جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه ـ وزارت نیرو

دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی در حوضه‌های آبخیز

نشریه شماره ۱۶۰

معاونت امور فنی
دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه - وزارت نیرو

دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی در حوضه‌های آبخیز

نشریه شماره ۱۶۰

معاونت امور فنی
دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

۱۳۷۵

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۵/۰۰/۹۴

فهرستبرگه

سازمان برنامه و بودجه . دفتر تحقیقات و معیارهای فنی
دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی در حوضه‌های آبخیز/معاونت امور فنی، دفترتحقیقات و معیارهای فنی ؛ وزارت نیرو،[امور آب].- تهران: سازمان‌برنامه و بودجه ، مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات، ۱۳۷۵.
۵۲ ص.: مصور.- (سازمان‌برنامه و بودجه.دفتر تحقیقات و معیارهای فنی؛ نشریه شماره۱۶۰)(انتشارات سازمان‌برنامه و بودجه؛۷۵/۰۰/۹۴)

مربوط به دستورالعمل شماره:۱۵۱۰-۷۳۱۰/۵۶-۱۰۲ مورخ ۷۵/۱۱/۶
کتابنامه:ص.۵۱-۵۲

۱.آبخیزداری - دستنامه‌ها. ۲.آبشناسی. ۳.جغرافیای طبیعی.الف. ایران.وزارت نیرو.امورآب. ب. سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک علمی‌اقتصادی - اجتماعی و انتشارات. ج. عنوان. د.فروست.

ش.۱۶۰ ۲س/۳۶۸ TA

دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی در حوضه‌های آبخیز
تهیه کننده: دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

ناشر:سازمان برنامه و بودجه.مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات
چاپ اول: ۵۰۰ نسخه، ۱۳۷۵
قیمت: ۳۵۰۰ریال
چاپ و صحافی: موسسه زحل چاپ
همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

بسمه تعالی

ریاست جمهوری

سازمان برنامه و بودجه

به:تمامی دستگاه‌های اجرایی و مهندسان مشاور	**شماره:** **۱۰۲-۷۳۱۰/۵۶-۱۵۱۰**
	تاریخ: **۱۳۷۵/۱۱/۶**

موضوع:دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی در حوضه‌های آبخیز

به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی به پیوست نشریه شماره ۱۶۰ دفتر تحقیقات ومعیارهای فنی این سازمان با عنوان "دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی در حوضه‌های آبخیز" از گروه دوم ابلاغ می‌گردد .

تاریخ اجرای این دستورالعمل ۱۳۷۶/۳/۱ می باشد.

شایسته است دستگاه‌های اجرایی و مهندسان مشاور مفاد نشریه یاد شده و ضوابط و معیارهای مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرحهای عمرانی مورد استفاده قرار دهند.

حمید میر زاده

معاون رییس جمهور و رییس

سازمان برنامه و بودجه

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۳/۲۳ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان برنامه وبودجه (دفتر تحقیقات ومعیارهای فنی) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحبنظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از بخش عمران آب مهندسین مشاور ره شهر ، برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحبنظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

زمستان ۱۳۷۵

ترکیب اعضاء کمیته

اسامی اعضاء کمیته فنی شماره ۱۴-۲ که در تهیه این استاندارد مشارکت داشته‌اند بشرح زیر می‌باشد :

آقای رسول جلالی	**کارشناس منابع طبیعی**
آقای نادر قاسم‌زاده	**کارشناس آبیاری و آبادانی**
آقای محمود مسچی	**کارشناس آبیاری**
آقای علی ملک	**کارشناس منابع آب و آبخیزداری**
آقای محمد مهدوی	**کارشناس هیدرولوژی**
آقای فرخ میرزاپور	**کارشناس آبخیزداری**

ضمناً آقایان علی امینی، چنگیز فولادی‌نشتا و اردشیری در تهیه پیش‌نویس اولیه این استاندارد مشارکت داشته‌اند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
۱- روش مطالعه	۲
۲- مطالب مورد مطالعه	۲
۲-۱ تقسیمات واحد هیدرولوژیک	۲
۲-۲ شکل آبخیز	۴
۲-۳ بررسی خصوصیات فیزیکی رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی و فرعی	۱۱
۲-۴ پستی و بلندی	۱۹
۲-۵ شکل شبکه زهکشی طبیعی	۲۷
۲-۶ شیب حوضه	۲۹
۲-۷ جهت شیب	۳۴
۲-۸ زمان تمرکز	۳۶
منابع و مآخذ	۴۱

مقدمه

فیزیوگرافی در حقیقت مطالعه خصوصیات فیزیکی و وضعیت ریخت‌شناسی یک حوضه آبخیز است که اثر تعیین‌کننده‌ای بر خصوصیات هیدرولوژیک و رژیم آبی آن دارد.

آگاهی به خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه با داشتن اطلاعاتی از شرایط آب و هوایی منطقه می‌تواند تصویر نسبتاً دقیقی از کارکرد کمی و کیفی سیستم هیدرولوژیک آن حوضه به دست دهد.

خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌هانه فقط به‌طور مستقیم بر رژیم هیدرلوژیک آنها و از جمله میزان تولید آبی سالانه، حجم سیلابها، شدت فرسایش خاک و میزان رسوب تولیدی اثر می‌گذارد، بلکه به‌طور غیر مستقیم و نیز با اثر بر آب و هوا و وضعیت اکولوژی و پوشش گیاهی به میزان زیادی رژیم آبی حوضه آبخیز را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد.

پاره‌ای از خصوصیات فیزیوگرافی از جمله ارتفاع و جهت شیب می‌توانند بسیاری از عوامل آب و هوایی نظیر : درجه حرارت و تغییرات آن، نوع و میزان ریزش جوی سالانه، میزان تبخیر و تعرق را تشدید و یا تعدیل کنند و به‌طور کلی موجب پیدایش انواع مختلف آب و هوای موضعی [1] و یا حتی منطقه‌ای [2] شوند، از این‌رو لازم است که در مطالعات آبخیزداری یک حوضه قبل از هر چیز خصوصیات فیزیوگرافی آن، مورد مطالعه قرار گیرد.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه اثر کمی خصوصیات فیزیوگرافی و توپوگرافی بر آب و هوا و رژیم آبی یک حوضه آبخیز صورت گرفته و روشهای زیادی در چگونگی بررسی هر یک از این عوامل ارائه شده است.

دراین مجموعه سعی شده است که آن دسته از خصوصیات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوضه‌های آبخیز که از اهمیت بیشتری در مطالعات آبخیزداری برخوردارند مورد بررسی قرار گیرد و در مورد هر یک تعدادی از متداول ترین و بهنگام ترین روش‌های مطالعاتی ارائه و موارد کاربرد هر یک تشریح شود، به علاوه در مورد تعدادی از این روش‌ها به اقتضای ضرورت، مثالهای عملی نیز از بعضی از حوضه‌های آبخیز کشور داده شده است.
لازم است گفته شود که در این نشریه سعی بر این است که روش‌های ارائه شده بتواند حداقل نیازهای مربوط به استاندارد مطالعات آبخیزداری را تامین کند و تسهیلات لازم را دراین زمینه برای مطالعه کنندگان، مهندسان طراح ، مشاوران و کارفرمایان برای بررسی خصوصیات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوضه‌های آبخیز فراهم نماید و بالاخره به صورت زبان مشترکی در تبادل نظر بین آنان مورد استفاده قرار گیرد.

---

1 - Micro Climate

2 - Macro Climate

۱- روش مطالعه

مطالبی که در این مجموعه آورده شده است، مبتنی برفهرست خدمات مرحله شناسایی و توجیهی مطالعات آبخیزداری است (نشریه‌های شماره ۲۵ و ۲۶ طرح تهیه استاندارد مهندسی آب کشور) که برای مطالعه بخش فیزیوگرافی مطالعات حفاظت خاک و آبخیزداری تهیه شده است، به‌منظور حفظ یکنواختی در تدوین این دستورالعمل سعی شده است حتی الامکان اصول مشخص و ثابتی رعایت گردد. به همین منظور موضوع هر مطلب تحت ۴ عنوان زیر مورد بحث واقع شده اند:

- تعریف[1]
- کاربرد[2]
- روش کار[3]
- مثال عملی[4]

۲- مطالب مورد مطالعه

۲-۱ تقسیمات واحد هیدرولوژیک

گرچه زهکش بالقوه طبیعی یک آبخیز، رودخانه مشخصی است، و حوضه آبخیز هم معمولاً به‌نام همین رودخانه نامیده می‌شود، ولی غالباً در آبخیزهای بزرگ، رودخانه اصلی از الحاق چندین رودخانه دیگر تشکیل می‌شود و هریک از این رودخانه‌ها خود مشتمل بر چندین آبراهه اصلی و فرعی است.

به‌طورکلی در مطالعات آبخیزداری برای شناخت بهتر خصوصیات هیدرولوژیک واحدهای مختلف آن، تقسیم بندی حوضه آبخیز مورد مطالعه به چند واحد هیدرولوژیک مناسب، عملی اجتناب ناپذیر است. مشخص نمودن کلیه شاخه‌های فرعی و همچنین آبراهه‌های مختلف یک حوضه آبخیزو نیز تعیین حد و مرز بین حوضه‌های آنها را تقسیم بندی واحد هیدرولوژیک می‌نامند. برای اینکه چه قسمتی از یک حوضه آبخیز را واحد هیدروژیک مشخصی بنامیم معیار مشخصی وجود ندارد، به‌طورکلی یک واحد می‌تواند تشکیل دهنده یک حوضه آبخیز یک یا مجموع چند آبراهه مشخص باشد که می‌توان آن را چنین تعریف نمود:

1- Definition
2- Application
3- Method
4 - Worked example

۲-۱-۱ تعریف

محدوده‌ای از سطح حوضه آبخیز که زهکش بالقوه طبیعی آن را آبراهه مشخص تشکیل دهد آن محدوده و آبراهه مربوط به آن را واحد هیدرولوژیک می‌نامند. "تقسیم یک حوضه آبخیز به واحدهای هیدروژیک به عوامل متعددی بستگی دارد که اهم آنها به شرح زیر است :

- مساحت حوضه آبخیز مورد مطالعه
- ایستگاههای هیدرومتری موجود و پیشنهادی
- وضعیت شبکه رودخانه‌های فرعی و آبراهه‌های اصلی و فرعی
- تراکم آبراهه در حوضه آبخیز مورد مطالعه
- دقت مورد نیاز بر حسب هدف مطالعه

۲-۱-۲ کاربرد

کاربرد تقسیم‌بندی یک حوضه آبخیز به واحدهای هیدرولوژیک مختلف را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

- امکان شناخت بیشتر خصوصیات هیدرولوژیک واحدهای مختلف به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری
- امکان تعیین اولویت در اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری در هر یک از زیر حوضه‌ها یا واحدهای هیدرولوژیک، رسوبزایی و سایر هدفهای آن
- سهولت درتدوین برنامه زمان‌بندی اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری
- بکارگیری موثر مدلهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی از قبیل مدلهای بارش - رواناب و مدلهای برآورد رسوب.

۲-۱-۳ روش کار

برای تقسیم حوضه آبخیز مورد مطالعه به واحدهای هیدرولوژیک مختلف، باید تمامی رودخانه‌ها و همچنین آبراهه‌های اصلی و فرعی دقیقاً مشخص و با مقیاس مناسبی ترسیم شوند، برای این منظور می‌توان از نقشه‌های توپوگرافی و عکسهای هوایی با مقیاس مناسب استفاده نمود.

انتخاب مقیاس مطلوب به عوامل مختلف از جمله مساحت حوضه آبخیز مورد مطالعه و ضرورت و دقت لازم بستگی دارد. به‌طورکلی با توجه به نقشه‌های توپوگرافی ، استفاده از نقشه‌های با مقیاس $\frac{۱}{۵۰۰۰۰}$ و یا $\frac{۱}{۲۵۰۰۰۰}$ توصیه ممی‌ود. به علاوه لازم است که از عکسهای هوایی با مقیاس $\frac{۱}{۵۰۰۰۰}$ و یا $\frac{۱}{۲۰۰۰۰}$ نیز استفاده شود.

با استفاده از عکسهای هوایی آنچه را از طریق نقشه‌های توپوگرافی حاصل می‌شود می‌توان تصحیح نمود و بالاخره با بازدیدهای صحرایی، نقشه‌های تهیه شده را نیز تکمیل کرد.

۲-۲ شکل آبخیز

۲-۲-۱ تعریف

شکلی که از تصویر یک آبخیز بر روی یک صفحه افقی فرضی حاصل می‌گردد، شکل آبخیز نامیده می‌شود. این شکل با استفاده از نقشه توپوگرافی که می‌توان مرز[1] دو آبخیز رابرروی آن تشخیص و ترسیم نمود، بدست می‌آید. بدین ترتیب، امتداد خط الراس که جریانات سطحی را ظاهراً به دو آبراهه و یا رودخانه متفاوت هدایت نماید، مرز آبخیز نامیده می‌شود. البته در برخی موارد به علت وجود ساختمان زمین شناسی پیچیده[2] یا جریان‌های زیر سطحی، نمی‌توان به راحتی شکل واقعی و با مساحتی راکه در تولید آب رودخانه موثر است مشخص نمود.
آبخیزهای بزرگ معمولاً به صورت قیف و یاگلابی شکل[3] هستند، ولی آبخیزهای کوچک شکل‌های متفاوتی به خود می‌گیرند که بستگی به ساختمان زمین‌شناسی آن دارد. و به همین دلیل بررسی شکل در مطالعات فیزیوگرافی یک آبخیز که در خصوصیات هیدرولوژیک آن موثر است اهمیت خاصی دارد. شکل شماره ۱ مرز و شکل یک آبخیز را برروی نقشه فیزیوگرافی نشان می‌دهد.

