

## بررسی شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی و هیدرولوژی حوضه‌ی آبریز ترووال

هادی نیری<sup>۱\*</sup>

خبات امانی<sup>۲</sup>

حمید گنجائیان<sup>۳</sup>

### چکیده

مطالعات و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مورفولوژیکی رودخانه‌ها از جمله‌ی اولین و مهم‌ترین اقدامات در طراحی و اجرای طرح‌های هیدرولوژیکی به شمار می‌آید. از اهداف پژوهش حاضر بررسی مشخصه‌های فیزیکی حوضه‌ی آبریز ترووال و ویژگی‌های هیدرولوژی، هیدروگرافی و هیدروژئومورفولوژی آن با استفاده از روش‌های آماری و نرمافزاری جهت نیل به اطلاعات مناسب برای برنامه‌ریزی‌ها و اجرای طرح‌های عمرانی و آبخیزداری می‌باشد. رودخانه‌ی تروال از زیرحوضه‌های دریای خزر بوده که مساحت حوضه‌ی آبریز آن تا محل تلاقی آن با رودخانه‌ی قزل‌اوزن ۶۹۵۵ کیلومترمربع می‌باشد. با توجه به آمارهای موجود بین سال‌های ۱۳۵۰-۹۰ میانگین دمای سالانه ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک حوضه‌ی ۱۲/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و بارش سالانه ۳۵۲ میلی‌متر است که نشان‌دهنده‌ی نیمه خشک بودن شرایط اقلیمی حوضه می‌باشد. محاسبات صورت گرفته نشان می‌دهد که تراکم شبکه زهکشی در این حوضه کم بوده و تعداد آبراهه‌ها در واحد سطح انداز می‌باشد. با توجه به اینکه سطح حوضه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی تنک و در مواردی نسبتاً متراکم است، ضریب رواناب ۰/۳۵ درصد، زمان تأخیر حوضه ۱/۶۵ ساعت، و زمان تمرکز آن ۲/۷۵ ساعت است. نتایج به دست آمده مؤید آن است که تحت تأثیر عواملی مانند میزان بارندگی، شیب کم حوضه، رسوبات دانه ریز منفصل و نفوذ زیاد، میزان رواناب حوضه بسیار ناچیز بوده و بارندگی در این منطقه به سرعت فروکش می‌کند به همین دلیل میزان فرسایش‌پذیری خاک در این حوضه بسیار انداز و قابل کنترل می‌باشد. به علاوه منحنی تغییرات دبی سیل با گذشت زمان احتمای ملایمی دارد که حاکی از مصونیت نسبی حوضه در مقابل خطر سیل است.

کلمات کلیدی: هیدروژئومورفولوژی، هیدروگراف، سیستم اطلاعات جغرافیایی، رواناب، رودخانه تروال.

۱- استادیار گروه زئومورفولوژی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان (نویسنده مسئول).

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته هیدروژئومورفولوژی دانشگاه تهران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته هیدروژئومورفولوژی دانشگاه تهران.

## مقدمه

رودخانه‌ی تروال از شاخه‌های رودخانه قزل‌اوزن بوده که از کوههای جنوبی شهرستان‌های قزوین و دهگلان سرچشمه می‌گیرد و در نهایت به سفیدرود می‌ریزد. این رودخانه جزو زیرحوضه‌های دریای خزر می‌باشد. حوضه‌ی تروال از نظر منابع آب زیرزمینی بسیار غنی است و چاههای عمیق و نیمه‌عمیق زیادی در دشت‌های موجود در آن حفر شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. همچنین طرح‌هایی مانند تغذیه آبخوان‌ها و پخش سیلاب و همچنین عملیات ساماندهی و مهندسی رودخانه در این مناطق قابل اجرا هستند. این طرح‌ها می‌توانند موجب افزایش ظرفیت بهره‌برداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی و افزایش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی گردند. در حال حاضر عملیات اجرایی سدهای گلbag، سیاه زاغ، سنگ‌سیاه و چراغ ویس و همچنین مطالعات سدهای آله دره و سورال در دست انجام است که می‌تواند در گسترش فعالیت‌های اقتصادی مرتبط با بخش آب و کشاورزی در این نواحی مؤثر باشد.

در زمینه‌ی شرایط و ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز مطالعات و بررسی‌های فراوانی اعم از خارجی و داخلی صورت گرفته است. پوزول و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) به مطالعه‌ی هیدرودینامیک و مورفولوژی رودخانه‌ی ابرو<sup>۲</sup> در شمال شرق اسپانیا پرداختند و دریافتند که رودخانه در بازه‌ی مورد مطالعه از سه منطقه‌ی متفاوت از نظر هیدرودینامیکی تشکیل شده که این شرایط تا حدود زیادی از مورفولوژی رودخانه تأثیر می‌پذیرد. تورن<sup>۳</sup> (۲۰۰۲) به لزوم مطالعه‌ی رفتار مورفولوژیکی رودخانه‌های بزرگ پرداخته و یک چارچوب مطالعاتی در این زمینه ارائه نموده که بر پایش منظم مشخصات مورفولوژیک رودخانه با استفاده از روش‌های نوین تأکید دارد.

در ایران نیز قهرومدی در سال ۱۳۹۰ در بررسی تحولات کواترنر و ضرورت مطالعات به هم پیوسته آب و خاک در رودخانه‌ی قزل‌اوزن نشان داد که برای مدیریت به هم پیوسته آب و خاک در حوضه‌ی قزل‌اوزن شناخت دلایل فرسایش و رسوب‌زایی و به بیان دیگر تحولات کواترنر ضروری است. عزتیان و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبخیز خیرآباد به این نتیجه رسیدند که واکنش هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز از جمله دبی و حداکثر سیلاب، مقدار رواناب سالانه، پتانسیل فرسایش‌پذیری، رسوب‌دهی و غیره ناشی از اثر متقابل عوامل اقلیمی، ژئومورفولوژی، فیزیوگرافی و آنتروپوژنیک است در این میان برخی از خصوصیات فیزیکی حوضه همچون مساحت و شبیه متوسط، شبیه رودخانه، تراکم زهکشی و ضرایب شکل از اهمیت خاصی برخوردارند. زمردیان و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی لندرفرم‌های هیدرولوژیک

