating suspended sediment yields for ungauged watersheds in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20(1): 82-87.

30-Colvo, Alvarado Julio C., and Gregory D.J. (1997). Predicting mean annual runoff and suspended sediment yield in rural watersheds in North Carolina. *WRI Research Reports N.37*.

31-Ferraresi, M. (1990). The regionalization of fluvial sediment yield in Emilia Romagna (northern Italy). *International symposium on regionalization in hydrology, Ljubljana, IAHS publish*, vol. 191: 253-260.

32-Grauso, Sergio et al. (2007). Relations between climatic-geomorphological parameters and sediment yield in a mediterranean semi-arid area (Sicily, southern Italy). *Environmental Geology* 54: 219-234.

33-Janssen, J.M.L and Painter R.B. (1979). Prediction sediment yield from climate and topography. *Journal of Hydrology* 21: 371-380.

34-Lajczak, Adam and Jansson, Margareta. (1993). Suspended Sediment Yield in the Baltic Drainage Basin. *Nordic Hydrology* 24: 31-52.

35-Lecce, Scott A. et al. (2006). Seasonal controls on sediment delivery in a small coastal plain watershed, North Carolina, USA. *Geomorphology* 73: 246-260.

36-Restrepo, Juan D., Lopez, Sergio A. And Restrepo, Juan C. (2009). The effects of geomorphic controls on sediment yield in the Andean rivers of Colombia. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 16 (2): 79-92.

37-Restrepo, Juan.D., Kgerfve, Björn., Hermelin. Michel., Restrepo, Juan.C (2006). Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin : the Magdalena river, Colombia. *Journal of Hydrology* 316: 213-232.

38-Roman, David C., Vogel, Richard M. and Schwarz, Gregory E.(2010). Multivariate models of watershed suspended sediment loads for the Eastern United States. *Urban Water Resources Research Council - 7th Urban Watershed Management Symposium*: 3133-3144.

39-Sanjai, K.Jain., Singh, Pratap., Saraf, A.K., Seth, S.M (2003). Estimation of sediment yield for a rain, snow and glacier fed river in the Western Himalayan region. *Water Resources Management* 17: 377-393.

40-Tramblay, Yves., St-Hilaire, Andre and Ouarda, Taha B. M. J. (2008). Frequency analysis of maximum annual suspended sediment concentrations in North America. *Hydrological Sciences Journal* 53: 236-252.

41-Verstraeten, Gert and Poesen, Jean. (2001). Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in a temperate humid climate. *Geomorphology* 40: 123-144.

42-Walling, D. E. (2008). The changing sediment loads of the world's rivers. *Land Reclamation* 39: 3-20.

43-Yang, S.L et al (2004). Effects of human activities on the Yangtze suspended sediment flux into the estuary in the last century. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(6): 1210-1216.