۲-۲-۲ کاربرد

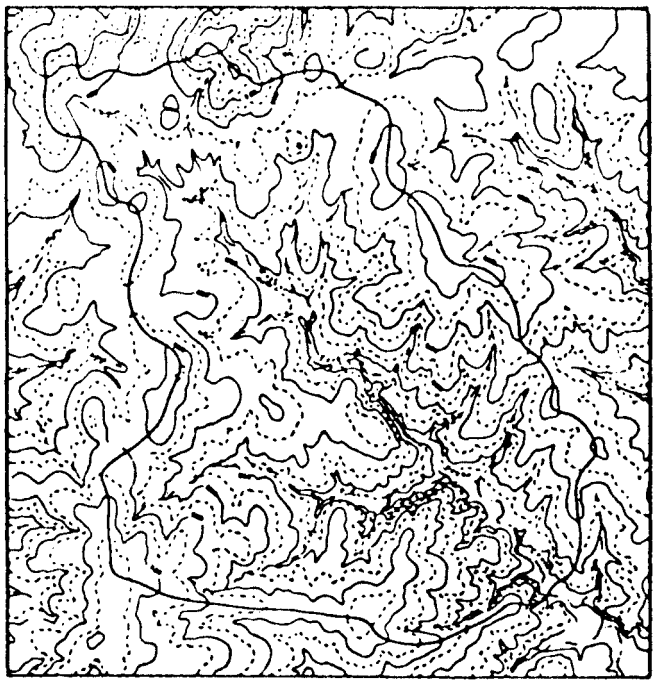
شکل آبخیز به علت تاثیر در خصوصیات هیدرولوژیک آن مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. بدین ترتیب که ، شکل آبخیز با تاثیر بر زمان تمرکز هدایت جریانهای سطحی توسط شاخه‌های فرعی به آبراهه و یا رودخانه اصلی در شکل هیدروگراف و شدت بده آن موثر است. به عبارت دیگر، آبخیز قیفی شکل و یا نزدیک به دایره، به علت اینکه تمام شاخه‌های فرعی آن تقریباً در یک زمان جریانهای خود را به رودخانه اصلی می‌ریزند در مقایسه با آبخیز کشیده و طویل شدت بده بیشتری تولید می‌نماید. بنابراین در شرایط مساوی از نظر سایر عوامل هیدرولوژیک، معمولاً آبخیزهای قیفی شکل و گرد در هر بارندگی بده‌های با شدت بیشتری در مقایسه با آبخیزهای کشیده و طویل تولید می‌کند.

---

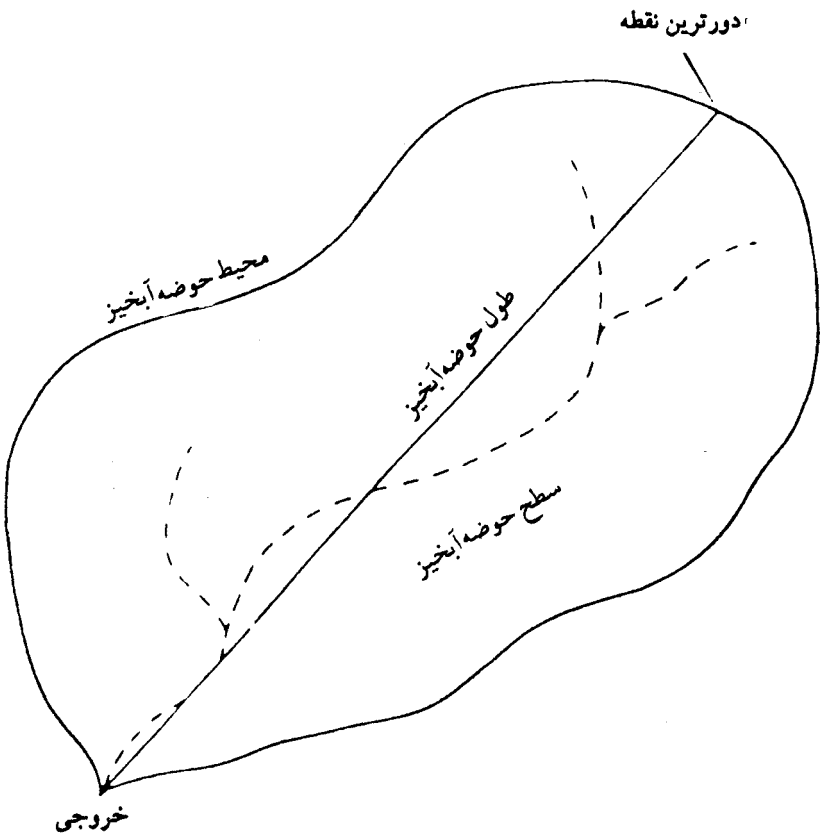
1 - Watershed divide

2 - Complex Geologic Structure

3 - Fan or pear shaped



شکل شماره ۱ - نمایش مرز و شکل یک آبخیز بر روی نقشه توپوگرافی



شکل شماره ۲ - پارامترهای متداول یک حوضه‌آبخیز

۲-۲-۳ روش کار

به منظور بررسی و ارزیابی این عامل فیزیکی در مطالعات فیزیوگرافی یک آبخیز، دانشمندان و متخصصان فنی روشهای بسیاری را پیشنهادکرده‌اند که در ذیل متداولترین آنها ارائه می‌شود.

۲-۲-۳-۱ روش هورتون [1]

دراین روش ضریب شکل به شرح زیر توصیف شده است.

$$R = \frac{A}{L^2}$$

که در آن :

R = ضریب شکل آبخیز

A = مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

L = طول آبخیز بر حسب کیلومتر

منظور از طول آبخیز در رابطه فوق، فاصله بین خروجی [2] آبخیز تا دورترین نقطه آن است که در شکل شماره ۲ نشان داده شده است همچنانکه در رابطه فوق دیده می‌شود، هر چه حاصل کسر به عدد یک نزدیک باشد، شکل آبخیز مورد نظر به مربع نزدیکتر خواهد بود و بالعکس هر چه این عدد از یک کوچکتر باشد، بیانگر این است که شکل آبخیز مورد مطالعه کشیده و طویل است.

۲-۲-۳-۲ روش گراولیوس [3]

گراولیوس شکل آبخیز را با ضریب فشردگی [4] مورد ارزیابی قرار داده است.

که در آن:

$$C_c = \frac{P}{P_c}$$

1- Horton

2- Out let

3 - Gravellus

4- Compactness Coefficient

C_c = ضریب فشردگی یا ضریب گراولیوس

P = پیرامون حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر

p_c = پیرامون دایره‌ای که مساحت آن برابر با مساحت حوضه آبخیز است.

با توجه به اینکه پارامتر p_c در رابطه فوق پیرامون دایره همسطح با حوضه آبخیز است، می‌توان آن را به شکل زیر هم نوشت :

$$C_c = \frac{p}{2\pi R} = \frac{p}{2\sqrt{\pi A}} = 0/28 \frac{p}{\sqrt{A}}$$

که در آن :

A = مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

R = شعاع دایره همسطح با حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر

با توجه با رابطه فوق، مقدار ضریب گراولیوس بستگی به شکل آبخیز دارد، بدین صورت که هر چقدر این ضریب به واحد نزدیک شود، شکل آبخیز مورد مطالعه به دایره نزدیکتر خواهد بود.

۲-۲-۳-۳ روش میلر [1]

در این روش شکل آبخیز از طریق رابطه زیر تشریح شده است .

$$R_c = \frac{A}{A_c}$$

که در آن :

R_c = نسبت گردی [2]

A = مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

A_c = مساحت دایره ای که پیرامون آن برابر با پیرامون حوضه آبخیز است.

از آنجایی‌که پارامتر A_c، مساحت دایره هم محیط با حوضه آبخیز است. رابطه فوق را می‌توان چنین نوشت.

$$R_c = \frac{4\pi A}{p^2} = 12/56 \frac{A}{p^2}$$

که در آن، P محیط حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر است. بر اساس رابطه، هر چقدر R_c به عدد یک نزدیک باشد، شکل آبخیز مورد مطالعه به دایره نزدیک خواهد بود.

1- Miller

2 - Circularity Ratio

۲-۲-۳-۴ روش شیوم [1]

در این روش شکل آبخیز از طریق نسبت طولی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

$$R_e = \frac{D_c}{L}$$

که در آن :

R_e = نسبت طولی [2]

D_c = قطر دایره همسطح با حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر

L = طول آبخیز بر حسب کیلومتر

در این هرچه Re به عدد یک نزدیک شود شکل آبخیز مورد نظر به دایره نزدیکتر خواهد شد.

۲-۲-۳-۵ روش مستطیل معادل

مستطیل معادل، عبارت از مستطیلی است که پیرامون و مساحت آن معادل پیرامون و مساحت حوضه آبخیز مورد نظر باشد. در واقع ضریب مربوط به این روش تابع طول وعرض مستطیل معادل است که به شرح زیر نوشته می‌شود.

$$K = F(a,b)$$

بنابراین، با داشتن پیرامون و مساحت حوضه آبخیز مورد نظر می‌توان طول و عرض مستطیل معادل را از طریق معادله دو مجهولی زیر محاسبه نمود.

$$a \times b = A$$

$$2a + 2b = p$$

که در آن :

A = مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

P = پیرامون حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر

a = طول مستطیل معادل بر حسب کیلومتر

1- Schumm

2-Elongation Ratio

b = عرض مستطیل معادل بر حسب کیلومتر

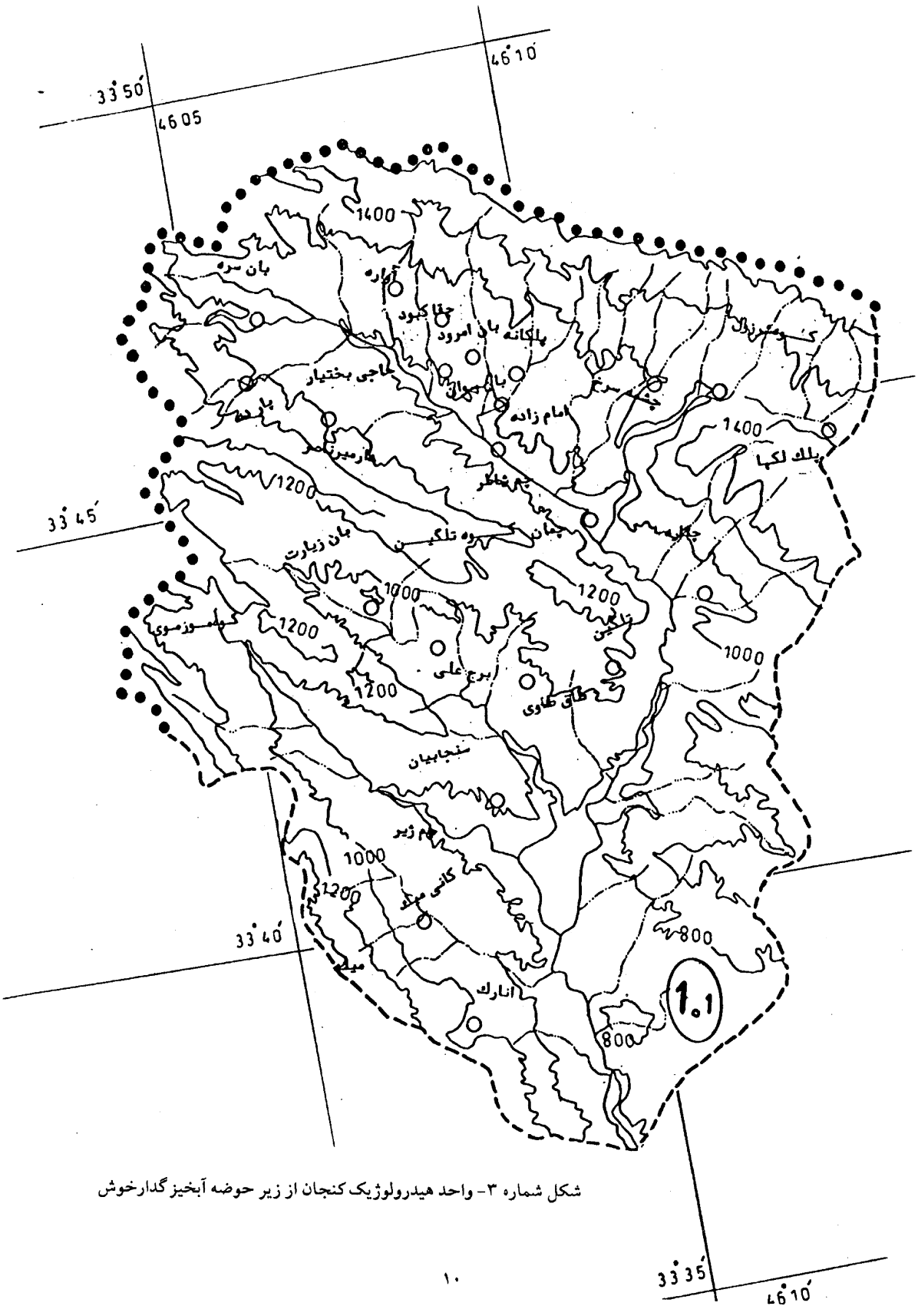
از پنج روش فوق الذکر روش گراولیوس و مستطیل معادل توصیه می‌شود و کاربرد بیشتری دارند.