1- Pujol et al.,

2- Ebro

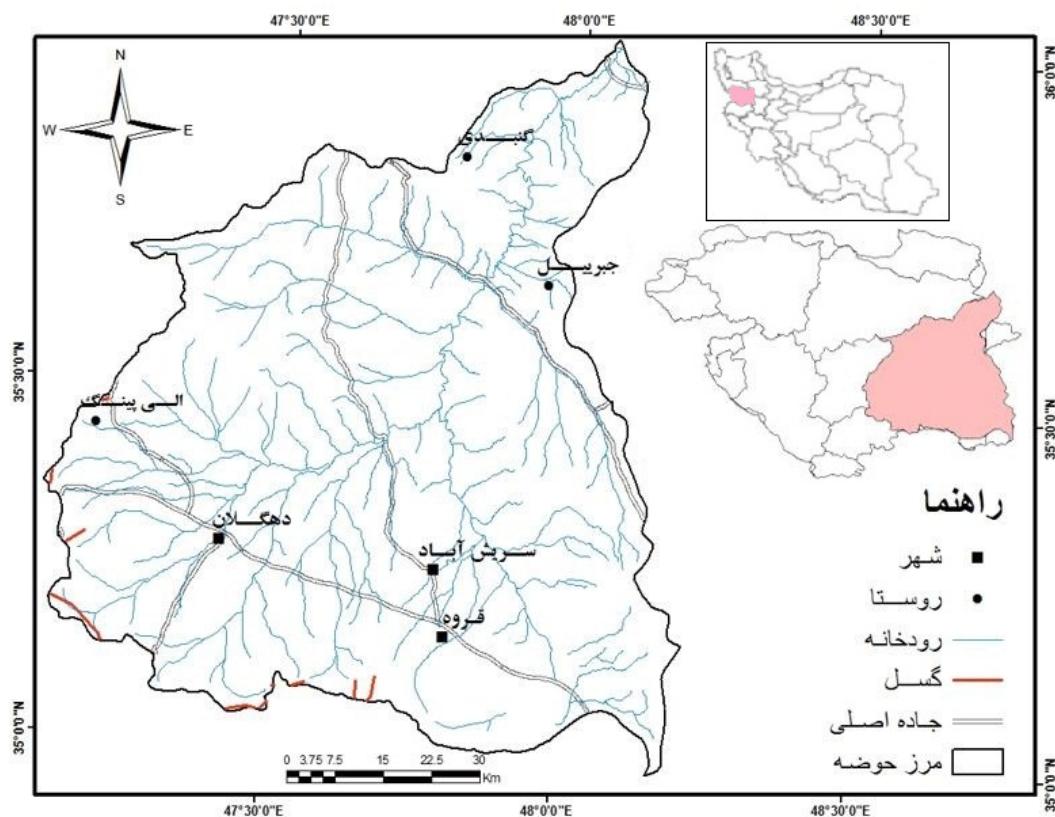
3-Thorne

حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی مهارلو بر مبنای روابط تعاملی فرایندهای مورفوکتونیک، مورفوکلیماتیک و هیدرومorfیک و واحدهای ژئومورفیک به این نتیجه رسیدند که فرایندهای پالئوهیدرومورفوکتونیک، لندفرمها و ناهمواری‌های معکوس نظیر، کلوزها و دره‌های عرضی، ناویس‌های معلق و غیره را ایجاد نموده‌اند. عابدینی (۱۳۸۷) با بررسی کمی مسائل هیدرولوژی و مورفولوژی حوضه‌ی آبریز لیقوان نتیجه گرفت که مورفومتری سیستم زهکشی، شکل هندسی حوضه و شاخص‌هایی مانند پوشش گیاهی میزان استعداد حوضه به فرسایش خطی به ویژه خندقی را افزایش داده است که نتیجه آن تخریب و برداشت حجم زیادی از سازندهای خاکی منطقه است. در مورد تغییر شکل مجرای رودخانه‌ی تروال نیز نیری و همکاران (۱۳۹۴) به این نتیجه رسیدند که عواملی نظیر شب، زمین‌شناسی، گسل‌ها، ورود شاخه‌ی جدید به رود اصلی و همچنین عوامل انسانی در تغییر شکل رودخانه از یک ماجرا به مجرای دیگر مؤثرند.

پژوهش حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های هیدرولوژی، هیدرولگرافی و هیدرولوژی و مورفولوژی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی تروال، جهت شناخت بیشتر منطقه برای مدیریت و برنامه‌ریزی کارآمدتر صورت می‌گیرد که می‌تواند برای برنامه‌ریزان، طراحان و مهندسان آبخیزداری و عمران و توسعه‌ی روستایی و کشاورزی و غیره حائز اهمیت است.

### موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی رودخانه‌ی تروال

حوضه‌ی آبریز رودخانه تروال با مساحت ۶۹۵۵ کیلومترمربع از نظر موقعیت جغرافیایی بین طول "۰۶° ۵۳' ۴۷" تا "۱۰° ۳۶' ۳۴" شرقی و عرض جغرافیایی "۵۴° ۲۰' ۰۰" شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). از نظر عناصر اقلیمی میانگین دمای سالانه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک این حوضه در یک دوره‌ی ۵۰ ساله ۱۲/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارش نیز ۳۵۲ میلی‌متر بوده است که نشان‌دهنده‌ی خشک بودن شرایط اقلیمی حوضه می‌باشد. بارندگی حوضه بیشتر به صورت باران بوده و به دلیل دمای بالا و اقلیم نیمه خشک منطقه، درصد کمی از بارش آن در ارتفاعات به صورت برف بوده و در ماه‌های اولیه سال ذوب می‌شود.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبریز تروال

## مواد و روش‌ها

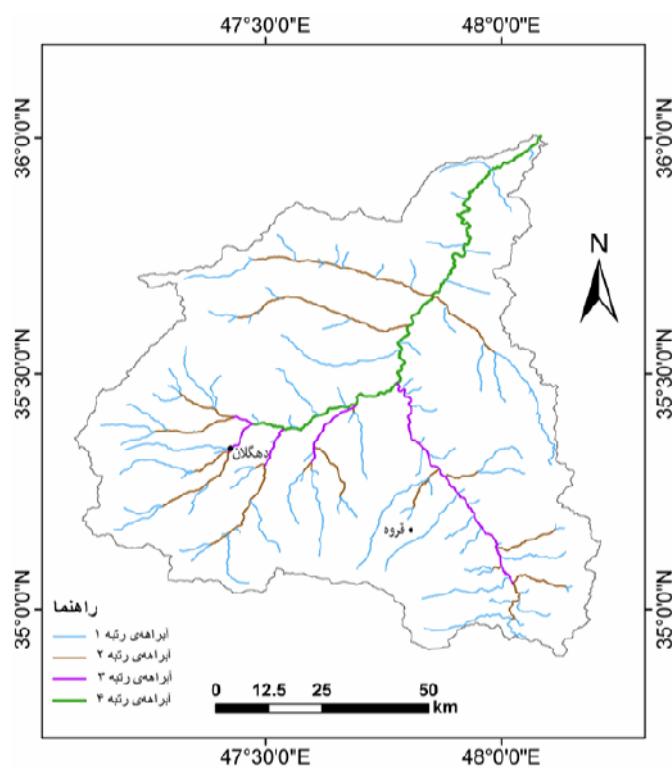
در این پژوهش از روش‌های کتابخانه‌ای، تجربی و توصیفی- تحلیلی استفاده شده است. جهت دستیابی به اهداف تحقیق از ابزارهایی مانند نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ دستگاه موقعیت‌یاب جهانی و همچنین لایه‌های اطلاعاتی منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شده است. همچنین آمارهای هیدرومتری، هیدرولوژی و هواشناسی حوضه از سازمان‌های آب منطقه‌ای و هواشناسی استان کردستان گردآوری گردیده و سپس در محیط نرم‌افزار Excel وارد شده و تفسیر و تشریح شده‌اند. جهت نیل به اهداف تحقیق ابتدا نقشه‌ها و داده‌های مورد نظر با استفاده از برنامه‌ی سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج و تجزیه و تحلیل شدند. سپس اطلاعات مربوط به مشخصه‌های اصلی حوضه مانند خصوصیات فیزیکی، عامل فرم، ارتفاع، نیمرخ طولی رودخانه‌ی اصلی، خطوط هم پیمایش، دبی رواناب، منحنی برآورد سیل، هیدروگراف دبی، منحنی فروکش دبی سالانه، منحنی تداوم جریان و غیره با استفاده از روش‌ها و فرمول‌های مرسوم و موجود در منابع معتبر علمی استخراج شد. بعلاوه با انجام چندین نوبت کارهای میدانی، عوارض و اشکال موجود در نقشه‌ها با شرایط محیط تطبیق داده شده است. سرانجام با مطالعه‌ی منابع کتابخانه‌ای و تحلیل موجود در نقشه‌ها با شرایط محیط تطبیق داده شده است.

آمارهای اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه، تفسیر و تبیین هیدرولوژی ناومورفولوژی حوضه صورت گرفته است. در نهایت نتایج به دست آمده در قالب نقشه‌ها، نمودارها و جداولی ارائه شده و بر مبنای آنها تحلیل‌ها صورت گرفته است.

## بحث و نتایج

### ۱- شبکه‌ی زهکشی

از روش‌های رتبه‌بندی به عنوان یک پارامتر اساسی در تحلیل‌های مورفومتریک شبکه آب‌ها استفاده می‌شود و جهت انجام محاسبات و تحلیل‌های کمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از بین روش‌های رتبه‌بندی شیوه‌ی معمول استرالر در درجه‌بندی آبراهه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه انتخاب شده است (شکل ۲). منطقه‌ی مورد مطالعه دارای الگوی زهکشی شاخه‌ی درختی است که در مجموع عمل تخلیه را انجام می‌دهند.