۴-۲-۲ مثال

در شکل شماره ۳ واحد هیدرولوژیک کنجان از زیر حوضه رودخانه گدار خوش در غرب کشور نشان داده شده و مشخصات فیزیکی آن در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول شماره ۱- مشخصات فیزیکی واحد هیدرولوژیک کنجان

ردیف	عوامل ژئوفیزیک	واحد	مقادیر
۱	مساحت حوضه آبخیز	کیلومترمربع	۵۹۸/۳
۲	محیط حوضه آبخیز	کیلومتر	۱۲۴/۳۸
۳	ضریب گراولیوس	بدون بعد	۱/۴۳
۴	طول مستطیل معادل	کیلومتر	۵۰/۳
۵	عرض مستطیل معادل	کیلومتر	۱۱/۸۹
۶	طول بزرگترین آبراهه	کیلومتر	۵۶/۳



شکل شماره ۳- واحد هیدرولوژیک کنجان از زیر حوضه آبخیز گدارخوش

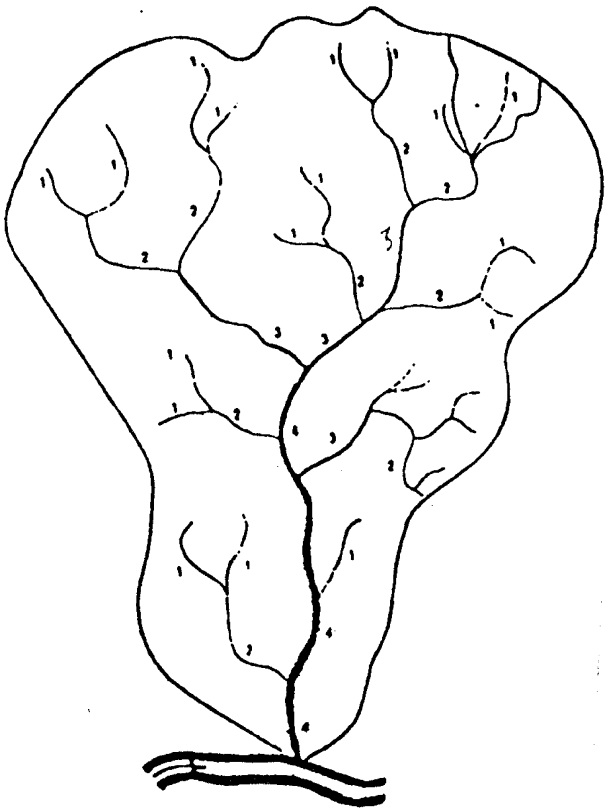
۱۰

۲-۳ بررسی خصوصیات فیزیکی رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی و فرعی

پس از تعیین و ترسیم دقیق تمامی رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی و فرعی یک حوضه آبخیز، برای تجزیه و تحلیل آنها به منظور شناخت بهتر از خصوصیات فیزیکی و نتیجتاً خصوصیات هیدرولوژی آبخیز مورد نظر، روشها و شاخصهای فیزیکی متعددی را دانشمندان و متخصصان فن ارائه کرده‌اند که اهم آنها به شرح ذیل است:

۲-۳-۱ ترتیب آبراهه‌ها

چگونگی انشعابات والحاق شاخه‌های مختلف تشکیل دهنده رودخانه اصلی یک حوضه آبخیز را نظام و یا ترتیب آبراهه‌ها می‌نامند. در روش استرالر در یک حوضه آبخیز هر یک از آبراهه‌هایی که انتهایی هستند و قابل تقسیم به انشعابات کوچکتر نیز نباشند آبراهه درجه اول نامیده می‌شوند. به عبارت دیگر به کوچکترین و انتهایی ترین آبراهه‌هایی که قابلیت تقسیم ندارند، آبراهه درجه اول گفته می‌شود. آبراهه درجه دوم عبارت است از آبراهه‌ای که از الحاق دو آبراهه درجه اول به‌وجود آمده و از الحاق دو یا چند آبراهه درجه دو با همدیگر آبراهه درجه ۳ به وجود می‌آید، و به همین ترتیب طبقه‌بندی می‌تواند تا خروجی آبخیز ادامه یابد . (شکل شماره ۴)



شکل شماره ۴- تصویر شماتیک ترتیب آبراهه‌ها در یک حوضه فرعی

۲-۳-۲ ضریب دو شاخه شدن

پس از تعیین ترتیب آبراهه‌ها، تعداد آبراهه در هر یک از ترتیب‌ها مشخص می‌شود، و برای تعیین وضعیت انشعابات آبراهه‌های یک آبخیز و مقایسه دو آبخیز چگونگی شبکه آبراهه‌ها از ضریب دو شاخه شدن استفاده می‌کند که هورتون آن را ارائه کرده، و این ضریب عبارت است از "نسبت تعداد آبراهه در یک درجه مشخص به تعداد آن در درجه بزرگتر بعدی "که به شرح زیر بیان می‌شود :

$$R_{.b} = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

که در آن:

i = درجه آبراهه

R_b =ضریب دو شاخه شدن

N_i = تعداد آبراهه در درجه i

N_{i+1} =تعداد آبراهه در درجه $i + 1$

۲-۳-۳ تراکم آبراهه

۲-۳-۳-۱ تعریف

نسبت طول کلیه آبراهه‌ها در یک حوضه آبخیز به مساحت آن، تراکم آبراهه نامیده می‌شود. بنابراین بر اساس این تعریف ملاحظه می‌شود که مقدار تراکم آبراهه در یک حوضه آبخیز با مجموع طول کلیه آبراهه‌های فرعی و اصلی آن نسبت مستقیم و با مساحت آن نسبت عکس دارد. لازم به ذکر است که طول آبراهه اصلی از اولین چشمه تغذیه کننده حوضه تا خروجی آن محسوب می‌شود.

۲-۳-۳-۲ کاربرد

میزان تراکم آبراهه در یک حوضه آبخیز بیانگر شدت وضعف مقاومت سطح و لایه‌های زیرین خاک در مقابل عامل فرسایش می‌باشد، بدین ترتیب ، در مناطقی که لایه‌های زیرین خاک دارای قابلیت نفوذ خوبی باشد و یا اینکه در مقابل عامل فرسایش مقاومت نماید و سطح حوضه آبخیز هم دارای پوشش گیاهی انبوه و پستی و بلندی کمی باشد، مقدار تراکم آبراهه کم است ، برعکس در مناطقی که لایه‌های زیرین خاک قابلیت نفوذ خوبی نداشته باشد، وضعیت سطحی هم بنحوی باشد که در مقابل نیروی فرسایندگی آب مقاومت کمتری داشته باشد تراکم آبراهه زیاد است.

۲-۳-۳-۳ روش کار

براساس تعریف تراکم آبراهه، مقدار آن را در یک حوضه آبخیز می‌توان از طریق رابطه زیر محاسبه نمود.

$$D = \frac{L}{A} = \frac{\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} .L_{ji}}{A}$$

که در آن :

D = تراکم آبراهه بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع (L- 1)

L = مجموع طول آبراهه‌های مربوط به کلیه ترتیب آبراهه‌ها بر حسب کیلومتر

Lji = طول i امین آبراههٔ مرتبه j ام

A = مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

K = ترتیب آبراهه مربوط به حوضه مورد مطالعه

n = تعداد آبراهه در یک ترتیب است.

بنابراین در رابطه فوق، ملاحظه می‌شود که برای محاسبه تراکم آبراهه که خود یکی از خصوصیات فیزیکی هر آبخیز می‌باشد، ابتدا باید دو عامل فیزیکی دیگر آبخیز، یعنی : مساحت و مجموع طول کلیه آبراهه‌های اصلی و فرعی آن را تعیین نمود.

چون قضاوت و ارزیابی این عامل و نتیجتاً کاربرد آن مبتنی بر مقدار عددی است که ا ز این رابطه حاصل می‌گردد، مستلزم آن است که پارامترهای آورده شده در آن بادقت هر چه بیشتر تعیین شوند. از دو پارامتر مورد اشاره، مساحت آبخیز به سادگی قابل اندازه گیری است، برای اندازه گیری مجموع طول آبراهه‌ها، ابتدا باید کلیه آبراهه‌های اصلی و فرعی هر یک از واحدهای هیدرولوژیک حوضه آبخیز مورد مطالعه را با دقت مشخص و سپس با طول سنج طول آنها را اندازه گیری نمود.

به منظور تشخیص و ترسیم آبراهه‌ها در مرحله اول از نقشه توپوگرافی با مقیاس مناسب استفاده می‌شود، و سپس از طریق تفسیر عکسهای هوایی و بازدیدهای صحرایی تکمیل می‌گردد، تادقت مطلوب حاصل شود.

۲-۳-۴ پروفیل طولی رودخانه‌ها

۲-۳-۴-۱ تعریف

پروفیل طولی رودخانه‌ها در واقع نمایش طولی یک رودخانه با ارتفاع است. با رسم پروفیل طولی رودخانه‌ها می‌توان ارتفاع و به همراه آن شیب رودخانه‌ها را در هر نقطه از مسیر آن مشخص کرد.

۲-۳-۴-۲ کاربرد

از آنجایی‌که قدرت تخریبی رودخانه‌ها بستگی مستقیم به سرعت جریان آب و سرعت جریان آب نیز به نوبه خود به شیب رودخانه بستگی دارد، با دانستن شیب نقاط مختلف رودخانه‌ها می‌توان تصویر روشنی از قدرت تخریبی رودخانه‌ها را در نقاط مختلف مسیر آن بدست آورد، از این رو در مطالعات مربوط به خصوصیات فیزیکی حوضه‌های آبخیز رسم پروفیل طولی رودخانه‌ها و سرشاخه‌های آنها که در واقع معرف ارتفاع رودخانه در نقاط مختلف مسیر آن و بطور غیر مستقیم نشان دهنده شیب مسیر رودخانه است، می‌تواند در برآورد سرعت آب و قدرت تخریبی آن و یا برعکس مناطق رسوبگذاری کمک نماید.

۲-۳-۴-۳ روش کار

برای رسم پروفیل طولی رودخانه‌ها کافی است که ارتفاع نقاط مختلف مسیر آنها و طول فاصله بین این نقاط دانسته شود. با رسم فاصله نقاط بر روی محور افقی و پیداکردن ارتفاع نقاط برروی محور عمودی و اتصال این نقاط نمودار پروفیل طولی رودخانه به دست می‌آید.

شیب رودخانه در هر قسمت از مسیر آن در حقیقت اختلاف ارتفاعی است که در واحد فاصله آن مسیر پدید می‌آید. شیب متوسط یا شیب کلی رودخانه عبارت است از نسبت اختلاف ارتفاع بین دو نقطه ابتدایی (محل خروجی حوضه) و انتهایی (بلندترین نقطه) آن به طول فاصله بین آن دو نقطه در سطح طبیعی زمین و شیب ناخالص آن نسبت اختلاف ارتفاع بین دو نقطه فوق‌الذکر به فاصله افقی آن دو نقطه می‌باشد.

درحالی‌که شیب واقعی و یا خالص تانژانت زاویه مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که سطح آن برابر سطح زیر منحنی پروفیل طولی رودخانه و قاعده آن برابر طول کلی رودخانه است و آن‌را می‌توان به طریقه زیر محاسبه کرد.

$$tag\alpha = \frac{a}{b}$$

$$a = \frac{۲s}{b}$$

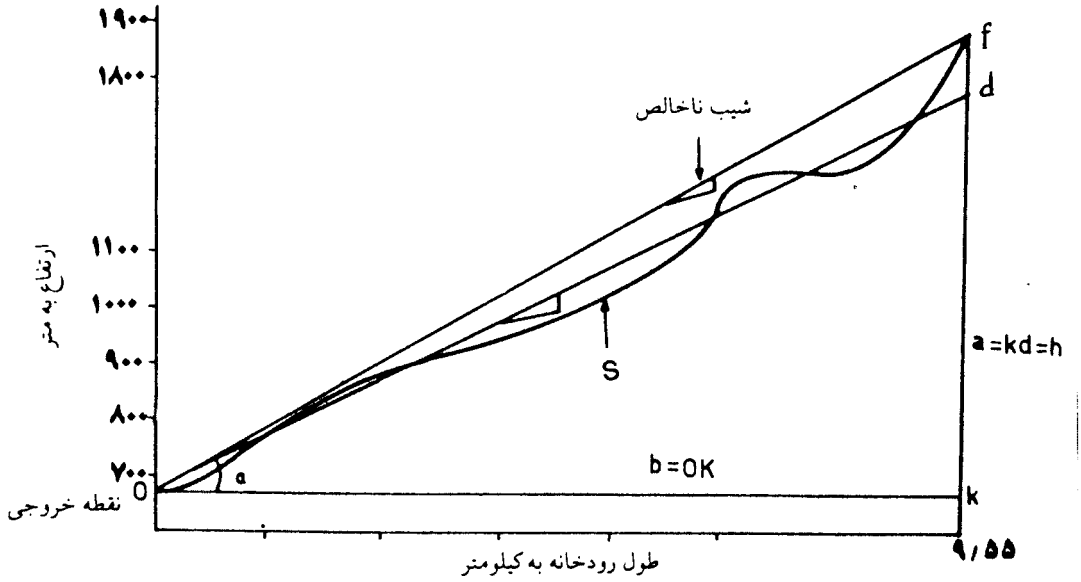
$$tag\alpha = \frac{۲s}{b^{۲}}$$

که در آن :

s = سطح معادل زیرمنحنی پروفیل طولی رودخانه به کیلو متر مربع

b = طول رودخانه بین دو نقطه پست ترین و بلندترین آن به کیلومتر

a = ارتفاع مثلث قائم الزاویه‌ایکه سطح آن برابر s است



شکل شماره ۵- پروفیل طولی یک رودخانه

باید به خاطر داشت که شیب متوسط رودخانه و اصولاً شیب خالص یا ناخالص به هیچ وجه معرف شیب متوسط یا شیب کلی خود حوضه نیست، بلکه تنها شیب مسیر رودخانه را نشان می‌دهد.

شیب متوسط وزنی رودخانه معرف بهتری برای شیب کلی رودخانه است و در مجموع در برآورد سرعت آب و قدرت تخریبی کلی رودخانه مناسب‌تر است. برای محاسبه شیب وزنی [1] می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد.

1- Weighted slops

$$S_w = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i L_i}{L}$$

که در آن:

S_w **=شیب متوسط وزنی رودخانه**

L **=طول کلی رودخانه بین نقطه ابتدایی و انتهایی اندازه گیری شده**

S_i **=شیب بین دو نقطه از مسیر رودخانه با فاصله** Li

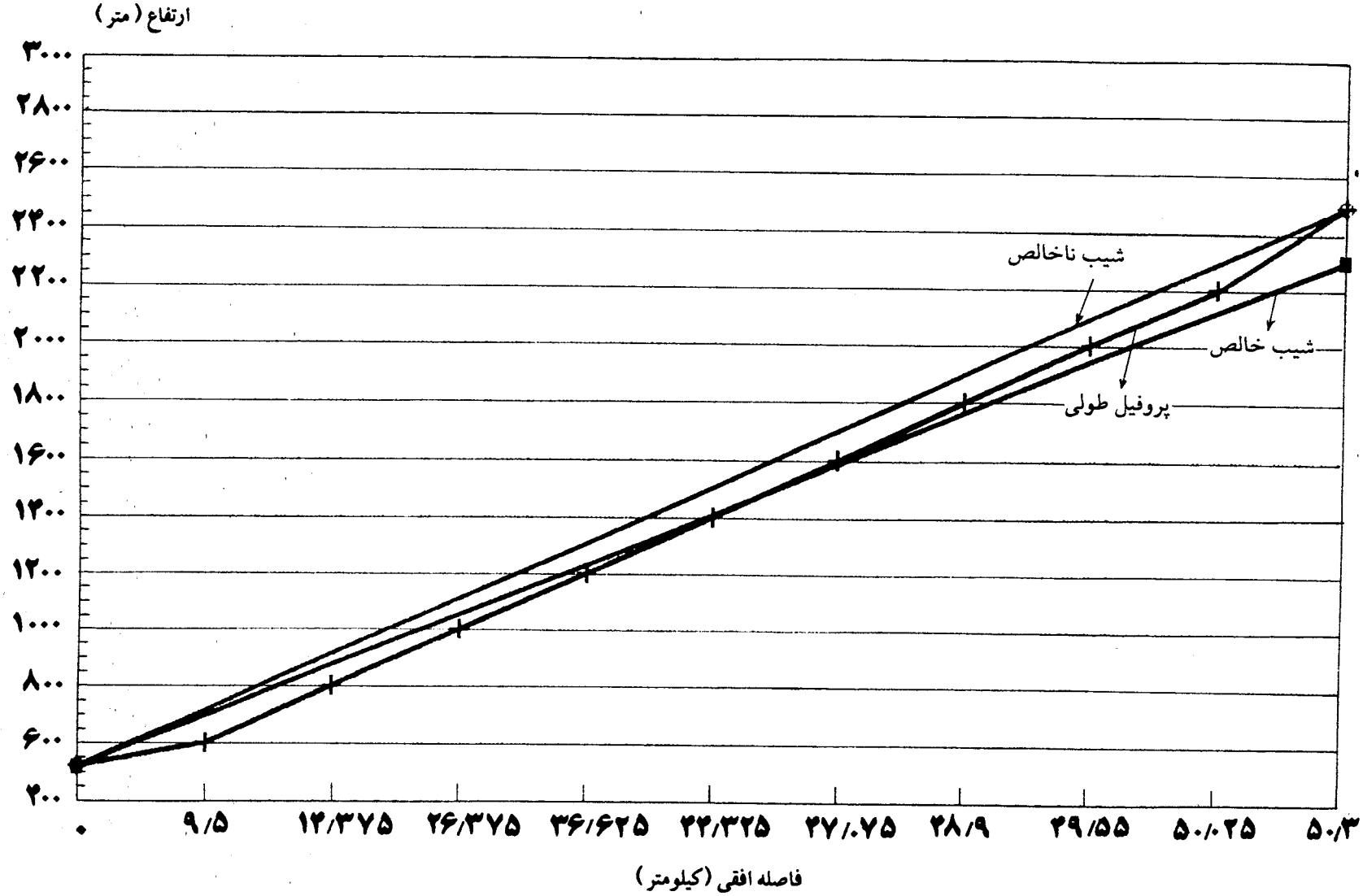
هر چقدر تعداد نقاط ارتفاع (n) بیشتر باشد، مقدار S_w **با دقت زیادتری محاسبه خواهد شد .**

جدول شماره ۲- مشخصات پروفیل طولی واحد هیدرولوژیک کنجان

شیب	فاصله تراکمی	فاصله افقی	متوسط ارتفاع	اختلاف ارتفاع	کلاس ارتفاع
درصد	متر	متر	متر	متر	متر
۰	۰	۰	۵۲۰	۰	۵۲۰
۰/۸۴	۹۵۰۰	۹۵۰۰	۵۶۰	۸۰	۵۲۰-۶۰۰
۴/۱	۱۴۳۷۵	۴۸۷۵	۷۰۰	۲۰۰	۶۰۰-۸۰۰
۱/۸	۲۵۳۷۵	۱۱۰۰۰	۹۰۰	۲۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰
۱/۷۸	۳۶۶۲۵	۱۱۲۵۰	۱۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰۰ -۱۲۰۰
۲/۵۹	۴۴۳۲۵	۷۷۰۰	۱۳۰۰	۲۰۰	۱۲۰۰ -۱۴۰۰
۵/۳	۴۷۰۷۵	۳۷۵۰	۱۵۰۰	۲۰۰	۱۴۰۰ -۱۶۰۰
۲۴/۳	۴۸۹۰۰	۸۲۵	۱۷۰۰	۲۰۰	۱۶۰۰ -۱۸۰۰
۳۰/۷۷	۴۹۵۵۰	۶۵۰	۱۹۰۰	۲۰۰	۱۸۰۰ -۲۰۰۰
۴۲/۱	۵۰۰۲۵	۴۷۵	۲۱۰۰	۲۰۰	۲۰۰۰ -۲۲۰۰
۱۰۹/۲	۵۰۳۰۰	۲۷۵	۲۳۵۰	۳۰۰	۲۲۰۰ -۲۵۰۰
		۵۰۳۰۰		۱۷۸۰	جمع

۲-۳-۴-۴ مثال

ارتفاع نقاط مختلف رودخانه واحد هیدرولوژیک کنجان بر اساس نقشه توپوگرافی ۱ :۵۰ ۰۰۰/ زیر حوضه آبخیز رودخانه‌گدارخوش و فاصله بین نقاط به قرار جدول شماره ۲ می‌باشد و همچنین پروفیل طول این رودخانه در شکل شماره ۶ نشان داده شده است.



شکل شماره ۶ - پروفیل طولی رودخانه کنجان

۲-۳-۵ محاسبه شیب خالص و ناخالص رودخانه

برای بدست آوردن شیب خالص اعمال زیر انجام می‌شود:

۱- **ابتدا سطح زیرمنحنی** OKF **(شکل شماره ۵) به روش پلانیمتری یا روش دیگری محاسبه می‌شود.**

۲- **از تقسیم سطح بالا بر طول افقی رودخانه و دو برابر نمودن آن مقدار** Kd **بدست می‌آید.**

۳- **از نقطه** O **ابتدای رودخانه به نقطه** d **خطی رسم می‌شود. شیب این خط برابر شیب متوسط رودخانه است.**

$$S_{okd} = S_{okf}$$

$$kd = \frac{۲S_{okd}}{ok} = h$$

شیب خالص :

$$\text{tag}\ (\alpha) = \frac{h}{ok} \times ۱۰۰ = \frac{۱۷۷۱ - ۶۷۰}{۹/۵۵ \times ۱۰۰۰} \times ۱۰۰ = ٪۱۱/۵$$

شیب ناخالص برابر است با :

$$\text{tg}\ \alpha' = \frac{۱۹۰۰ - ۶۷۰}{۹/۵۵ \times ۱۰۰۰} \times ۱۰۰ = ٪۱۲/۸$$

۲-۴ پستی و بلندی

۲-۴-۱ ارتفاع

۲-۴-۱-۱ تعریف

ارتفاع، عبارت از بلندی نقاط مختلف یک حوضه از سطح دریای آزاد است. از آنجاکه ارتفاع نقاط مختلف یک آبخیز با یکدیگر متفاوت است، حالت نسبی این نقاط نسبت به یکدیگر وضعیتی را بوجود می‌آورد که به آن اصطلاحاً پستی و بلندی می‌گویند.

۲-۴-۱-۲ کاربرد

ارتفاع حوضه در میزان و نوع بارندگی، درجه حرارت و تغییرات آن، میزان تبخیر تعرق، شدت تشعشات خورشیدی و بطور کلی در آب و هوای منطقه و به همراه آن در تشکیل و توسعه خاک و نوع و تراکم پوشش گیاهی اثر دارد و به همین دلیل دانستن ارتفاع متوسط یک حوضه، ارتفاع نقاط مختلف و به خصوص نحوه توزیع سطح با ارتفاع و اینکه چند درصد از سطح حوضه از ارتفاع معینی بالاتر یا پایین‌تر است می‌تواند در شناخت رژیم آبی حوضه کمک کند.

غالباً میزان بارندگی با ارتفاع افزایش می‌یابد، درحالی‌که با افزایش ارتفاع از درجه حرارت کاسته می‌شود. کاهش درجه حرارت هم به‌نوبه خود از یک سو موجب کاهش تبخیر و تعرق سالانه و از سوی دیگر تغییر نوع بارندگی از باران به برف می‌شود و در مجموع حوضه‌های بلند خاصه در مناطق خشک و نیمه خشک بارندگی سالانه بیشتری نسبت به حوضه‌های پست دارند و هم‌چنین به دلیل کاهش تبخیر و تغییر نوع بارندگی از باران به برف حوضه‌های بلندتر با میزان بارندگی برابر سالانه، تولید آب بیشتری نسبت به حوضه‌های کم ارتفاع دارند. از سویی حوضه‌هایی که بیشتر بارندگی سالانه آنها به صورت برف است، جریان رودخانه درآنها با دوام‌تر و رژیم آبی آنها از ثبات و تعادل بیشتری برخوردار است.

۲-۴-۱-۳ روش کار

غالباً توزیع سطح حوضه با ارتفاع، در حوضه‌های مختلف یکنواخت و متوازن نیست ممکن است حوضه ای با یک یا چند نقطه مرتفع وجود داشته باشد، اما این مناطق تنها درصدکمی از کل سطح حوضه را شامل می‌شوند و درصد زیادی از حوضه در ارتفاع پایین واقع هستند و به همین دلیل در مقایسه حوضه‌ها با یکدیگر و هم‌چنین بررسی میزان

اثر ارتفاع در رژیم آب و هوایی و هیدرولوژی حوضه مورد مطالعه، لازم است که درصدی از سطح حوضه که بالاتر یا پایین‌تر از ارتفاع معین قرار گرفته‌اند دانسته شود.
برای بررسی نحوه توزیع سطح حوضه نسبت به ارتفاع می‌توان از نقشه‌های توپوگرافی با خطوط میزان منحنی مناسب استفاده کرد.

بدین منظور، پس از تعیین محدوده فیزیکی هر حوضه لازم است که سطح واقع بین هر دو خط میزان منحنی و یا دو ارتفاع معین را به کمک پلانیمتر اندازه گیری کرد و با استفاده از این سطوح جزیی جدول و منحنی توزیع سطح با ارتفاع (منحنی هیپسومتری) تهیه شود.

هر قدر سطح یک حوضه بزرگ و اختلاف ارتفاع نقاط مختلف آن بیشتر باشد، می‌توان فاصله خطوط تراز را بیشتر گرفت و برعکس در حوضه‌های کوچک و یا حوضه‌هایی که اختلاف ارتفاع نقاط مختلف آن کم است، فاصله بین خطوط می‌تواند کمتر باشد.