شکل (۲) نقشه‌ی هیدرولوگرافی منطقه‌ی پژوهش و رتبه‌بندی آبراهه‌ها به روش استرالر

- نسبت انشعاب: نسبت بین تعداد شاخه‌های هر رتبه رود به تعداد شاخه‌های رتبه بالاتر را نسبت انشعاب گویند (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۷۲). تعداد انشعابات هر کدام از شاخه‌ها در جدول نشان داده شده است (جدول ۱)،

که با توجه به تعداد انشعابات نسبت انشعباب در حوضه‌ی تروال  $3/48$  می‌باشد که بیانگر مخروطی بودن شکل حوضه و احتمال زیاد وقوع سیل می‌باشد.

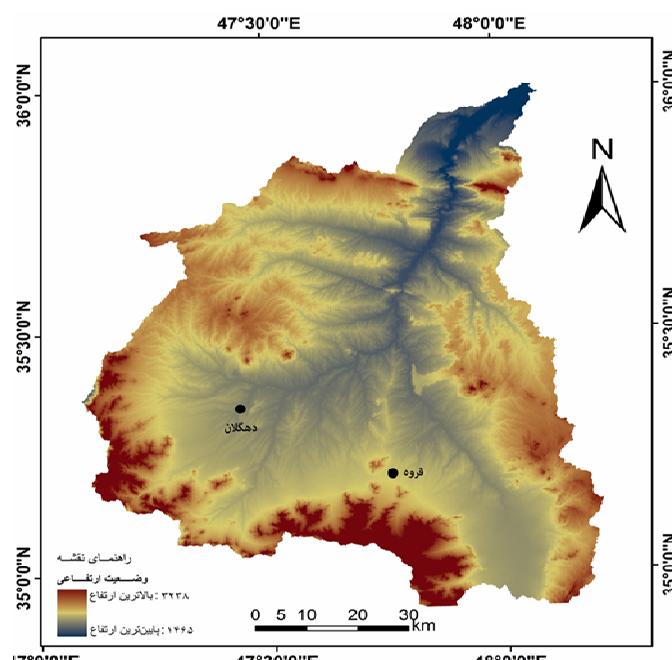
جدول (۱) رده‌بندی آبراهه‌ها، مقادیر طول آبراهه‌ها، تراکم زهکشی و نسبت انشعباب واحدهای هیدرومورفولوژیک

مساحت تراکم آبراهه	تعداد انشعباب آبراهه	نسبت انشعباب	مجموع طول (km)	تعداد انشعباب	رتبه ۴	رتبه ۳	رتبه ۲	رتبه ۱	(km <sup>2</sup> )
۰/۱۸۹	۳/۴۸	۱۳۱۸	۱	۲۵	۱۹	۹۸	۶۹۵۵		

- تراکم آبراهه: تراکم آبراهه‌ای بیانگر نسبت طول آبراهه به مساحت حوضه است که در واقع نشان دهنده‌ی میزان آبراهه در واحد سطح می‌باشد. تراکم آبراهه در حوضه‌ی مورد مطالعه  $1/189$ . کیلومتر بر کیلومترمربع می‌باشد که بیانگر پایین بودن ضریب زهکشی در حوضه است.

## ۲- خصوصیات فیزیکی حوضه

- ارتفاع حوضه: ارتفاع حوضه که نسبت به سطح دریا نشان داده می‌شود پارامترهای اقلیمی را به دست می‌دهد. مقدار ارتفاع میانه‌ی حوضه ارتفاعی است که  $50$  درصد مساحت بالاتر از آن و  $50$  درصد از مساحت پایین‌تر از آن قرار دارد. در حوضه‌ی تروال ارتفاع میانه‌ی حوضه  $1942$  متر از سطح دریا به دست آمده که نسبت به ارتفاع میانه بسیاری از نقاط ایران ارتفاع بالایی را نشان می‌دهد و با استفاده از ارتفاع و منحنی هیپسومتری و ارتفاع متوسط حوضه‌ی آبریز رسم شد (شکل ۳).



شکل (۳) نقشه‌ی ارتفاعی حوضه‌ی آبریز تروال

$$H = \frac{\sum(a \cdot h)}{A} = 1942 \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در رابطه‌ی (۱)  $H$ : میانه حوضه؛  $a$ : مساحت بین خطوط تراز؛  $h$ : ارتفاع متوسط بین خطوط تراز؛  $A$ : مساحت حوضه؛ (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۸۷)

- منحنی هیپسومتری: داشتن منحنی هیپسومتری در هیدرولوژی کاربرد فراوان دارد از جمله این که می‌توان از طریق آن مساحت سطوح پوشیده از برف را اندازه‌گیری کرده و یا با داشتن ارتفاع متوسط حوضه مقادیر دما، بارندگی و تبخیر در سطح حوضه را تخمین زد (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۸۷). برای رسم منحنی هیپسومتری به مساحت بین خطوط تراز، مساحتی از حوضه که بالاتر از تراز قبل از آن قرار دارد و درصدی از مساحت حوضه که بالاتر از تراز قبل از آن قرار دارد نیاز می‌باشد که در جدول (۲) این ارقام محاسبه شده و همچنین در شکل (۴) نمودار هیپسومتری حوضه نشان داده شده است.

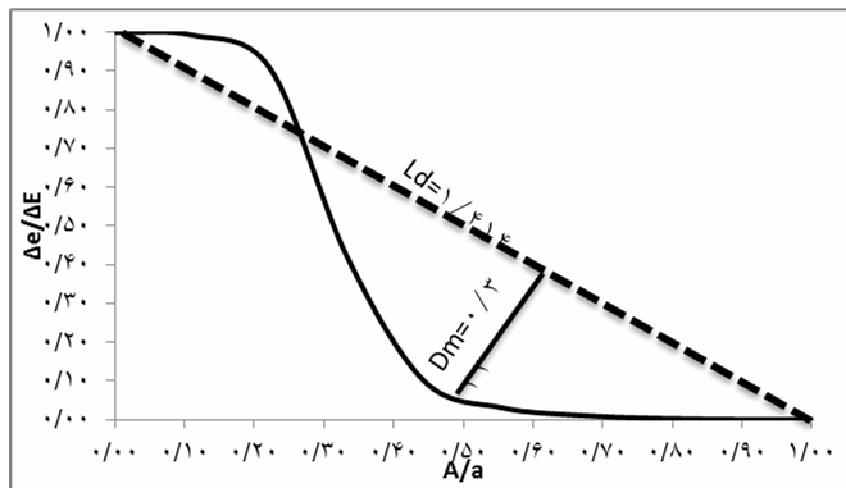
جدول (۲) جدول هیپسومتری حوضه‌ی آبریز ترووال

ارتفاع	مساحت بین ۲ خط تراز	مساحتی از حوضه که بالاتر از تراز قبل از آن قرار دارد	درصدی از مساحت حوضه که بالاتر از آن قرار دارد
۱۵۶۸	۴۸	۶۹۵۵	۱۰۰
۱۷۴۰	۵۹۰	۶۹۰۷	۹۹/۳
۱۹۱۲	۳۳۹۵	۶۳۱۷	۹۰/۸
۲۰۸۴	۲۲۳۴	۲۹۲۲	۴۲
۲۲۵۶	۴۷۴	۶۸۸	۹/۹
۲۴۲۸	۱۳۷	۲۱۴	۳/۱
۲۶۰۰	۵۴	۷۸	۱/۱
۲۷۷۲	۲۰	۲۴	۰/۳۵
۲۹۴۴	۴	۴	.۰۶
۳۱۸۹	۰	۰	۰

- منحنی هیپسومتری بی‌بعد: غالباً منحنی‌های هیپسومتری به صورت بی‌بعد نیز رسم می‌شوند تا بتوانند برای حوضه‌هایی که اطلاعات فیزیکی از آنها در دست نیست مورد استفاده قرار گیرند (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۹۰). برای این منظور کافی است در منحنی هیپسومتری اعداد محور افقی را بر مساحت حوضه و ارقام محور عمودی را بر بلندترین ارتفاع حوضه تقسیم کرد تا هر دو محور اعدادشان از صفر تا ۱ باشد. از روی این منحنی می‌توان نمایه‌های نسبت مساحت هیپسومتریک و عامل نیمرخ حوضه را به دست آورد. برای رسم هیپسومتری بی‌بعد در محور عمودی  $A/a$  و در محور افقی  $\Delta e/\Delta E$  استفاده می‌شود که در جدول (۳) مقادیر مربوطه نشان داده شده و همچنین در شکل (۵) منحنی بی‌بعد آن ترسیم شده است.

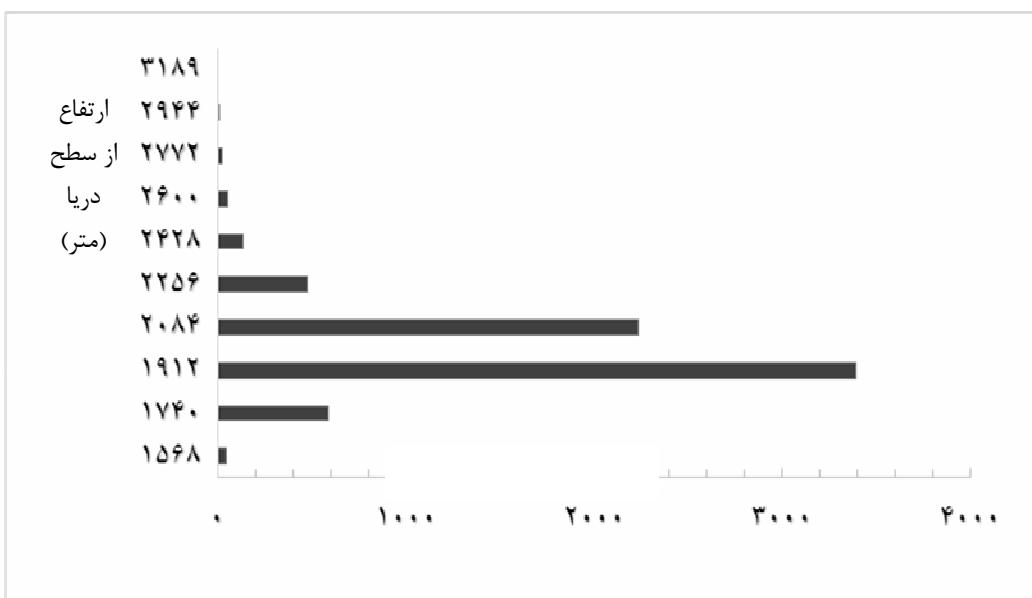
جدول (۳) مقادیر هیپسومتری بی بعد حوضه‌ی آبریز تروال

ارتفاع	مساحت	A/a	$\Delta e/\Delta E$
۱۵۶۸	۴۸	۱	۰
۱۷۴۰	۵۹۰	.۹۹۳	.۱۱۱
۱۹۱۲	۳۳۹۵	.۹۰۸	.۲۲۲
۲۰۸۴	۲۲۳۴	.۴۲۰	.۳۳۳
۲۲۵۶	۴۷۴	.۰۹۹	.۴۴۴
۲۴۲۸	۱۳۶	.۰۳۰	.۵۵۵
۲۶۰۰	۵۴	.۰۱۱	.۶۶۶
۲۷۷۲	۲۰	.۰۰۳	.۷۷۷
۲۹۴۴	۴	.۰۰۱	.۸۸۸
۳۱۸۹	۰	۰	۱



شکل (۵) نمودار هیپسومتری بی بعد حوضه‌ی آبریز تروال

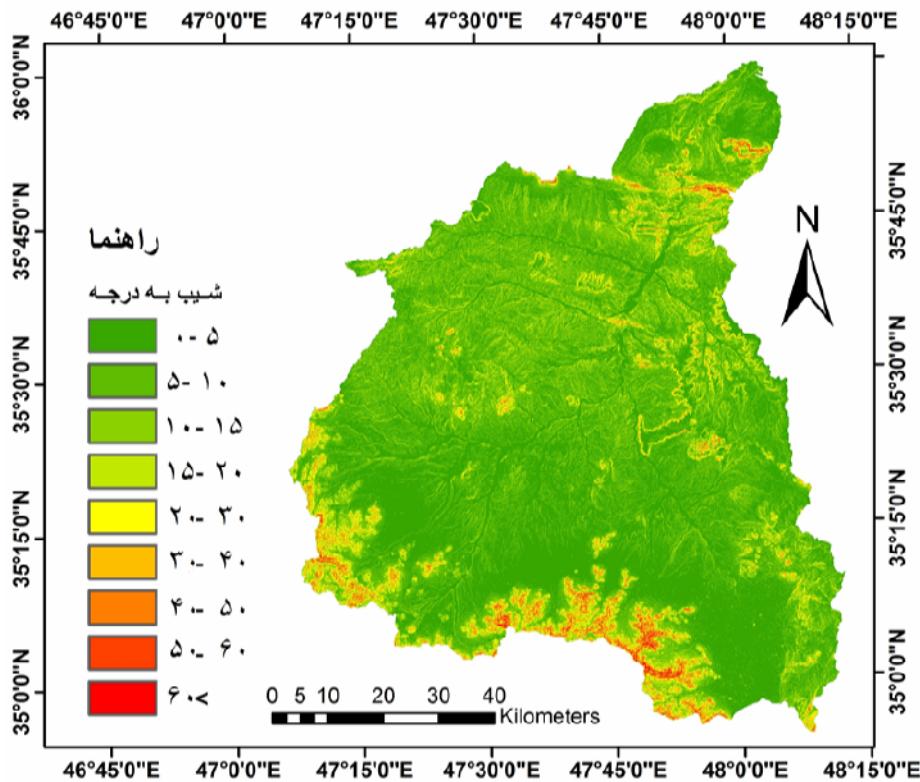
- عامل نیم‌رخ حوضه: اگر دو نقطه ابتدا و انتهای منحنی بی بعد هیپسومتریک را به هم وصل کنیم و طول این خط و حداقل فاصله‌ی آن تا منحنی هیپسومتری را بر هم تقسیم کنیم عامل نیم‌رخ حوضه به دست می‌آید که همان‌گونه در شکل (۵) نشان داده شده است این شاخص برای حوضه‌ی تروال ۰.۰۸ می‌باشد. همان‌طور که در نمودار آلتی متری حوضه دیده می‌شود (شکل ۶)، بیشترین مساحت حوضه در ارتفاع ۱۹۱۲ تا ۲۰۸۴ قرار دارد. در نمودار هیپسومتری نیز مشاهده می‌شد که متوسط ارتفاع حوضه نیز در این منحنی میزان قرار دارد.



شکل (۶) نمودار آلتی متري حوضه‌ی آبريز تروال

### ۳. ارزیابی وضعیت شیب و جهت شیب حوضه

- شیب حوضه: درجه، طول، شکل و جهت شیب از جمله خصوصیاتی است که در فرسایش خاک دخالت دارند (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۱۲). با افزایش شیب عمومی سطح حوضه، فرصت لازم برای نفوذ کاهش یافته و با افزایش شیب حوضه، زمان تمرکز کاهش می‌یابد (نجماei، ۱۳۶۹: ۱۵۵؛ خیریزاده آروق، ۱۳۹۱: ۴۳). شیب زیاد باعث تسريع جریان آب می‌شود و به همان نسبت، میزان فرسایش و هدر رفتان آب، افزایش پیدا می‌کند. طول دامنه نیز اهمیت دارد؛ چون هر قدر دامنه شیب، طول بیشتری داشته باشد، بر مقدار سیلان و فرسایش افزوده خواهد شد. شکل دامنه و جهت شیب نیز مهم هستند، شیب اراضی حوضه، که با به دست آوردن تفاضل حداکثر ارتفاع و حداقل ارتفاع حوضه و تقسیم آن بر رادیکال مساحت به دست می‌آید این مقدار برای منطقه مورد نظر ۱۹٪ به دست آمد. در نقشه‌ی زیر که شیب حوضه را نشان می‌دهد (شکل ۷) ملاحظه می‌شود که شیب حوضه به جز در قسمت‌های جنوبی و خط الرأس‌ها غالباً یکنواخت بوده و این شیب کم باعث افزایش نفوذ بارندگی‌های ناچیز منطقه نیز هست که رواناب حوضه را به شدت کاهش می‌دهد.