هم‌چنین ممکن است برای تعین مساحت بین خطوط تراز از ارتفاع نقاط که به صورت یکنواخت در سطح حوضه پراکنده شده باشند استفاده کرد.

به طورکلی روشهای مختلفی برای بررسی توزیع سطح حوضه نسبت به ارتفاع وجود دارد. در کلیه موارد استفاده از نقشه توپوگرافی حوضه مورد مطالعه که در آن ارتفاع نقاط مختلف به کمک خطوط تراز مشخص شده باشد الزامی است.

ذیلا دو روش تنظیم جدول هیپسومتری و رسم منحنی سطح - ارتفاع [1] بااختصار توضیح داده می‌شود.

الف - روش اندازه‌گیری سطوح واقع بین ارتفاعات

در این روش ابتدا سطح واقع بین دو خط تراز متوالی اندازه گیری می‌شود و سپس با تنظیم جدول سطح - ارتفاع (هیپسومتری)، درصد سطحی راکه بالاتر و یا پایین‌تر از ارتفاع معینی واقع شده‌اند تعیین و از آنجا منحنی سطح - ارتفاع (هیپسومتری) آن را رسم می‌شود :
لازم است که گفته شود فاصله بین دو خط متوالی تراز به دقت کار بستگی دارد و در جدول مورد نظر ارتفاع نقاط از بزرگترین به کمترین مرتب می‌شود.

1-Area Elevation Curve

پس از تنظیم جدول هیپسومتری، با استفاده از حدود ارتفاع و سطح تجمعی و یا درصد سطح تجمعی، منحنی توزیع سطح با ارتفاع رسم می‌شود.

برای رسم هیستوگرام سطح – ارتفاع، از اعداد ستون درصد جزیی و ستون فواصل ارتفاعی استفاده می‌کنیم. می‌توان هیستوگرم سطح – ارتفاع را به طور مستقل، یا همراه با منحنی هیپسومتری دریک محور مختصات رسم کرد.
برای تعیین ارتفاع متوسط [1] ارتفاع ۵۰ درصد سطح حوضه و ارتفاع با بیشترین سطح می‌توان به طریق زیر عمل کرد.

- **ارتفاع متوسط**

برای تعیین ارتفاع متوسط می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد :

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i L_i}{A}$$

که در آن:

Em = ارتفاع متوسط حوضه

ai = سطح جزیی با ارتفاع Li

Li = ارتفاع متوسط بین دو حد ارتفاعی

A = سطح کل حوضه یا زیر حوضه مورد مطالعه

- **ارتفاع ۵۰ درصد سطح**

ارتفاع ۵۰ درصد سطح را می‌توان با استفاده از منحنی سطح – ارتفاع به دست آورد و آن ارتفاعی است که ۵۰ درصد سطح حوضه بالای آن ارتفاع و ۵۰ درصد سطح حوضه پایین آن ارتفاع واقع شده‌اند.

- **ارتفاع با بیشترین سطح**

ارتفاعی است که بیشترین یا بزرگترین فراوانی را دارد و آن را می‌توان از هیپستوگرام توزیع سطح با ارتفاع ویا از جدول هیپسومتری استخراج کرد.

ب – روش اندازه‌گیری ارتفاع نقاط

در این روش چگونگی توزیع سطح حوضه با ارتفاع را به جای اندازه گیری سطوح واقع بین دو حد ارتفاعی، به کمک

---

1 - Mean Elevation

ارتفاع تعدادی از نقاط حوضه تعیین می‌کنیم. بدیهی است، هر قدر تعداد نقاط بیشتر باشد نتیجه بدست آمده از دقت بیشتری برخوردار است. مراحل کار به قرار زیر است:

- تعیین محدوده توپوگرافیک حوضه یا زیر حوضه مورد نظر روی نقشه‌های با اشل مناسب
- تعیین تعدادی نقاط روی حوضه به کمک رسم خط‌های افقی و عمودی با فاصله‌های مساوی. برای این منظور با قرار دادن کاغذ شفاف روی نقشه حوضه مورد مطالعه محدوده حوضه رسم می‌کنیم سپس حوضه با رسم خطوط افقی (شرقی- غربی) و عمودی (شمالی-جنوبی) به شبکه ای از خانه شطرنجی تقسیم می‌شود که در آن، نقاط موردنظر همان تقاطع خطوط افقی و عمودی و یا مرکز هر یک از مربعات است.
- پس ازشبکه بندی حوضه مورد مطالعه می‌توان ارتفاع نقاط انتخاب شده را را روی نقشه توپوگرافی پیدا نمود، درصورتی‌که نقطه‌ای بین دو خط تراز واقع باشد، ارتفاع نقطه با فرض تغییر خطی ارتفاع بین دو خط ترازو بسته به اینکه با چه فاصله ای از دو خط واقع شده است تعیین می‌شود.
- با استفاده از ارتفاع نقاط و سطح کل حوضه که قبلاً با کمک پلانیمتر اندازه گیری شده است جدول توزیع سطح با ارتفاع و منحنی سطح ارتفاع رسم می‌شود.

برای تنظیم جدول ابتدا کمترین و بیشترین ارتفاع حوضه را تعیین و سپس آن را به تعدادی محدوده با ارتفاع مساوی تقسیم و آنگاه نقاطی را که ارتفاع آنها در آن محدوده واقع می‌شود در آن ردیف قرار داده و سپس بقیه محاسبات انجام می‌شود. نمونه‌ای از جدول مورد نظر به قرار زیر است (جدول شماره ۳).

جدول ۳- نحوه تنظیم جدول هیپسومتری (با روش اندازه‌گیری ارتفاع نقاط)

ردیف	۱ محدوده ارتفاعی (حدود طبقات)	۲ ارتفاع متوسط (نماینده طبقات) h_i	۳ تعداد نقاط (فراوانی مطلق) n_i	۴ تعدادتجمعی‌نقاط (فراوانی تجمعی) F_i	۵ درصد نقاط (فراوانی نسبی) $f_i=\frac{N\times n_i}{100}$	۶ درصدتجمعی‌نقاط (فراوانی تجمعی نسبی)	۷ حاصلضرب ستون ۲و۳ $n_i \times h_i$	۸ سطح $A\times f_i$	۸ سطح $A\times$(ستون۶)
۱									
۲									
۳									
جمع	-	-	N	-	۱۰۰	-	$\Sigma h_i n_i$	--	-

$$H^- = \frac{\Sigma h_i n_i}{N}$$

- با دردست داشتن سطح کل حوضه (A) ، تعداد نقاط به سطح تبدیل می‌شود و با استفاده از آنها می‌توان منحنی سطح – ارتفاع را رسم کرد و یا می‌توان منحنی سطح–ارتفاع را با استفاده از درصد تعداد نقاط واقع بین دو حد ارتفاعی و ارتفاع را رسم کرد.
- برای پیدا کردن ارتفاع متوسط، ارتفاع ۵۰ درصد و ارتفاع با بیشترین فرکانس می‌توان ا ز روش گفته شده در قبل استفاده کرد.

به طورکلی برای تعیین تعداد نقاط لازم است به صورت زیر عمل شود :

- برای حوضه‌های تا ۱۰۰۰۰ هکتار یک خط عمودی و یک خط افقی برای هر ۱۰۰۰ هکتار
- برای حوضه‌های از ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ هکتار یک خط عمودی و یک افقی برای هر ۵۰۰۰ هکتار
- برای حوضه‌های بزرگتر از ۱۰۰/۰۰۰ هکتار به‌طورکلی یک خط افقی و یک خط عمودی برای هر ۱۰۰۰۰ هکتار

باید به خاطر داشت که برای توزیع یکسان و یکنواخت نقاط در حوضه لازم است که فاصله خطوط عمودی و افقی با یکدیگر برابر باشد.

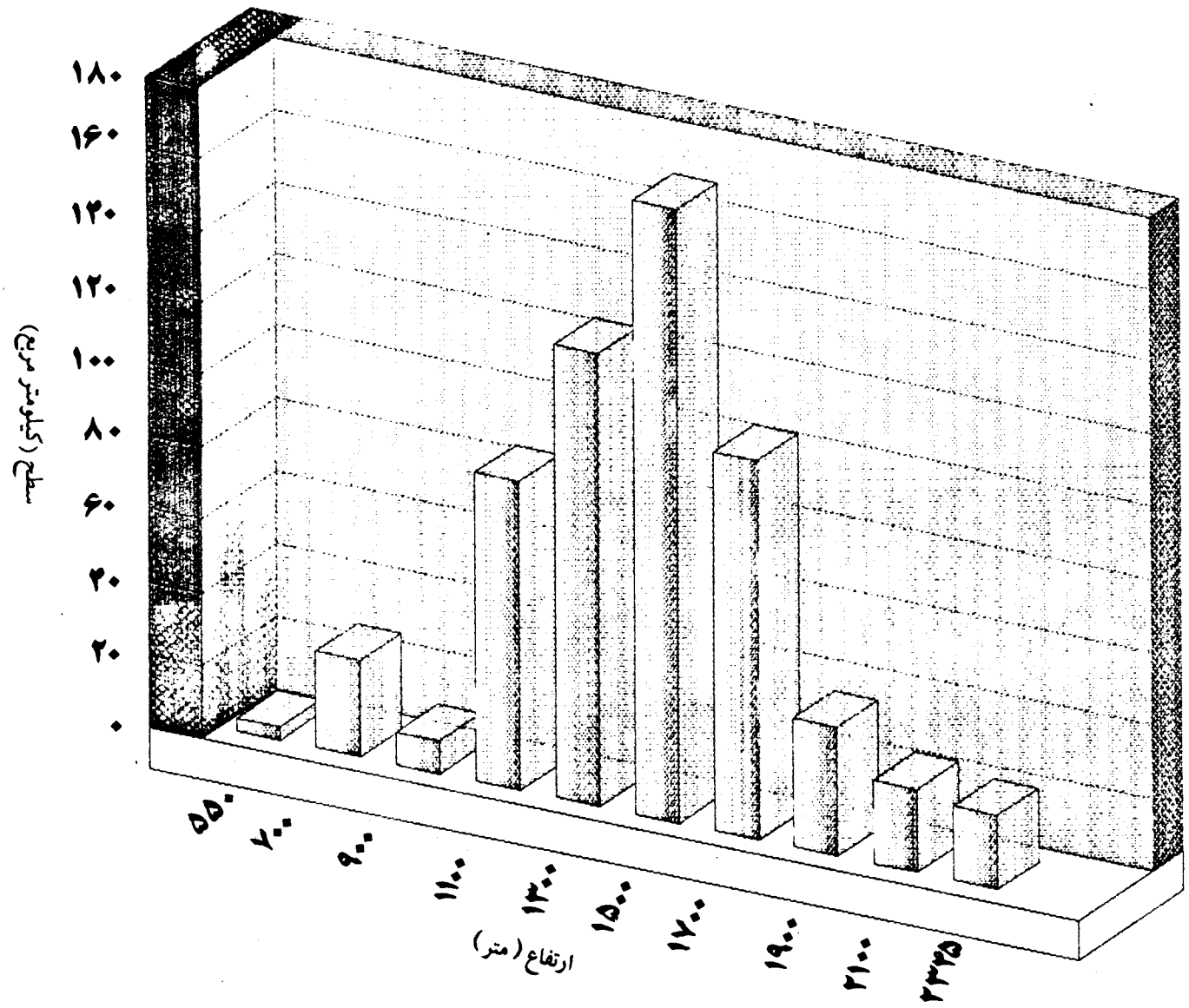
۲-۴-۱-۴ مثال

برای آگاهی به روش تنظیم جدول هیپسومتری و رسم منحنی ارتفاع – سطح، جدول هیپسومتری و هیستوگرام واحد هیدرولوژیک کنجان از زیر حوضه رودخانه گدارخوش به شرح جدول شماره ۴ و شکل‌های شماره ۷ و ۸ ارائه می‌گردد.