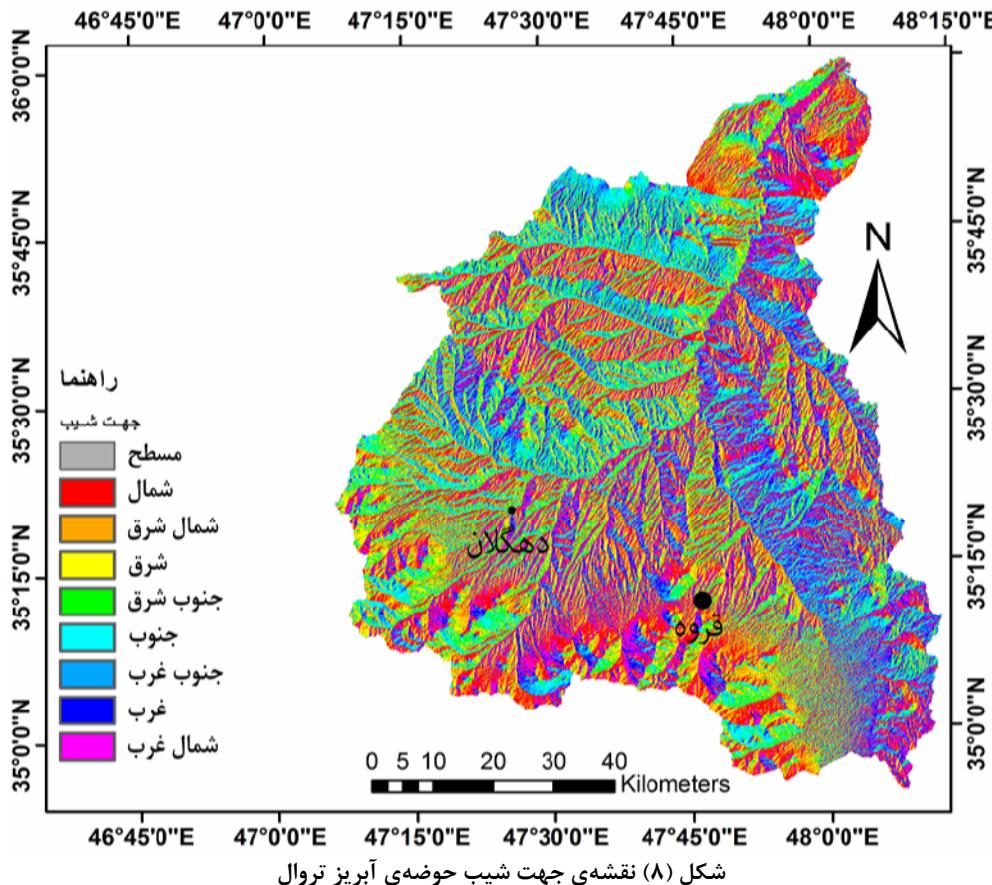


شکل (۷) نقشه‌ی شیب حوضه‌ی آبریز ترووال

- جهت شیب حوضه: عامل جهت شیب بر بعضی از فرایندهای هیدرولوژیک مانند ذوب برف و تنوع پوشش گیاهی تأثیرگذار است. در حوضه‌ی تروال غالب شیب‌های حوضه در جهت شمال و شمال شرقی قرار دارند (شکل ۸؛ جدول ۴) که به دلیل قرار داشتن حوضه در نیمکره شمالی انرژی کمتری را از خورشید دریافت می‌کند اما به دلیل اینکه بارش‌های منطقه اکثرًا از نوع باران است در نتیجه جهت شیب تأثیر چندانی روی فرایند هیدرولوژیک و ژئومورفولوژیک ندارد و به نظر می‌رسد که جهت شیب اثر مستقیمی در آبدهی و فرسایش دارد شیب‌های همدرجه ولی با جهات متفاوت یک منطقه معمولاً به طور یکسان دارای خطر فرسایش نیستند، اثر عمدۀ جهت شیب در میزان آبدهی در فرسایش به علت اختلاف میکروکلیمای موجود در شیب‌های مختلف است.

جدول (۴) محاسبه‌ی درصد مساحت هر کدام از جهت‌ها

مساحت(درصد)	مسطح	جهت	طبقه‌بندی جهت
۷/۶	۲۱/۳	شمال	شمال غرب
۱۴/۵	۱۰/۶	شمال شرق	جنوب غرب
۸/۵	۷/۶	شرق	جنوب شرق
۹/۲	۱۰/۵	جنوب	جنوب
۷/۶	۱۰/۲	غرب	شمال غرب

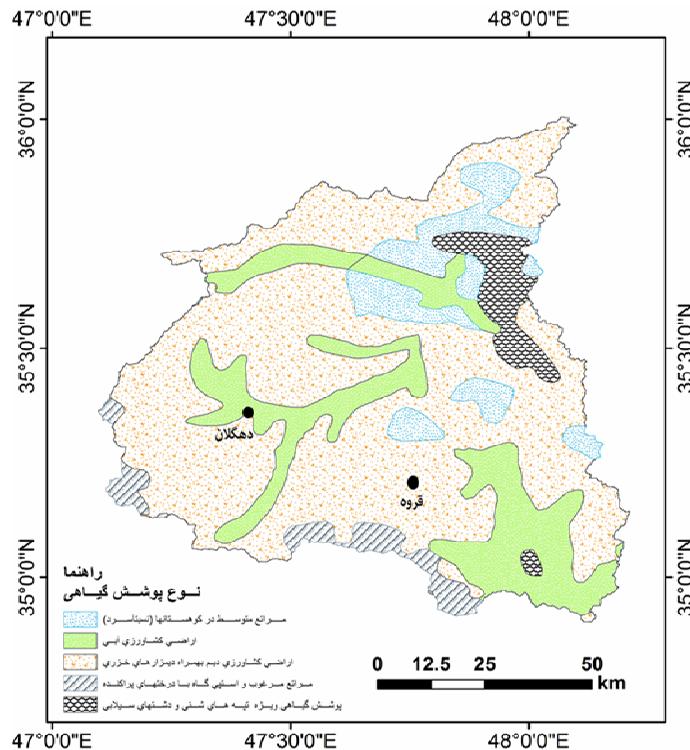


شکل (۸) نقشه‌ی جهت شیب حوضه‌ی آبریز ترووال

#### ۴. وضعیت پوشش حوضه

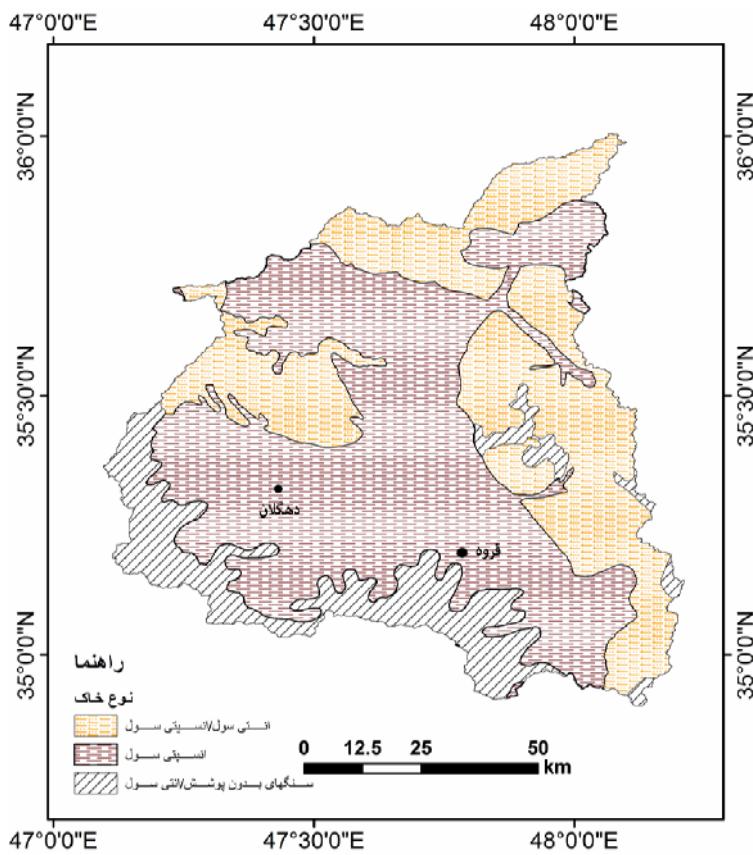
- پوشش گیاهی: وجود پوشش گیاهی در هر منطقه سرعت جریان‌های سطحی را کاهش داده و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل خاک می‌گردد. در نتیجه تأثیر فراوانی بر کاهش سیلاب‌های مخرب خواهد داشت (همتزاده و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۹). یک خاک پوشیده از گیاهان متراکم حداقل مقاومت را در برابر جریان آب دارد، بنابراین در محدوده‌ای که گیاهان متراکم داشته باشد حتی با وجود بارندگی شدید و شیب‌های تند، فرسایش وجود نخواهد داشت و در صورت وجود هم بسیار کم خواهد بود. پوشش گیاهی قسمتی از باران را دریافت کرده و در خود نگه می‌دارد که بعداً تبخیر می‌شود و به این ترتیب از جمله آبدهی و در نتیجه از میزان فرسایش کاسته می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۸: ۱۷۸). شکل (۹) پراکندگی انواع پوشش گیاهی حوضه ترووال را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود اکثر حوضه‌ی تحت بررسی را اراضی کشاورزی دیم و دیم زارهای خزری پوشش می‌دهد. در ارتفاعات جنوبی حوضه که بارندگی نسبتاً بیشتری دریافت می‌کند و همچنین در مسیر آبراهه‌های اصلی قسمت‌های پایین‌دست زمین‌های کشاورزی آبی نیز به صورت پراکنده

دیده می‌شوند. سایر قسمت‌های حوضه مراعع مرغوب و متوسط و ضعیف می‌باشند، در نتیجه این حوضه قسمت زیادی از آب حاصل از بارندگی را نفوذ می‌دهد و مانع از فرسایش خاک می‌شود.



شکل (۹) نقشه‌ی وضعیت پوشش گیاهی حوضه‌ی آبریز تروال

- نوع خاک: همان‌گونه که در نقشه پوشش خاک حوضه نیز مشاهده می‌شود (شکل ۱۰)، اینسپیتی سول‌ها پوشش عمدۀ خاک منطقه را تشکیل می‌دهند، اینسپیتی سول‌ها خاک‌هایی هستند که نسبت به انتی‌سول‌ها متکامل‌تر هستند، ممکن است این خاک‌ها برای استفاده‌های کشاورزی و غیرکشاورزی به طور گسترده‌مد نظر قرار گیرد. انتی‌سول‌ها نیز در قسمت‌های وسیعی از حوضه به صورت پراکنده دیده می‌شوند. این خاک‌ها تکامل نیافته و جوان هستند و عوامل مختلفی از جمله سنگ مادری مقاوم به هوازدگی، شیب تند، رسوبات جدید و اخیر آبرفتی و رسوبات بادی، حاصلخیز نبودن و فرسایش زیاد که مانع از توسعه‌ی پروفیلی خاک می‌گردد، باعث عدم توسعه آن‌ها شده است. این خاک‌ها در زمین‌های سراشیب و صخره‌ای به وجود می‌آیند. این خاک‌ها معمولاً در نواحی کوهستان تشکیل می‌شود. وجود این‌گونه خاک‌ها حاکی از این نکته است که سطح زمین همواره از خاک‌های عمیق پوشیده نبوده و عملیات کشاورزی منجر به تشکیل خاک‌های عمیق گردیده‌اند. به عبارت دیگر خاک‌های عمیق و حاصلخیز زمانی آنتی‌سول بودند و در حقیقت آنتی‌سول‌ها خاک‌های حد فاصل می‌باشند که به مرور زمان پروفیل‌های کامل افق‌های مشخص از آن‌ها تشکیل یافته است.



شکل (۱۰) نقشه نوع خاک حوضه‌ی آبریز تروال

##### ۵. محاسبه‌ی زمان تأخیر، زمان تمرکز و میزان رواناب

زمان تأخیر: برای به دست آوردن زمان تأخیر از روش پیشنهادی سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا برای حوضه‌های تروال استفاده شده است. زمان تأخیر بر حسب تعریف فاصله‌ی زمانی بین مرکز بارندگی تا اوج هیدروگراف است که زمان تأخیر حوضه  $1/65$  ساعت و زمان تمرکز آن  $2/75$  ساعت می‌باشد که نسبت به اعداد به دست آمده در روش‌های فوق بسیار به واقعیت نزدیک‌ترند.

$$T_{\log} = \frac{L^{0/8}(S+1)^{0/7}}{1900Y^{0/5}} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

در رابطه‌ی (۲):  $L$ : طول آبراهه‌ی اصلی بر حسب فوت؛  $Y$ : متوسط شیب حوضه به درصد

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \frac{1000}{69} - 10 = 4/49$$

CN: نمایه خصوصیات حوضه از نظر نفوذپذیری (علیزاده، ۱۳۸۹: ۴۹۸)

$$T_{\log} = \frac{59330 / 7^{0/8} (4 / 49 + 1)^{0/7}}{1900(19)^{0/5}} = 1 / 65$$

- زمان تمرکز: حداقل زمانی که طول می‌کشد تا آب از دورترین نقطه حوضه‌ی مسیر هیدرولوژیکی خود را طی می‌کند تا به نقطه‌ی خروجی برسد (علیزاده، ۱۳۸۹: ۵۰۱). زمان تمرکز حوضه‌ی مورد مطالعه با استفاده از فرمول شواب به دست آمده است.

$$TC = \frac{L^{0/8} \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0/7}}{4470(S)^{0/5}} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

$$TC = \frac{180840^{0/8} \left[ \left( \frac{1000}{69} \right) - 9 \right]^{0/7}}{4470(2/4)^{0/5}} = 2 / 75$$

- مقدار رواناب: با توجه به روش شماره منحنی و نگهداشت رطوبت از طریق رابطه زیر به دست می‌آید. رواناب سطحی به مقدار بارندگی، نگهداشت آب در گودال‌ها و نیز نگهداشت رطوبت توسط خاک بستگی دارد (علیزاده، ۱۳۸۹: ۵۲۰). به دلیل میزان بارندگی ناچیز حوضه، شبیب کم آن، رسوبات منفصل و نفوذ زیاد میزان رواناب حوضه‌ی تروال بسیار ناچیز است.

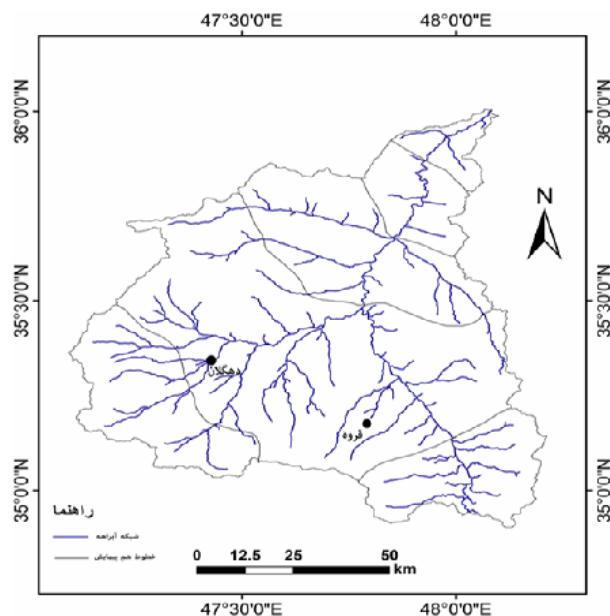
$$R = \frac{(P - 0 / 25)^2}{(P + 0 / 85)} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

در رابطه‌ی (۴): R: ارتفاع رواناب (اینج); P: ارتفاع بارندگی (اینج)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 114 / 1 \quad R = \frac{(44 / 9 - 0 / 2)114 / 11^2}{(44 / 9 + 0 / 8)114 / 11} = 3 / 5$$

## ۶. خطوط هم پیمایش

شکل (۱۱) نقشه‌ی خطوط ایزوکرونال یا هم پیمایش حوضه را نمایش می‌دهد که از نرمافزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج شده است. خطوط ایزوکرونال، خطوطی هستند که زمان تمرکز یکسانی دارند. فواصل این خطوط بر مبنای اعداد فرمول زمان تمرکز تعیین شده و بر روی خطوط زهکشی فواصل به صورت یکسان اندازه‌گیری شده و خطوط علامت‌گذاری شده‌اند.