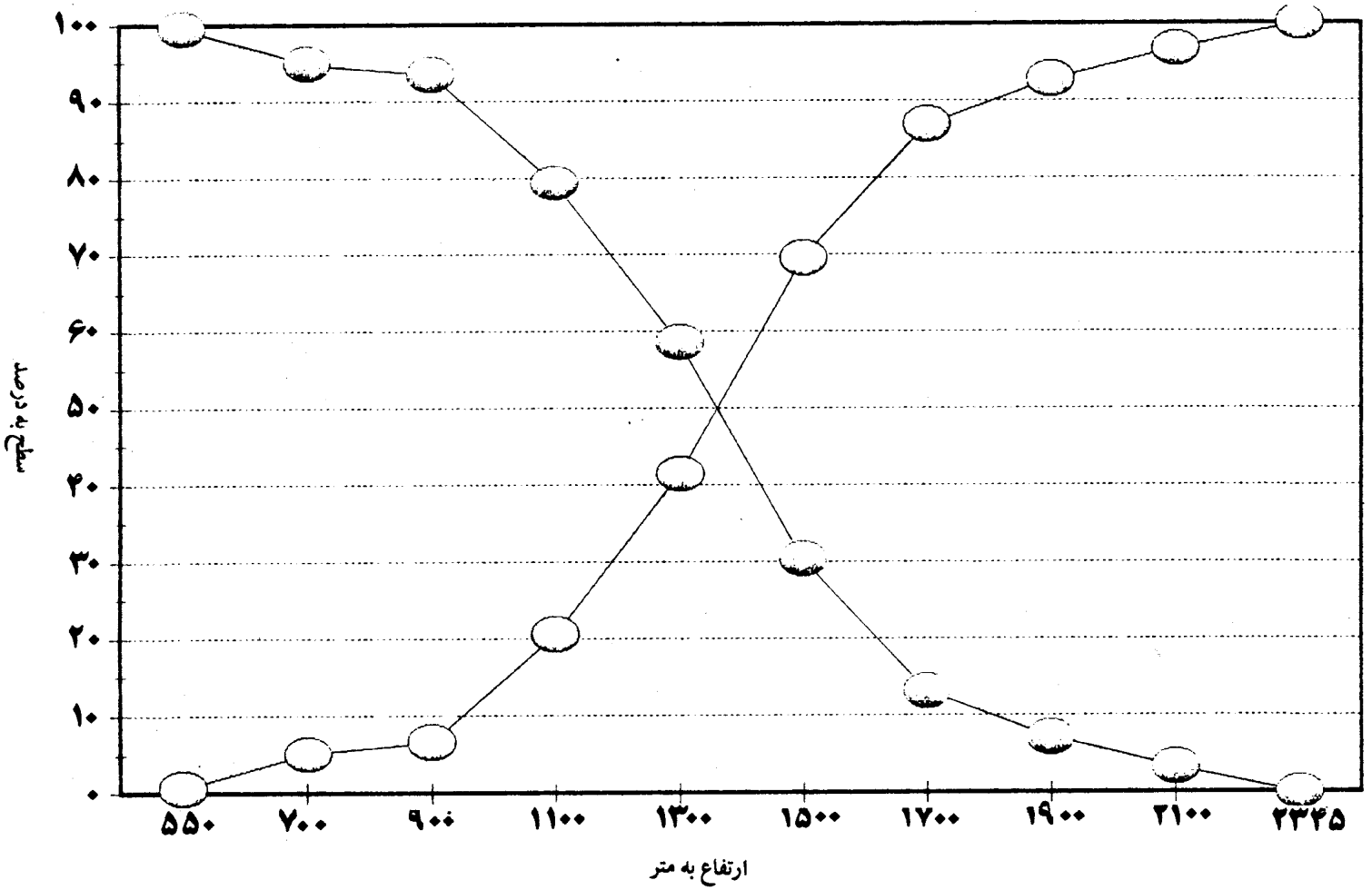
جدول ۴- توزیع سطح نسبت به ارتفاع در واحد هیدرولوژیک کنجان

ردیف	۱ محدوده ارتفاعی (حدود طبقات)	۲ ارتفاع متوسط (نماینده طبقات) h_i	۳ تعداد نقاط (فراوانی مطلق) n_i	۴ تعدادتجمعی‌نقاط (فراوانی تجمعی) F_i	۵ درصد نقاط (فراوانی نسبی) $f_i=\frac{n_i}{N}\times ۱۰۰$	۶ درصدتجمعی‌نقاط (فراوانی تجمعی نسبی)	۷ حاصلضرب ستون ۲و۳ $n_i \times h_i$	۸ A سطح = ۵۹۸/۳	
								$A\times f_i$	(ستون۶)×A
۱	۵۰۰–۶۰۰	۵۵۰	۴	۴	۰/۶۷	۰/۶۷	۲۲۰۰	۴/۰	۴/۰
۲	۶۰۰–۸۰۰	۷۰۰	۲۶	۳۰	۴/۳۳	۵/۰	۱۸۲۰۰	۲۵/۹۱	۲۹/۹۱
۳	۸۰۰–۱۰۰۰	۹۰۰	۹	۳۹	۱/۵	۶/۵	۸۱۰۰	۸/۹۷	۳۸/۸۸
۴	۱۰۰۰–۱۲۰۰	۱۱۰۰	۸۴	۱۲۳	۱۴	۲۰/۵	۹۲۴۰۰	۸۳/۱۶	۱۲۲/۶۴
۵	۱۲۰۰–۱۴۰۰	۱۳۰۰	۱۲۴	۲۴۷	۲۰/۶۷	۴۱/۱۷	۱۶۱۲۰۰	۱۲۳/۶۱	۲۴۶/۳۱
۶	۱۴۰۰–۱۶۰۰	۱۵۰۰	۱۶۹	۴۱۶	۲۸/۱۷	۶۹/۳۴	۲۵۳۵۰۰	۱۶۸/۵۴	۴۱۴/۸۵
۷	۱۶۰۰–۱۸۰۰	۱۷۰۰	۱۰۴	۵۲۰	۱۷/۳۳	۸۶/۶۷	۱۷۶۸۰۰	۱۰۳/۶۹	۵۱۸/۵۴
۸	۱۸۰۰–۲۰۰۰	۱۹۰۰	۳۵	۵۵۵	۵/۸۳	۹۲/۵۰	۶۶۵۰۰	۳۴/۸۸	۵۵۳/۴۲
۹	۲۰۰۰–۲۲۰۰	۲۱۰۰	۲۵	۵۸۰	۴/۱۷	۹۶/۶۷	۵۲۵۰۰	۲۴/۹۵	۵۷۸/۳۷
۱۰	۲۲۰۰–۲۴۹۰	۲۳۵۴	۲۰	۶۰۰	۳/۳۳	۱۰۰	۴۷۰۸۰	۱۹/۹۳	۵۹۸/۳
جمع	–	–	۶۰۰	–	۱۰۰	–	۸۷۸۴۸۰	۵۹۸/۳	–

$$H^{-} = \frac{\Sigma h_i n_i}{N} = ۱۴۶۴$$



شکل شماره ۷ - توزیع سطح به ارتفاع در واحد هیدرولوژیک کنجان



شکل شماره ۸- منحنی تراکمی سطح - ارتفاع در واحد هیدرولوژیک کنجان

۲-۵ شکل شبکه زهکش طبیعی

۲-۵-۱ تعریف

چگونگی قرار گرفتن آبراهه‌ها و یا شبکه زهکش طبیعی در یک حوضه آبخیز را نسبت به یکدیگر شکل شبکه زهکشی طبیعی می‌نامند. اصولاً هر شکل آبراهه در یک حوضه آبخیز تابع خصوصیات مورفولوژیک آن است. بدین‌ترتیب که، خصوصیات ژئولوژیک از نظر وجود شکاف، گسل، یکنواختی و خرد شدگی در آنها و همچنین مقاومت سنگ مادر و خاک سطحی نسبت به فرسایش در یک منطقه ایجاب می‌نماید که شبکه زهکشی طبیعی خاصی به وجود آید، لذا با توجه به عواملی که بدان اشاره رفت، ممکن است شکلهای متعددی از شبکه آبراهه‌ها وجود داشته باشد که چند نمونه غالب آن در شکل شماره ۹ نشان داده شده است.

شکل شماره ۹- شکلهای مختلف شبکه زهکشی طبیعی

۲-۵-۲ کاربرد

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، هر شکل شبکه زهکش طبیعی ممکن است در شرایط خاصی از نظر زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی به‌وجود آید.

بنابراین با تشخیص آنها می‌توان به برخی از خصوصیات آبخیز از نظر سنگ مادری و چگونگی مقاومت آنها نسبت به فرسایش و همچنین وضعیت خاک سطحی از نظر فرسایش پذیری پی برد، بدین لحاظ ضرورت دارد شرایطی که موجب می‌گردد هر شکلی از شبکه زهکشی طبیعی به‌وجود آید به‌طور اختصار توضیح داده شود، تشخیص این شرایط، کاربرد شبکه آبراهه را مشخص می‌سازد :

- شبکه آبراهه شاخه درختی[۱]، این نمونه شبکه زهکش طبیعی در شرایطی به وجود می‌آید که سنگ مادری و خاکهای تشکیل شده برروی آن مقاومت و سختی مشابهی نسبت به فرسایش داشته باشند. از این‌رو لازم است که سنگ مادری یکنواخت باشد و دارای شکاف و یا شکستگی نباشد. این نوع شبکه زهکش در مناطقی که سنگهای مادری از نوع گرانیت یکنواخت است دیده می‌شود. در این شرایط، آبراهه‌های فرعی تحت تاثیر نوع فرسایش خاک به طرف بالادست آبخیز توسعه می‌یابند و شیب دامنه‌ها جهت غالب و نظم مشخصی ندارند.
- شبکه آبراهه مستطیلی[۲] : این نوع شبکه زهکش طبیعی در مناطقی به‌وجود می‌آید که سنگ مادری یکنواخت نیست و دارای گسل باشد. در این صورت آبهای سطحی به آسانی در محل شکاف حاصل شده از گسلها جریان می‌یابند و در نتیجه سبب تشکیل آبراهه مستطیلی می‌گردد.
- شبکه آبراهه تاکی[۳] : وجود سنگهای متلاشی شده که مقاومت یکنواختی نسبت به فرسایش ندارند، باعث ایجاد این‌گونه آبراهه می‌شوند. به‌طورکلی، هر چه مقاومت و سختی لایه‌های تجزیه نشده زیرین کمتر باشد، آبراهه‌های فرعی بیشتری به وجود می‌آید.
- شبکه آبراهه شعاعی[۴] : مناطقی که کوههای گنبدی[۵] و آتشفشانی دارند، غالباً در آنها شبکه آبراهه‌ها با یک مرکز و شعاع‌هایی به طرف خارج تشکیل می‌شوند، شبکه آبراهه شعاعی نامیده می‌شود. برعکس، اگر آبراهه‌ها از خارج به طرف مرکز جریان یابند، آنها را آبراهه مرکزی[۶] می‌نامند. از طرفی آبراهه‌هایی که بر روی یک لایه سست تر از کوههای گنبدی تشکیل می‌شوند تقریباً به صورت دایره‌اند که به آنها آبراهه حلقوی[۷] می‌گویند.

1- Dendritic
2 - Rectangular
3- Trellis
4 - Radial
5 - Dome mountains
6- Centripetal
7- Annular

۳-۵-۳ روش کار

روش تشخیص شبکه زهکش طبیعی معمولاً از طریق مقایسه و انطباق با شکل‌های موجود میسر می‌گردد. بدین لحاظ، ابتدا باید کلیه آبراهه‌های اصلی و فرعی حوضه آبخیز را مورد مطالعه قرار داد واحدهای هیدرولوژیک آنرا مشخص و ترسیم نمود، سپس از طریق انطباق آنها با نمونه‌های غالب و متداول موجود شکل آبراهه‌هامشخص گردد.

۲-۶ شیب حوضه

۲-۶-۱ تعریف

شیب حوضه عبارت از تانژانت زاویه‌ای است که سطح زمین با یک صفحه افقی فرضی می‌سازد و یا در واقع نسبت اختلاف ارتفاع بین دو نقطه را در طبیعت به فاصله افقی بین آن دو نقطه می‌گویند.

۲-۶-۲ کاربرد

شیب حوضه‌های آبخیز اثر بسیار زیادی در واکنش هیدرولوژیک حوضه‌ها دارد. به عنوان مثال سرعت جریانهای سطحی به‌طور مستقیم به شیب بستگی دارد. افزایش سرعت آب، نیروی جنبشی آب و بالنتیجه قدرت تخریب و حمل رسوب را افزایش می‌دهد. همچنین میزان نفوذ آب در خاک با تغییرات شیب کاهش یا افزایش می‌یابد. بالنتیجه حجم سیلاب و جریانهای سطحی مستقیماً به شیب حوضه بستگی دارد.

درصورتی‌که کلیه شرایط را برابر فرض کنیم، میزان جریان سطحی بعد از بارندگیها و حجم سیلاب و فرسایش خاک در یک حوضه پرشیب بسیار بیشتر از حوضه‌های کم شیب است.

۲-۶-۳ روش کار

برای اندازه گیری شیب مناطق مختلف مسیر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها از پروفیل طولی آنها استفاده می‌گردد که شرح آن در قسمت ۲-۳-۴ این نشریه آمده است.

برای اندازه گیری شیب مناطق مختلف حوضه‌های آبخیز روشهای مختلفی وجود دارد که ذیلاً به چند روش متداول اشاره می‌شود:

۲-۶-۳-۱ روش شبکه بندی حوضه

برای این منظور ابتدا محدوده حوضه و یا زیر حوضه مورد نظر را برروی نقشه توپوگرافی مشخص می‌شود و سپس منطقه با رسم خطوط عمودی و افقی به شبکه‌ای از مربعات با سطوح مساوی تقسیم می‌گردد. بهتر است خطوط شبکه شمالی-غربی باشد. برای حوضه‌های تا ۵۰۰۰ هکتار یا کمتر حداقل ۵ خط عمودی و ۵ خط افقی باید رسم شود. برای حوضه‌های بزرگتر تعداد بیشتری خطوط عمودی و افقی لازم است.

هرچقدر تعداد خطوط عمودی و افقی بیشتر باشد، دقت محاسبات بیشتر است و به‌طورکلی تعداد خطوط و در واقع تعداد نقاط نمونه به عواملی چون هدف مطالعه و دقت مورد نیاز، بستگی دارد.
در مجموع در حوضه‌های بزرگ (بیش از ۱۰۰۰۰۰ هکتار) لازمست برای هر ۵۰۰۰ هکتار یک خط عمودی و یک خط افقی رسم شود.