شکل (۱۱) نقشه ایزوکرونال حوضه‌ی آبریز تروال

## ۷. تحلیل و بررسی رواناب سطحی حوضه‌ی آبریز تروال

از روش‌های قابل‌اطمینان برای تخمین رواناب حوضه روش (مدت – مساحت) است که در آن شدت بارش را در یک بارندگی چند ساعته اندازه می‌گیرند (جدول ۵). با استفاده از مساحتی که بین خطوط ایزوکرونال وجود دارد میزان رواناب حوضه به دست می‌آید. رواناب به تدریج افزایش یافته و سپس کم می‌شود. البته با توجه به میزان کم بارندگی اعداد به دست آمده برای رواناب بسیار زیاد هستند که حاکی از مساحت زیاد حوضه می‌باشند. ضریب رواناب حوضه نیز از جدول ۱۳-۱ (علیزاده، ۱۳۸۹: ۵۳۴) به دست آمده و با توجه به شبیه متوسط حوضه و پوشش حداکثری اراضی مرتعی آن و خاک‌های رسی لومی عدد  $0/36^{\circ}$  در نظر گرفته شده است.

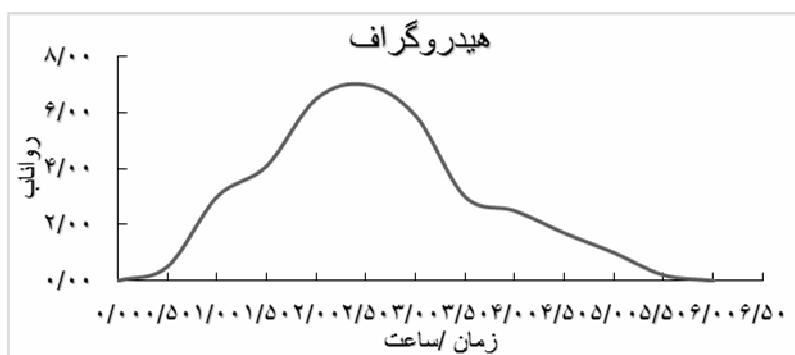
جدول (۵) شدت بارندگی حوضه

ساعت	شدت بارندگی
۱	۳
۲	۴
۳	۳/۵
۴	۲
۵	۱/۵
۶	۱

$$Q_1 = 0/278C(A_1 \times I_1) \quad Q_2 = 0/278C(A_2 I_2 + A_3 I_3) \quad A_3 I_3 + Q_3 = 0/278C(A_4 I_4 + A_5 I_5) \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

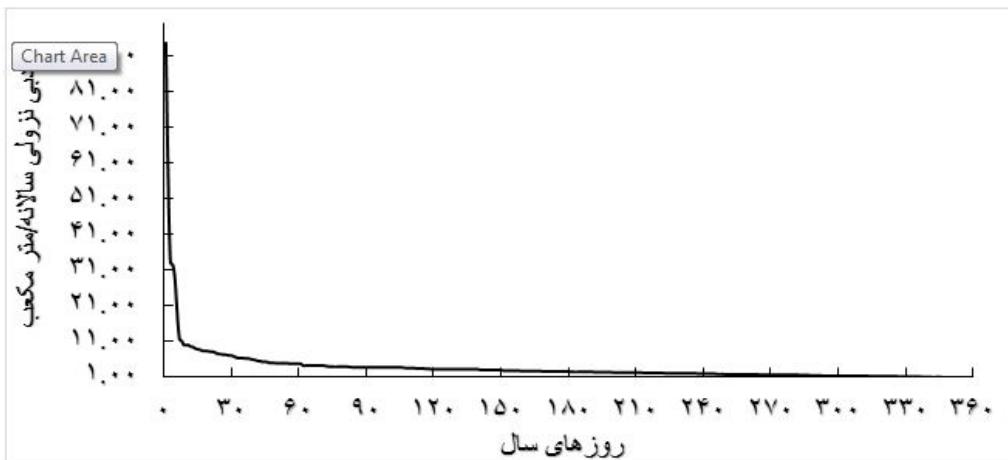
$$Q_1 = 104/33Q_2 = 377/04 \quad Q_3 = 890/65 \quad Q_4 = 19397/4 \quad Q_5 = 2174/5 \quad Q_6 = 2124/1$$

۸. هیدروگراف: نموداری است که تغییرات دبی را نسبت به بارش نشان می‌دهد (علیزاده، ۱۳۸۹). شکل ۱۲ وضعیت دبی حوضه را در یک بارندگی با تداوم ۶/۵ ساعت نشان می‌دهد. چون در حالت عادی در رودخانه‌ی حوضه، هیچ آبی جریان نداشته است، منحنی از صفر شروع می‌شود و کم‌کم اوج می‌گیرد. در بیشترین شدت بارندگی به هفت مترمکعب می‌رسد و کم‌کم نزول کرده تا دوباره به صفر برسد.



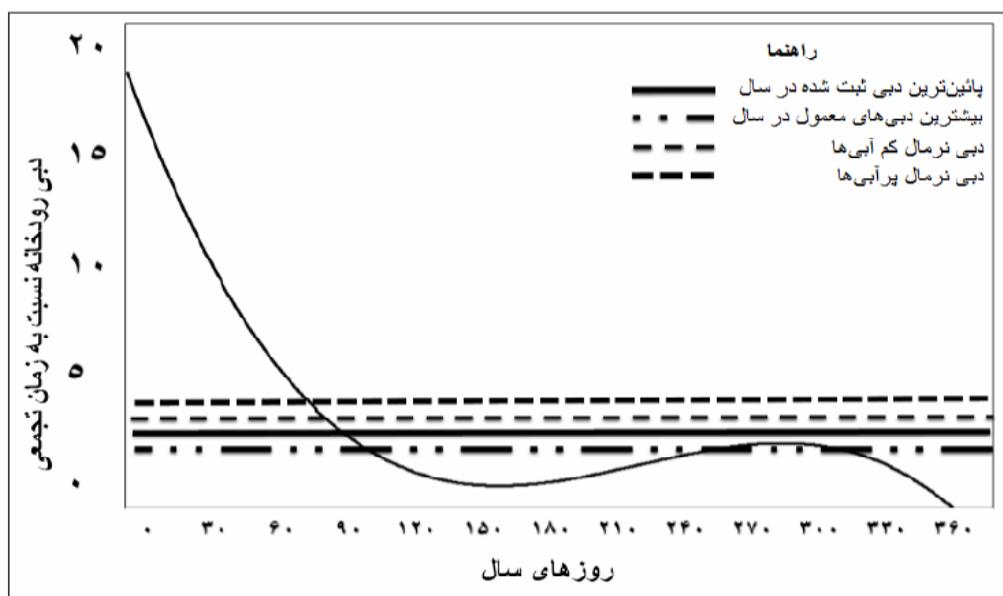
شکل (۱۲) هیدروگراف بارندگی حوضه‌ی آبریز تروال

۹. وضعیت دبی سالانه: برای رسم منحنی دبی سالانه، دبی سالانه در محدوده‌ی خروجی در محیط اکسل به ترتیب نزولی برای تمام روزهای سال مرتب شده است. با قرار دادن اعداد به دست آمده در ستون عمودی و روزهای سال در محور افقی نمودار دبی سالانه به دست آمده است (شکل ۱۳) که نشان می‌دهد دبی خروجی از حدود صد مترمکعب در روز به سرعت کم شده تا به حدود ده مترمکعب می‌رسد و سپس از روند سریع نزولی آن کاسته می‌شود تا در بعضی از روزهای سال به صفر می‌رسد.



شکل (۱۳) منحنی فروکش دبی سالانه حوضه‌ی آبریز تروال

۱۰. **دبی کلاسه:** شکل (۱۴) دبی کلاسه حوضه را نشان می‌دهد که از رسم دبی رودخانه نسبت به زمان تجمعی به دست می‌آید و چهار منحنی آن پارامترهای زیر را نشان می‌دهند. منحنی خط‌چین اول دبی نرمال در حالت پرآبی را نشان می‌دهد و معادل مقدار جريانی است که در ۹۱ روز از سال دبی مساوی یا بیشتر از آن باشد. دبی نرمال در حالت کم آبی، یعنی جريانی را نشان می‌دهد که در ۲۷۴ روز از سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در بین تمام دبی‌های به دست آمده اختلاف بالایی دیده نمی‌شود و نشان از توزیع یکنواخت بارش در فصل سرد سال بوده و این امر خود از اقلیم منطقه پیروی می‌کند.



شکل (۱۴) منحنی تداوم جریان (دبی کلاسه) حوضه‌ی آبریز تروال

### نتیجه‌گیری

شیب منطقه‌ی مورد مطالعه حدود ۱۹ درصد می‌باشد این شیب به جز در قسمت‌های جنوبی و خط الرأس‌ها غالباً یکنواخت بوده و باعث افزایش نفوذ بارندگی‌های ناچیز منطقه نیز می‌شود که تأثیر بسزایی در کاهش میزان رواناب حوضه دارد. غالب شیب‌های حوضه در جهت شمال و شمال شرقی قرار دارند که به دلیل قرار داشتن حوضه در نیمکره‌ی شمالی انرژی کمتری را از خورشید دریافت می‌کند اما به دلیل اینکه بارش‌های منطقه اکثرأ به صورت مایع است در نتیجه جهت شیب تأثیر چندانی روی فرایند هیدرولوژیک و ژئومورفولوژیک ندارد اکثر محدوده‌های حوضه‌ی تحت بررسی را اراضی کشاورزی دیم و دیم‌زارهای خزری پوشش می‌دهد و همچنان در مسیر آبراهه‌های اصلی قسمت‌های پایین‌دست زمین‌های کشاورزی آبی نیز به صورت پراکنده دیده می‌شوند. سایر قسمت‌های حوضه، مراتع مرغوب و متوسط و ضعیف می‌باشند، به نظر می‌رسد که این حوضه قسمت زیادی از آب حاصل از بارندگی را نفوذ می‌دهد و مانع از فرسایش خاک می‌شود با وجود باران رواناب حاصل از آن همچنان اندک است. بنابراین با توجه به اینکه اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی تنک و در مواردی نسبتاً متراکم هستند، زمان تأخیر حوضه  $1/65$  ساعت و زمان تمرکز آن  $2/75$  ساعت می‌باشد که به نسبت اعداد به دست آمده در روش‌های فوق بسیار به واقعیت نزدیک‌ترند. در نهایت چنین نتیجه‌گیری می‌شود که به دلیل میزان بارندگی ناچیز حوضه، شیب کم آن، رسوبات منفصل و نفوذ زیاد میزان رواناب حوضه‌ی تروال بسیار ناچیز است و فرسایش پذیری این حوضه کم می‌باشد و منحنی تغییرات دبی سیل نسبت به زمان نقطه‌ی اوج ملایم‌تری دارد.

## منابع

- خیری‌زاده آروق، منصور؛ ملکی، جبرائل و حمید عمونیا (۱۳۹۱)، «پنهانه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوضه‌ی آبریز مردق چای با استفاده از مدل ANP»، نشریه‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۳۹۱، شماره‌ی ۳، صص ۳۹-۵۶.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا و صیاد اصغری سراسکانی (۱۳۹۰)، «تحلیل وضعیت پایداری مجرای رودخانه‌ی قزل‌اوزن با استفاده از روش‌های تنش برشی، شاخص مقاومت نسبی بستر و مطالعات صحراوی»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره‌ی ۱، صص ۳۳-۴۷.
- رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۸)، «فرسایش آبی و کنترل آن»، چاپ ششم، انتشارات تهران.
- زمردیان، محمدجعفر؛ خاکپور، معصومه و سعدالله ولایتی (۱۳۹۱)، «تحلیل لندفرم‌های هیدرولوژیک حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی مهارلو بر مبنای روابط تعاملی فرایندهای مورفوگلیماتیک، مورفوکلیماتیک و هیدرومورفیک»، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره‌ی ۱۹، صص ۴۷-۷۰.
- شیرزادی، عط الله؛ چبی، کامران و پرویز فتحی (۱۳۹۱)، «برآورد هیدرولوگراف واحد مصنوعی با استفاده از تحلیل منطقه‌ای سیلاب و پارامترهای ژئومورفولوژیکی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌های آبخیز مارنج و کانی سواران، کردستان)»، مجله‌ی علم و فنون کشاورزی، زمستان ۱۳۹۰، شماره‌ی ۵۸، صص ۶۱-۷۴.
- عابدینی، موسی (۱۳۸۸)، «بررسی کمی مسائل هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز لیقوان با تأکید بر فرسایش خاک و رسوب‌دهی (جنوب شرق استان اردبیل)»، نشریه‌ی جغرافیا و توسعه، شماره پانزده، صص ۷۱-۸۸.
- عزتیان، ویکتوریا و ذبیح‌للہ دانش‌آموز (۱۳۹۱)، «بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبخیز خیرآباد»، مجله‌ی علمی-پژوهشی آمایش سرزمین، دوره چهارم، شماره‌ی دوم، صص ۱۱۳-۱۳۹.
- علیزاده، امین (۱۳۹۱)، «اصول هیدرولوژی کاربردی»، چاپ سی و چهارم، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی.
- قهوری‌نیزه (۱۳۹۰)، «تحولات کواترنری، ضرورت مدیریت به هم پیوسته آب‌وخاک در حوضه‌ی قزل‌اوزن»، نشریه‌ی کاربردی منابع آب زمین، صص ۲۸-۳۴.
- موحد دانش، علی‌اصغر (۱۳۸۹)، «هیدرولوژی آب‌های سطحی»، چاپ ششم، تهران، انتشارات سمت.
- نیری، هادی؛ زندی، سحر و عثمانی پریسا (۱۳۹۴)، «بررسی عوامل مؤثر در تغییر شکل مجرای رودخانه‌ی ترووال استان کردستان»، کنفرانس بین‌المللی توسعه، با محوریت کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، تبریز.
- همت‌زاده، یلدا؛ بارانی، حسین و آتنا کبیر (۱۳۸۸)، «نقش مدیریت پوشش گیاهی بر میزان رواناب سطحی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز کچیک، استان گلستان)»، مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، جلد شانزدهم، شماره‌ی ۲، صص ۲۱۵-۲۲۸.
- Alamilla, S.K., Novotny, V., & Bartosova, A., (2001), “GIS Based Approach to Floodplain Delineation and Flood Risk Estimation Applied to the Oak Creek Watershed” (Master's Thesis, Marquette University).

- Lundekvam, H.E., Romstad, E. & Øygarden, L., (2003), “**Agricultural Policies in Norway and Effects on Soil erosion**”, Environmental Science & Policy, 6(1), PP. 57-67.
- Mertes, L.A., Dunne, T., & Martinelli, L.A., (1996), “**Channel-floodplain Geomorphology along the Solimões-Amazon River**”, Brazil. Geological Society of America Bulletin, 108(9), PP. 1089-1107.
- Pujol, L., & Sanchez-Cabeza, J.A., (2000), “**Natural and Artificial Radioactivity in Surface Waters of the Ebro River Basin (Northeast Spain)**”, Journal of Environmental Radioactivity, 51(2), PP. 181-210.
- Scott, M.L., Auble, G.T., & Friedman, J.M., (1997), “**Flood dependency of Cottonwood Establishment along the Missouri River**”, Montana, USA. Ecological Applications, 7(2), PP. 677-690.
- Thorne, C.R., (2002), “**Geomorphic Analysis of Large Alluvial Rivers**”, Geomorphology, 44(3), PP. 203-219.
- Geng, W.A.N.G., & Wei, W.U., (2007), “**Design of an Early Warning System of Water Security for Liaohe River Based on GIS**”, Journal of Dalian University of Technology, 42(7), PP. 175-179.