پس از رسم شبکه خطوط عمودی و افقی برروی محدوده حوضه، یا زیرحوضه مورد نظر، نخست طول کلیه خطوط شبکه داخل محدوده حوضه را اندازه گیری و سپس با استفاده از رابطه زیر، شیب حوضه در هر جهت محاسبه می‌گردد.

$$s = \frac{N\Delta z}{L}$$

که در آن :

s =شیب متوسط حوضه در جهت مورد نظر (شمالی و جنوبی و یا شرقی و غربی).

N =تعداد کل تقاطع تراز با خطوط شبکه در جهت موردنظر

L =طول کل خطوط شبکه در داخل محدوده حوضه در جهت مورد نظر

Δz =اختلاف ارتفاع بین دو خط تراز متوالی

۲-۶-۳-۲ روش هورتون

هورتون برای تعیین شیب متوسط حوضه‌ها روش زیر را پیشنهاد نموده است :

$$s = \frac{N\Delta Z \ Sec\theta}{L} \times ۱۰۰$$

که در آن :

S = شیب متوسط حوضه بر حسب درصد

N = تعداد خطوط تراز داخل محدوده

L= طول کل خطوط تراز درون محدوده

ΔZ = اختلاف ارتفاع بین دو خط تراز متوالی

θ = زوایه بین خطوط تراز و خطوط شبکه

هورتون برای سهولت محاسبه شیب متوسط به جای $\mathrm{Sec}\theta$ عدد ۱/۵۷۱ را پیشنهاد نموده است.

۲-۶-۳-۳ روش فراوانی شیب

به‌طور کلی می‌توان گفت که این روش بهترین و موثرترین طریق مطالعه شیب در یک حوضه آبخیز است و در آن روش کار به قرار زیر است.

ابتدا محدوده حوضه مشخص می‌شود و سپس حداقل ۵۰ نقطه و بهتر است ۱۰۰ نقطه یا بیشتر بر روی حوضه مشخص می‌شود. سپس با اندازه گیری شیب این نقاط، بر روی نقشه توپوگرافی ۵۰۰۰۰ : ۱ و تجزیه و تحلیل شیب این نقاط، شیب متوسط حوضه و در صد شیب سطوح مختلف حوضه محاسبه می‌گردد برای پیدا کردن نقاط و توزیع یکنواخت آنها در سطح حوضه، حوضه را با رسم خطوط عمودی و افقی حوضه را به شبکه‌ای از مربعات با سطوح مساوی تقیسم و سپس مرکز مربعات و یا محل برخورد خطوط عمودی و افقی به عنوان نقاط مورد نظر انتخاب می‌شود.

پس از تعیین محل نقاط بر روی نقشه توپوگرافی و محاسبه شیب آنها جدول توزیع شیب نسبت به سطح تنظیم می‌گردد (جدول شماره ۵).

جدول شماره ۵ - نحوه تنظیم جدول توزیع شیب نسبت به سطح

کلاس شیب	شیب	مساحت‌مطلق	مساحت‌تجمعی	فراوانی‌مطلق	فراوانی‌تجمعی افزایشی	فراوانی تجمعی کاهشی
	درصد	کیلومتر مربع	کیلومتر مربع	درصد	درصد	

آنچه در ارتباط با بررسی شیب در مطالعات فیزیوگرافی و توپوگرافی یک حوضه آبخیز حائز اهمیت است توزیع شیب نسبت به سطح آن می‌باشد، و برای این منظور لازم است که نقشه شیب حوضه آبخیز مورد مطالعه تهیه گردد.

برای تهیه نقشه شیب یک حوضه آبخیز، لازم است که شیب‌های محاسبه شده با استفاده از روشهایی که قبلاً توضیح داده شده، در کلاس‌های مناسب تقسیم بندی و سپس با توجه به کلاس‌های تعیین شده نقشه شیب تهیه گردد.
تقسیم شیب به کلاس‌های مناسب به عواملی چون:

- **دقت مورد نیاز**
- **وضعیت پستی و بلندی حوضه آبخیز**
- **نظر و قضاوت مهندس طرح**

بستگی دارد، با توجه به نیاز و کاربرد مطالعه شیب در برنامه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری معمولاً شیب را به یکی از شش یا هفت کلاس زیر تقسیم می‌نمایند (جدول شماره ۶).

جدول شماره ۶- تقسیم کلاس‌های شیب

کلاس شیب	شیب به درصد[۱] روش S.C.S	شیب به درصد[۲] روش فائو	شیب به درصد[۳] روش پسیاک
I	۰-۵	۰-۲	۰-۵
II	۵-۱۰	۲-۵	۵-۱۵
III	۱۰-۲۰	۵-۱۲	۱۵-۲۵
IV	۲۰-۳۰	۱۲-۱۵	۲۵-۵۰
V	۳۰-۴۰	۱۵-۳۰	۵۰-۷۵
VI	> ۴۰	۳۰-۶۰	> ۷۵
VII	-	> ۶۰	

به منظور محاسبه شیب متوسط وزنی و بررسی چگونگی توزیع شیب نسبت به سطح (منحنی سطح - شیب)، مساحت مربوط به هر کلاس شیب را محاسبه و طبق جدول شماره ۷ توزیع شیب نسبت به سطح را محاسبه می‌کنند. پس از تنظیم این جدول از ترسیم ارقام ستون فراوانی نسبی در مقابل شیب، منحنی توزیع شیب نسبت به سطح به

۱- روش (S.C.S) برای طرح‌های حفاظت خاک توصیه می‌شود.

۲- روش (F.A.O) را مؤسسه تحقیقات آب و خاک برای طبقه‌بندی اراضی استفاده می‌کند.

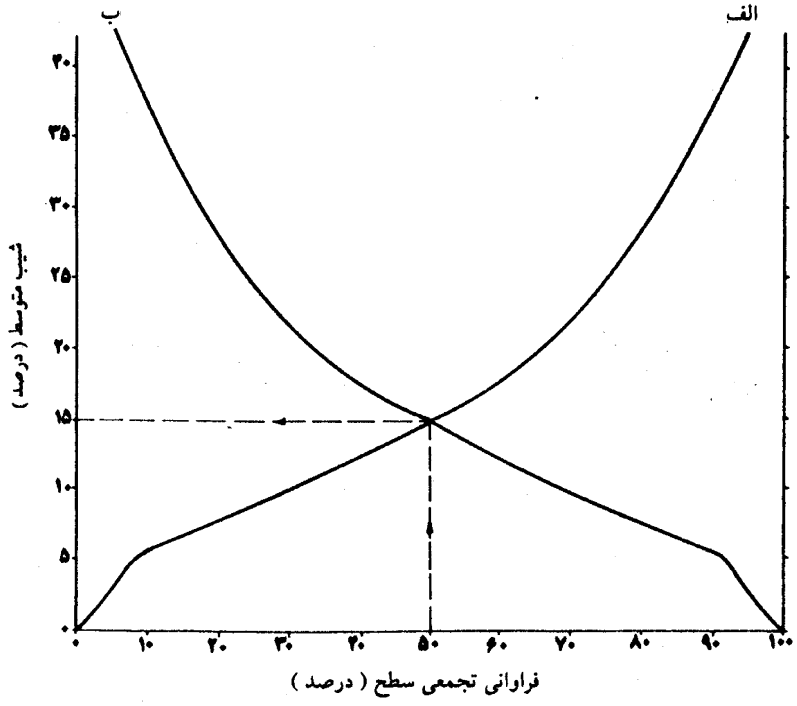
۳- روش (PSIAC) برای برآورد مقدار رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز استفاده می‌شود.

دست می‌آید. بدین ترتیب دو منحنی به وجود می‌آید که در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است. منحنی (الف) درصد مساحتی که دارای شیب کمتر است و منحنی (ب) درصد مساحتی راکه دارای شیب مساوی و بیشتر از میزان نشان داده شده بر روی محور عمودی است نشان می‌دهد.

به عنوان مثال، جدول و منحنی سطح و شیب مربوط به واحد هیدرولوژیک دو خواهران از حوضه آبخیز دز برای نمونه ارائه شده است :

جدول شماره ۷- توزیع شیب نسبت به سطح در حوضه آبخیز دو خواهران از حوضه دز

کلاس شیب	شیب درصد	مساحت مطلق کیلومترمربع	مساحت تجمعی کیلومترمربع	فراوانی مطلق درصد	فراوانی تجمعی افزایشی (درصد)	فراوانی تجمعی کاهشی (درصد)
I	۰-۵	۷۷/۶	۷۷/۶	۷/۸	۷/۸	۹۲/۲
II	۵-۱۰	۲۳۴/۸۵	۳۱۲/۴۵	۲۳/۶	۳۱/۴	۶۸/۶
III	۱۰-۲۰	۳۵۷/۹۲۵	۶۷۰/۳۷۵	۳۵/۹	۶۷/۳	۳۲/۷
IV	۲۰-۳۰	۱۴۹/۴۵	۸۱۹/۸۲۵	۱۵	۸۲/۳	۱۷/۷
V	۳۰-۴۰	۱۰۴/۷۲۵	۹۲۴/۵۵	۱۰/۵	۹۲/۸	۷/۲
VI	> ۴۰	۷۱/۳۷۵	۹۹۶	۷/۲	۱۰۰	۰
مجموع		۹۹۶				



شکل شماره ۱۰-نمودار توزیع شیب نسبت به سطح

۲-۷ جهت شیب

۲-۷-۱ تعریف

جهت شیب، جهتی است که اگر از بالای شیب به پایین نگاه شود، سطح شیب به آن جهت متوجه است (سطح بزرگترین شیب) و در واقع جهتی است که از آن می‌توان خط عمود فرضی به خطوط تراز سطح شیب رسم کرد.

۲-۷-۲ کاربرد

مهمترین اثر جهت شیب در میزان دریافت نور خورشید و تأثیرات ناشی از آن و از جمله پیدایش اقالیم محلی یا موضعی است.

به عنوان مثال، در نیمکره شمالی زمین جهات رو به جنوب و غرب نسبت به جهات روبه شمال و شرق، برای مدت طولانی‌تری در معرض تابش نور خورشید قرار می‌گیرند و به همین دلیل نیز گرمترند.

در نتیجه، اثر تابش بیشتر و گرمای زیادتر جهت روبه جنوب و غرب، موجب افزایش تبخیر تعرق سالانه و در نتیجه کاهش رطوبت خاک می‌شود و بدین جهت در جهات روبه جنوب و غرب وضعیت پوشش گیاهی از نظر تراکم و نوع گیاهان نسبت به جهات روبه شمال و شرق تفاوت دارد و اغلب از تراکم کمتری برخوردار است، و نتیجتاً فرسایش خاک در این جهات بیشتر است.

اثر مهم دیگر جهت شیب در شدت ذوب برف است. در جهات رو به جنوب و غرب به دلیل گرمای بیشتر سرعت ذوب برف شدیدتر است. در این مناطق برف مدت کمتری روی زمین می‌ماند و ذوب آن به‌تدریج در طول زمستان و اوایل بهار انجام می‌گیرد و به همین دلیل جریان زمستانی رودخانه‌ها در این مناطق بیشتر و جریان بهاره آن یکنواخت‌تر است، در حالی‌که در حوضه‌های با جهات رو به شمال و شرق دوام برف در زمستان بیشتر و عمق و تراکم آن نیز زیادتر است. در این مناطق ذوب برف عمدتاً در بهار انجام می‌گیرد. و بر اثر آن غالباً جریان بهاره رودخانه‌ها از جریان زمستانی آن بیشتر و احتمال بروز سیل‌های بزرگ به دلیل انباشتگی برف زمستانی و بروز گرمای ناگهانی در بهار نیز بسیار زیادتر است.

علاوه بر آثار و عوارض فوق ناشی از اثر جهت شیب، به عقیده برانسون و همکاران (۱۹۸۱) شیب‌های رو به شمال غالباً تندتر و کوتاهترند و شکاف و گسیختگی کمتری نیز دارند. درحالی‌که در جهات رو به جنوب به دلیل فرسایش

بیشتر در طول زمان، شیب‌ها ملایم‌تر و طولانی ترند. همچنین در حوضه‌هایی‌که آبراهه‌های آن جهت شرقی و غربی دارند، خط عمیق ترین مسیر رودخانه به طرف قسمت جنوبی رودخانه که دارای جهت رو به شمال است انتقال پیدا می‌کند. دلیل آن این است که رسوبات حمل شده از دامنه‌های رو به جنوب (به دلیل پوشش کمتر) به تدریج در پای شیب و در مسیر رودخانه جمع شده و آبرا به طرف دیگر رودخانه یعنی طرف جنوبی آن می‌راند و بر اثر آن و در طول زمان تدریجاً خط تالوگ رودخانه‌ها نیز به طرف ساحل جنوبی رودخانه (دارای جهت رو به شمال) کشیده می‌شود. در مناطق خشک و نیمه خشک که عمل فرسایش شدیدتر است، این مسئله سبب می‌شود که تقارن دره‌ها ورودخانه‌هااز بین برود و مسیر رودخانه‌ها به تدریج نامتقارن شود.

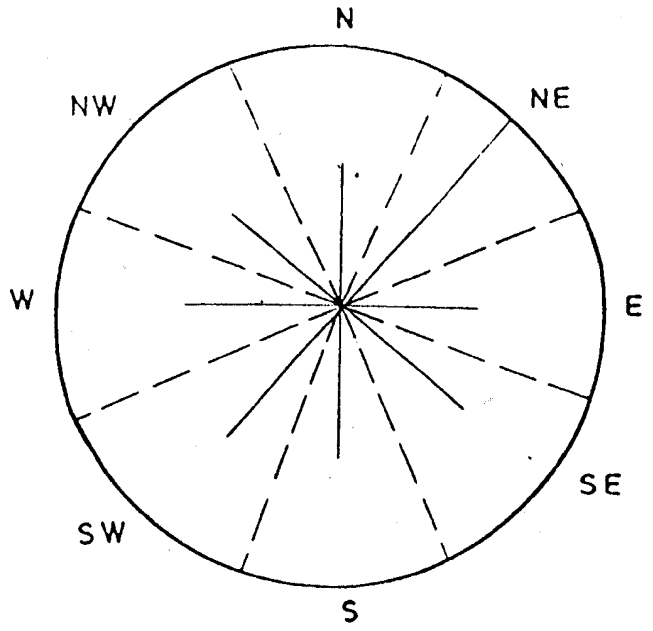
۲-۷-۳ روش کار

به‌طورکلی روش مشخصی برای مطالعه و تعیین جهت شیب اراضی و ارتفاعات حوضه‌های آبخیز وجود ندارد. در حوضه‌های کوچک می‌توان با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و خاصه عکس‌های هوایی جهت دره‌ها و ارتفاعات و اراضی حوضه‌ها راتعیین کرد.

در حوضه‌های بزرگ به دلیل حجم زیادکار، به پیشنهاد لینسلی و همکاران (۱۹۸۲) می‌توان بجای بررسی و تعیین جهت تمامی نقاط حوضه جهت شیب، تعدادی نقاط راکه به طور یکنواخت در سطح حوضه پراکنده شده اند تعیین و با تجزیه و تحلیل این اطلاعات، پراکنش جهت شیب تمام سطح حوضه را بررسی کرد. برای این منظور لازم است که حوضه را با رسم تعدادی خطوط عمودی و افقی به شبکه‌ای از مربعات با سطوح مساوی تقسیم کرد و جهت شیب محل تقاطع خطوط و یا مرکز مربعات را تعیین نمود و از آنجا وضعیت جهت شیب تمامی حوضه را بررسی کرد. تعداد نقاط نمونه به سطح حوضه و دقت مورد نیاز بستگی دارد.

جهات شیب اراضی را می توان تنها در چهار جهت اصلی (شمال، جنوب ، شرق و غرب) تعیین کرد ولی در پاره ای موارد و برای دقت بیشتر ممکن است، علاوه بر چهار جهت اصلی جهات شیب را نسبت به چهار جهت فرعی بین جهات اصلی نیز تعیین کرد (شمال شرقی، شمال غربی، جنوب شرقی و جنوب غربی).

پس از تعیین جهات شیب و درصد سطحی که روبه هر یک از جهات است، نتیجه را می‌توان با دایره ای نشان داد که در آن ۸ جهت اصلی و فرعی مشخص شده و در صد روبه هر یک از جهات نیز در قسمت مربوط نوشته شده باشد (شکل ۱۰).



شکل شماره ۱۱- نمایش جهات اصلی و فرعی

۲-۸ زمان تمرکز

۲-۸-۱ تعریف

زمان تمرکز، فاصله زمانی است که لازم است تا جریان سطحی از دورترین و غیر قابل دسترس ترین نقطه یک حوضه به دهانه آن برسد به این ترتیب هنگامی که طول مدت بارندگی برابر یا بیشتر از طول زمان تمرکز باشد، از پایان زمان تمرکز تا پایان دوره، بارندگی کلیه سطح حوضه با احتساب زمان تاخیر همزمان به جریان سطحی خروجی از دهانه کمک می‌کنند. یا در واقع از پایان زمان تمرکز، در صورتی که بارندگی ادامه یابد، جریان خروجی از دهانه حوضه حاصل جریان سطحی است که از کلیه نقاط حوضه به دهانه آن می‌رسند. زمان تمرکز از یک سو به خصوصیات فیزیوگرافی حوضه نظیر : سطح، شکل طول و شیب آبراهه‌ها، ناهمواری سطحی نوع و تراکم پوشش گیاهی، نوع و عمق خاک و غیره بستگی دارد و از سوی دیگرشدت بارندگی و توزیع زمانی و مکانی آن نیز ممکن است طول زمان تمرکز را کاهش یا افزایش دهد.

زمان تمرکز حوضه‌های کوچک و پرشیب، کوتاهتر از زمان تمرکز حوضه‌های بزرگ و کم‌شیب است، به علاوه حوضه‌های دایره‌های شکل با سطح برابر، زمان تمرکز کوتاهتر نسبت به حوضه‌های کشیده و بی شکل دارند.

پوشش سطحی و ناهمواری و زبری سطح حوضه‌ها نیز در طولانی تر شدن و یا کوتاهتر شدن زمان تمرکز اثر قطعی دارند، زمان تمرکز حوضه‌های ناهموار و با پوشش سطحی متراکم، طولانی‌تر از زمان تمرکز حوضه‌های مسطح و همواره و بدون پوشش است. در جدول شماره ۸ ارقام ضریب زبری در شرایط مختلف حوضه‌ها آمده است.

جدول شماره ۸ - ضریب زبری (n) در شرایط مختلف حوضه‌ها

وضعیت سطحی	ضریب زبری n
مناطق مسطح و نفوذ پذیر	/۰۲
مناطق لخت مسطح ولی خاک لخت و کوبیده شده	/۱۰
پوشش علفی فقیر، زراعت‌های خطی یا سطوح نسبتاً لخت و سخت	/۲۰
چمنزار، مناطق مرتعی خوب	۰/۴۰
جنگل‌های پهن برگ	۰/۶۰
جنگلهای سوزنی برگ، یا جنگلهای پهن برگ با خاک عمیق همراه با لاشبرگ و پوشش چمنی	۰/۸۰

۲-۸-۲ کاربرد

مهمترین کاربرد زمان تمرکز، برآورد حجم سیل، شکل هیدروگراف جریانهای سطحی، زمان تاخیر و زمان پیک با استفاده از روش‌های تجربی، و بخصوص روش منطقی است. در روش منطقی حجم سیل حداکثر (Q_P) را تنها برای آن دسته از بارانهایی می‌توان برآورد کرد که طول مدت بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه باشد و با توجه به تعریف زمان تمرکز دبی حداکثر سیل در پایان زمان تمرکز اتفاق می‌افتد.

درصورتی‌که طول بارندگی بیشتر از زمان تمرکز حوضه باشد، مقدار حداکثر سیل تابع مستقیم شدت بارندگی از پایان زمان تمرکز تا پایان بارندگی است. زمان وقوع آن با احتساب زمان تاخیر همزمان با بیشترین شدت بارندگی خواهد بود. با استفاده از روش منطقی و دانستن زمان تاخیر می‌توان حجم سیل طراحی را برای دوره برگشت مورد نظر مثلاً ۲۰ یا ۵۰ و یا ۱۰۰ ساله برآورد کرد.

۲-۸-۳ روش کار

روش‌های مختلفی برای محاسبه و برآورد زمان تمرکز حوضه‌هاپیشنهاد شده است که ذیلا به چند روش مهم اشاره می‌شود :

۲-۸-۳-۱ روش کرپیچ

این روش، زمان تمرکز را به شرح رابطه زیر بیان می‌نماید :

$$TC = ۰/۰۰۰۳\ L^{۰/۷۷}\ S^{-۰/۳۸۵}$$

که در آن

TC = زمان تمرکز بر حسب ساعت

L = طویلترین مسیری که آب در حوضه طی می‌کند تا به دهانه خروجی می‌رسد (طول آبراهه اصلی) بر حسب متر

S = شیب متوسط آبراهه اصلی بر حسب متر به متر طولی است.

۲-۸-۳-۲ روش برانسی- ویلیام

نامبردگان زمان تمرکز حوضه آبخیز را در ارتباط با خصوصیات فیزیکی آن از طریق رابطه زیر بیان‌نموده‌اند:

$$T_C = \frac{L}{۱/۵D}\ \sqrt[۵]{\frac{M^۲}{F}}$$

که در آن :

T_C = زمان تمرکز بر حسب ساعت

L = طول آبراهه اصلی بر حسب کیلومتر

D = قطر دایره همسطح با حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر

M = مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع

F = شیب متوسط آبراهه اصلی برحسب متر در ۱۰۰ متر طولی است

۲-۸-۳-۳ روش موج جنبشی (روش مرگالی و لینسلی [1])

در این روش زمان تمرکز از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$T_C = ۶/۹۹ \frac{L^{۰/۶} n^{۰/۶}}{i^{۰/۴} s^{۰/۳}}$$

که در آن :

T_C = زمان تمرکز بر حسب دقیقه

L = طول بزرگترین آبراهه برحسب متر

n = ضریب زبری مانینگ

i = شدت بارندگی برحسب میلی‌متر بر ساعت

s = شیب متوسط حوضه برحسب متر به متر

می‌باشد.

۲-۸-۴ مثال

برای مثال از خصوصیات فیزیکی دو واحد هیدرولوژیک دره دربند و تنگ گسیل از حوضه آبخیزکرج استفاده شده است که مشخصات آنها به‌ترتیب عبارتند از: مساحت حوضه ۲۸/۶ و ۲۹/۲ کیلومتر مربع پیرامون حوضه ۲۲ و ۲۶/۷ کیلومتر طول بزرگترین آبراهه ۷/۵ و ۱۱ کیلومتر، ارتفاع بلندترین نقطه ۳۹۴۴ ، ۳۷۱۹ متر، ارتفاع محل خروجی ۱۹۸۰ و ۲۱۰۰ متر و اختلاف ارتفاع ۱۹۶۴ و ۱۶۱۹ متر است.

زمان تمرکز دو واحد هیدرولوژیک فوق‌الذکر با استفاده از روشهای موصوف و مشخصات فوق محاسبه و در جدول شماره ۹ خلاصه شده است :

جدول شماره ۹- محاسبه زمان تمرکز برای دو حوضه انتخابی

واحد هیدرولوژیک	زمان تمرکز (ساعت) با استفاده از روش:		
	کرپیچ	برانسی- ویلیام	چاو
دره دربند	۰/۴۸	۱/۶۵	۰/۴۹
تنگ گسیل	۰/۸۱	۲/۴۱	۰/۸۳

1- Morali and Linsley (1965)

با توجه به پارامترهای به‌کار گرفته شده در دو روش کرپیچ و چاو ملاحظه می‌شود که،اساساً این دو روش یکی هستند و به همین دلیل هم، زمان تمرکز محاسبه شده با استفاده از این دو روش تقریباً یکسان است. ولی در روش برانسی-ویلیام به علت استفاده از پارمترهای بیشتر و متفاوت با دو روش یاد شده، زمان تمرکز محاسبه شده در این روش در مقایسه با دو روش دیگر متفاوت می‌باشد.

بنابراین انتخاب روش برای مطالعات طرحهای حفاظت خاک و آبخیزداری بستگی به نظر و قضاوت مهندس طراح دارد.

منابع و مآخذ :

1- Horton, R.E.1932. Drainage Basin Characteristics Trans Amer. Geoph. Union 350-361.

2- Gravellious, H.Flvsskunds, Berlin and liipzig, 1914.

3- Miller, V.C.1953, A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clin Mountain area, Virginia and Tennessee. Columbia Univ. Dept. of Geol. Tech. Rep .

4- Schum, S.A.1956, Evolution of Drainage systems and slopes in badlands at, perth Amboy, New Jersey, Bull; Geol. Soc. Amer. 67 597-646.

5- Linsley, R.K.,M.A.Kohler and J.L.H paulus, 1983, Applied Hydrology University of Georgia Press.

7- Horton, R.E. 1945. Erossional development of streams and their drainage basins, Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Amer. 56, 275-370.

8- Branson, F.A.,G.F. Gifford, K.G.Renard and R.F. Hadley, 1981. Rangeland Hydrology Amer. SRM, Kendall, Hunt pub. Co.

9- Horton, R.E.1926, Discussion of paper; Flood Flow Characteristics, Trans. ASCE Vol. 89.1084.

10- Kirpich, Z.,P. 1940, Time of Concentration of small agricultural watersheds. Civil Eng. Vol. 10 P : 360.

11- Bransboy - Williams Norman, Hudson, 1971, soil conservation, BT, Batford, Limited.

12- Chow. Ven. Te (Edit) 1964 : Handbook of Applied Hyddrology Mc Graw Hill Pub. Co.

13- Hathaway, G.A. 1945. Design of Drainage Facilities, Trans. Amer. Soc. Civ. Eng. 110:697-730.

14- Gurmel singh, C. Venkatarmanan, G Sastry, B.P.joshi. Manual of soil and water Conservation practice, 1994.

15- Gregory, K,j. and welling , D.E. (1985) Drainage Basin from and Process; Halsted Press N.y521PP.

16- Strahler. A. N. (1991) Q uantitative geomor phology of drainage basins and channel networks; Section 4-2 in Handbook of applied hydrology (ed. ven te chow). Mc Graw - Hill, N.Y

17- Schumm, S.A and Hadley, R.F (1989) Progress in the application of landform analysis in studies of semi - arid Eprosion U.S. Geological survey Repriut.

In the Name of God
Islamic Republic of Iran
Ministry of Energy
Iran Water Resources Management CO.
Deputy of Research
Office of Standard and Technical Criteria

Instructions for Phisographic Studies of Catchment Basins

Publication No. 160

مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات