فصل پنجم

ویژگیهای فیزیکی حوضه‌های آبریز

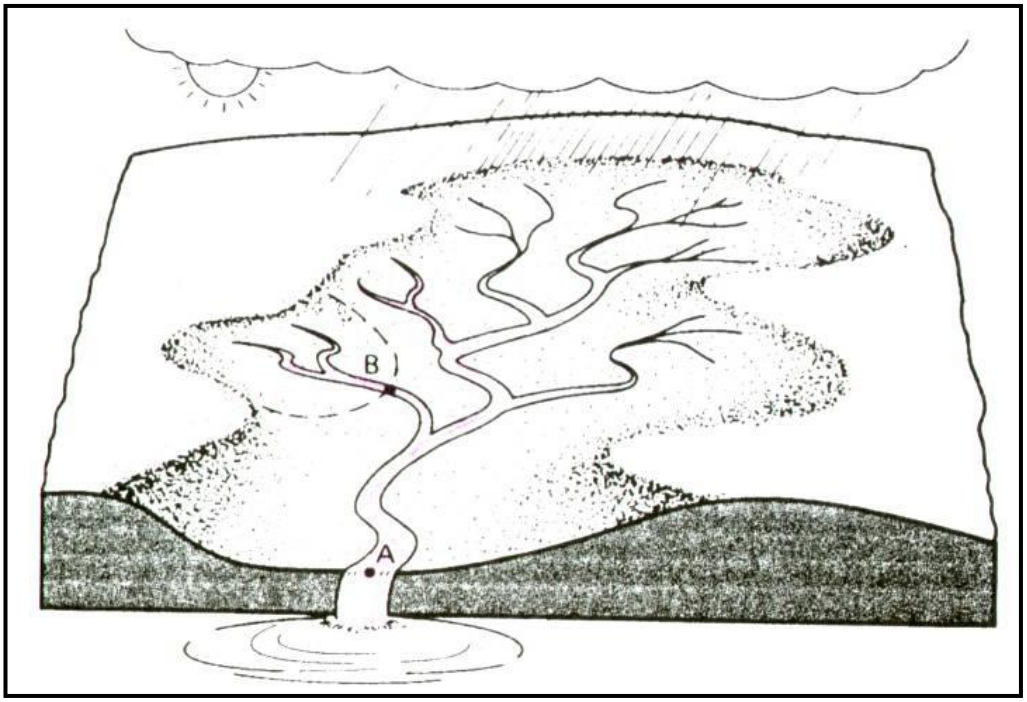
۵-۱ حوضه‌های آبریز (*Catchment, Basin, Watershed, Drainage Area*)

- ✓ واحدهای مطالعاتی و اجرایی در زمینه هیدرولوژی، مهندسی منابع آب و مسائل مرتبط با طراحی سازه‌های هیدرولیکی، حوضه‌های آبریز یا آبخیز می‌باشد.
- ✓ حوضه آبریز به مساحتی از زمین اطلاق می‌شود که اطراف آن را ارتفاعات در بر گرفته و رواناب حاصل از بارندگی روی این سطح، از نقطه‌ای که پایین‌ترین ارتفاع را دارد، خارج می‌شود.
- ✓ ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز نظیر مساحت حوضه، شیب حوضه، زبری هیدرولیکی، تراکم شبکه زهکشی در حوضه و ... بر روی ضریب رواناب، مقدار دبی پیک سیلاب و شکل هیدروگراف سیل تاثیر فراوانی دارند.
- ✓ در حالت کلی بررسی ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و یا نقشه‌های موضوعی با مقیاس مناسب صورت می‌گیرد. بدیهی است هر مقدار نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس‌تر باشد دقّت در برآورد ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز بیشتر خواهد بود.
- ✓ معمولاً با توجه به نقشه‌های موجود در کشور، جهت ترسیم حوضه‌های آبریز مسیلهای متقاطع با ابنیه فنی، از نقشه‌های به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و در صورت عدم وجود نقشه‌های مذکور، از

نقشه‌های به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده می‌شود. لازم به ذکر است نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای کلیه مناطق ایران توسط سازمان نقشه‌برداری کشور و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شده است.

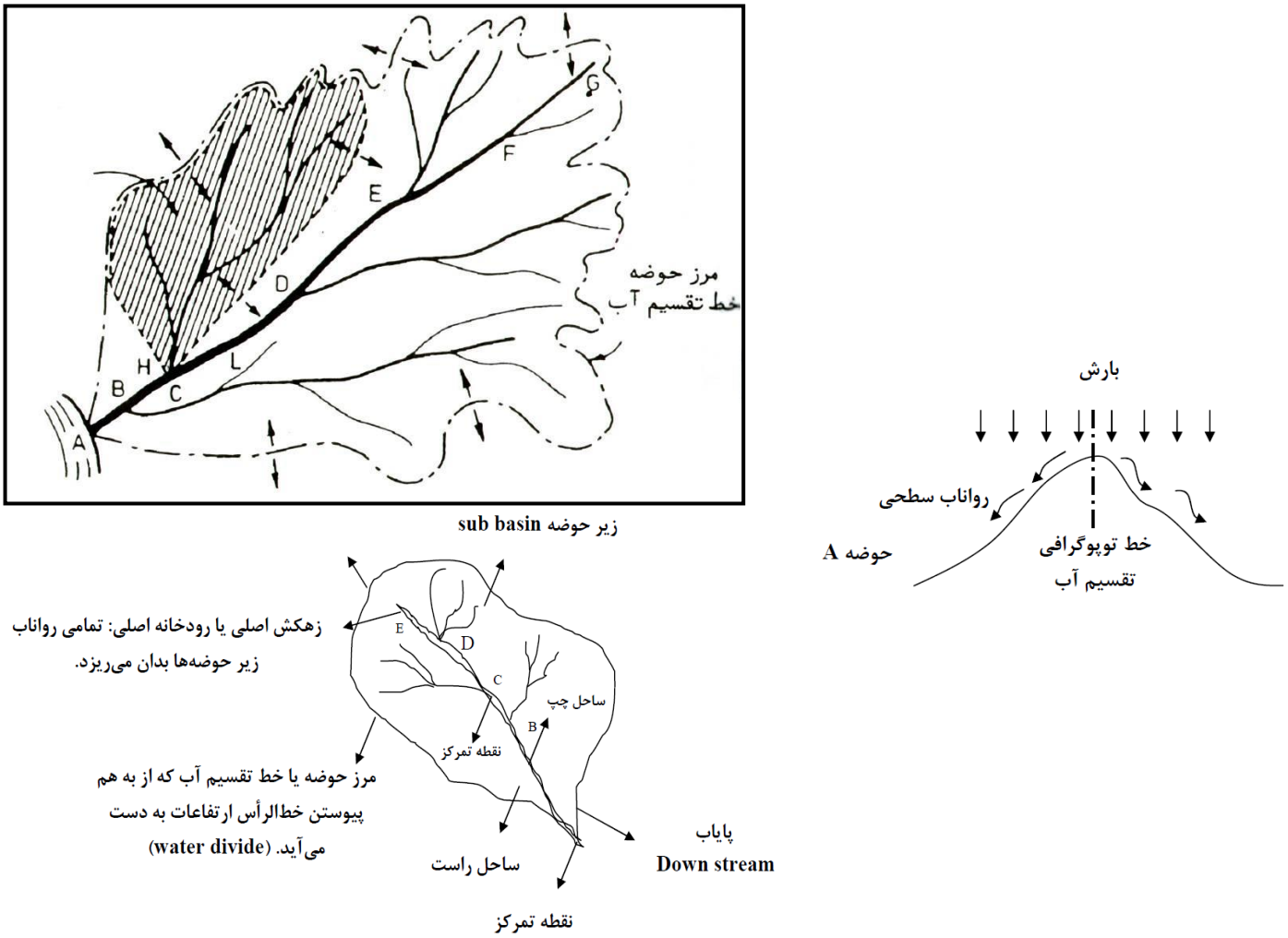
۵-۱-۱ نحوه تعیین حوضه آبریز و استخراج مشخصات آن

حوضه آبریز از بهم پیوستن خط‌الراس‌های ارتفاعات اطراف یک مسیل یا آبراهه تشکیل می‌شود و رواناب حاصله از بارندگی روی سطح آن از نقطه‌ای که پایین‌ترین ارتفاع را دارا می‌باشد، می‌تواند از حوضه خارج گردد. این نقطه گاهی محل تقاطع مسیل و مسیر می‌باشد. هر نقطه‌ای که روی یک مسیل در نظر گرفته شود برای منطقه‌ای که در بالادست آن نقطه واقع شده است به عنوان نقطه تمرکز به حساب می‌آید. در شکل ۱، یک منطقه محصور شده توسط ارتفاعات که به آن مرز حوضه یا خط تقسیم آب گفته می‌شود، ارائه شده است. در شکل مذکور، نقطه تمرکز یا محل خروجی آب از حوضه با حرف A نشان داده شده است. داخل این حوضه یک دره مرکزی یا رودخانه اصلی وجود دارد که با خط سیاه درشت رسم شده و رواناب حاصل از بارندگی از دو طرف رودخانه به داخل آن تخلیه می‌شوند.



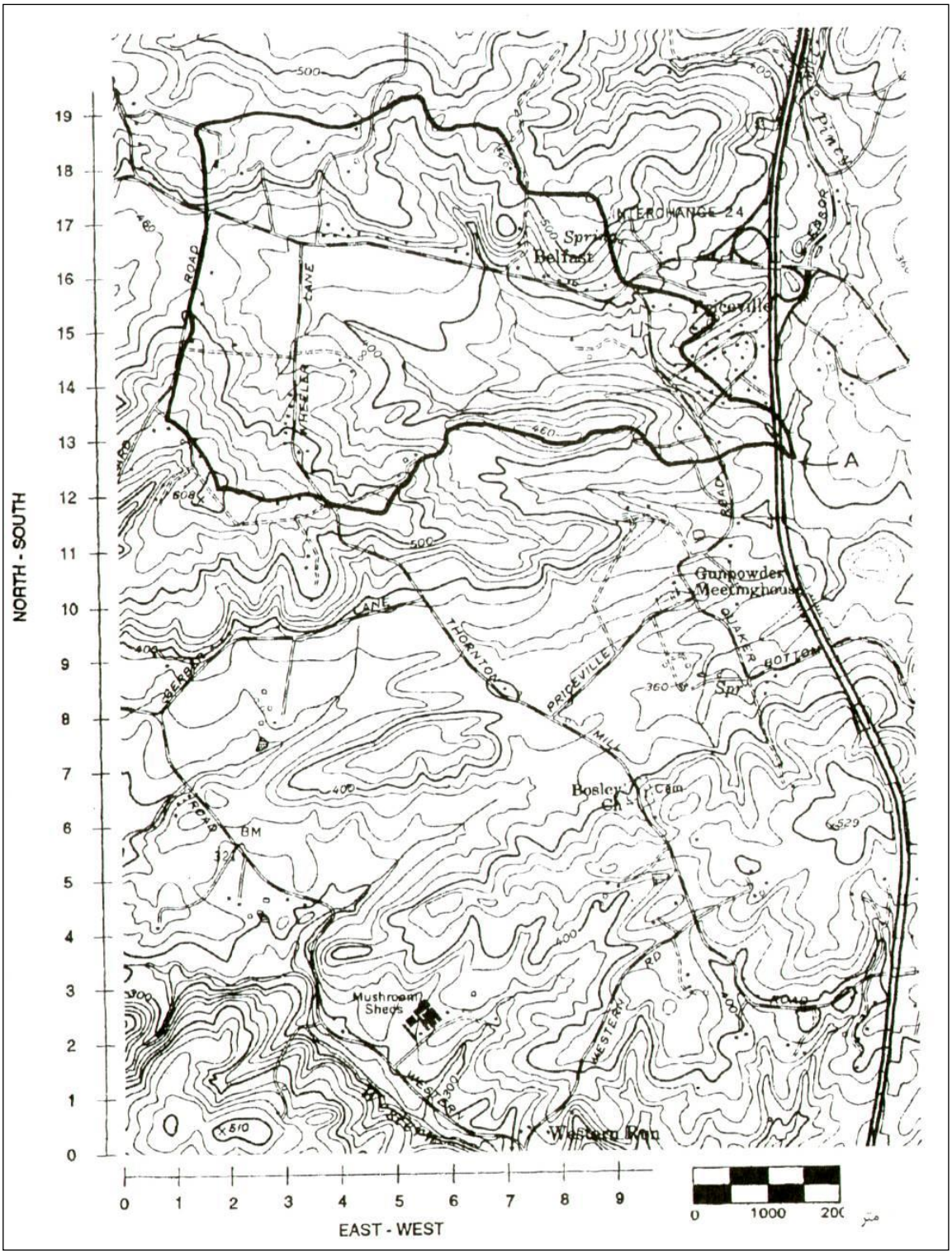
شکل ۱ تصویری شماتیک از یک حوضه آبریز و نقطه تمرکز آن

در شکل ۲، نقطه H که در داخل حوضه قرار گرفته است فقط رواناب قسمتی از حوضه را که با هاشور مشخص شده است، دریافت می‌دارد. این قسمت از حوضه را که یک بخش جداگانه بوده و با رودخانه اصلی در نقطه H ارتباط می‌یابد، زیرحوضه می‌نامند. برای ترسیم حوضه آبریز یک مسیل، لازم است نقطه تمرکز آن ذکر شود. شکل حوضه آبریز فقط به توپوگرافی حوضه بستگی دارد و از بهم پیوستن خط‌الراس‌های ارتفاعات آن بدست می‌آید. در نقشه‌های توپوگرافی معمولاً تراز قلل ارتفاعات به صورت دوایر یا منحنی‌های مسدود کوچکی مشاهده می‌شود که اگر به یکدیگر متصل شوند، حوضه آبریز رودخانه‌ای که در آن قرار گرفته است مشخص می‌گردد.



شکل ۲ نمایی از یک حوضه آبریز و زیرحوضه‌های آن

در شکل ۳ طریقه مشخص کردن محدوده حوضه آبریز روی نقشه‌های توپوگرافی نشان داده شده است. محدوده این حوضه در قسمت بالای شکل بوسیله اتصال خط الراس‌ها با خط مشکی درشت مشخص شده است. نقطه A در این شکل محل تمرکز رواناب و خروج جریان سطحی از حوضه می‌باشد. با توجه به اینکه در اینجا نقطه A در محل برخورد با مسیر قرار دارد، طراحی و تعبیه آبروی مناسب در این نقطه الزامی است. جهت ترسیم حوضه‌های آبریز، از نقشه‌های توپوگرافی موجود در منطقه استفاده شود. از این نقشه‌ها می‌توان به صورت مستقیم برای ترسیم حوضه استفاده نموده و سپس با استفاده از پلانیمتر مساحت آنرا بدست آورد و با اعمال ضریب مقیاس و ضریب پلاتیمتر مساحت واقعی حوضه و سایر مشخصات آنرا تعیین نمود.



شکل ۳ نحوه تعیین حوضه آبریز بر روی نقشه‌های توپوگرافی

۵-۱-۲ حوضه‌های آبریز منطقه‌ای و تقسیم‌بندی آن

- ✓ مجموعه‌ای از حوضه‌های رودخانه‌ای که جریانهای آنها بـه دریـا یـا دریاچـه داخلـی مشخصـی می‌رسد و از این جهت دارای وجه اشتراک هستند حوضه‌های منطقه‌ای نامیده می‌شوند.
- ✓ حوضه‌های منطقه‌ای به دو گروه تقسیم می‌شوند: ۱- حوضه‌های باز یا برون ریز، ۲- حوضه‌های بسته یا درون ریز (که حوضه‌های بسته به دو دسته حوضه بسـته مطلـق و حوضـه بسـته تقسـیم می‌شوند).

الف) حوضه‌های باز:

در این حوزه‌ها، جریانها به دریای آزاد منتهی مـی‌شـوند. حـدود ۲۶,۶ درصـد از مسـاحت کشـورمان را حوضه‌های باز تشکیل می‌دهند. این حوضه‌ها مشتمل بر رودخانه‌هایی است که جریان‌های داخلی ایـران را به خلیج فارس و دریای عمان می‌رساند.

ب) حوضه‌های بسته:

جریانهای این حوضه‌ها، در داخل حوضه به دریاچه داخلی یا باتلاقها منتهی می‌شود و یـا بـا دزیـای آزاد ارتباط ندارد. حدود ۷۳,۴ درصد مساحت کشورمان را حوضه‌های بسـته یـا درون ریـز تشـکیل مـی‌دهنـد. مطالعه این حوضه‌ها به سبب تاثیرپذیری محیط از عملیات بهره بـرداری از منـابع آب، از اهمیّـت بیشـتری برخوردار است.حوضه بسته شامل حوضه بسته مطلق و حوضه بسته می‌باشد.

حوضه بسته مطلق: در این حالت، همه جریانها شامل جریانات سطحی و زیرزمینی در داخل حوضه باقی می‌مانند.

حوضه بسته: در این حالت بسته بودن حوضه فقط از دیدگاه جریانات سطحی قابل قبـول اسـت و بـرای جریانات زیرزمینی قابل شناسائی نیست.

- ✓ مرز جریانات سطحی همان مرزهای توپوگرافیک سطح زمین است (طریقه ترسیم آن شـرح داده شد.)

- ✓ اما در مورد مرز جریانات زیرزمینی به بررسی زمین شناسی حوضه‌ها باید پرداخت.
- ✓ لازم به ذکر است که تمام حوضه‌های بسته ایران جزء حوضه‌ای بسته مطلق بشمار می‌آیند.

۵-۲ شبکه هیدروگرافی

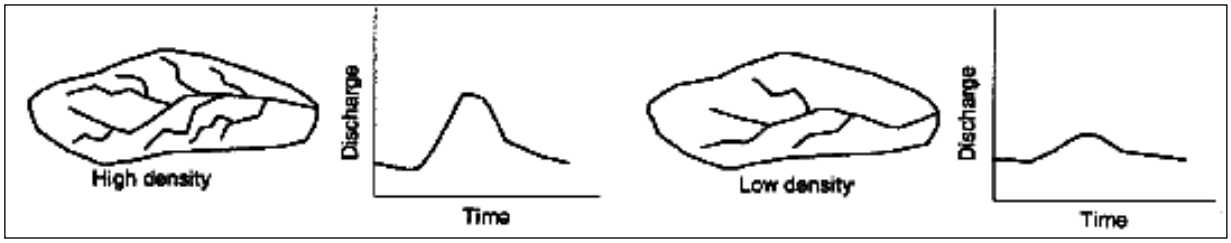
به مجموعه آبراهه‌هایی که در سطح حوضه عمل تخلیه جریانهای سطحی را انجام می‌دهند، شبکه هیدروگرافی می‌گویند. بر مبنای این شبکه ضرایب متعددی را می‌توان محاسبه کرد

۵-۲-۱ دانسیته یا تراکم آبراهه‌ها

- ✓ نسبت طول مجموع زهکشهای حوضه(طبیعی و مصنوعی) به مساحت آن را تراکم شبکه زهکشی حوضه می‌نامند. تراکم شبکه حوضه تاثیر زیادی بر پاسخ مکانی و موقتی حوضه به بارندگی دارد.

$$\mu = \frac{\sum L_i}{A}$$

- Li: طول هر یک از آبراهه‌های حوضه اعم از آبراهه‌های دائم یا خشک بر حسب km
- A: مساحت حوضه بر حسب km^2
- μ: تراکم آبراهه‌ها یا تراکم زهکشی
- شبکه آبرهه‌های حوضه نشان دهنده چگونگی تخلیه رواناب از حوضه می‌باشد.
- ✓ بین تراکم زهکشی و دبی حداکثر سالانه حوضه همبستگی وجود دارد.

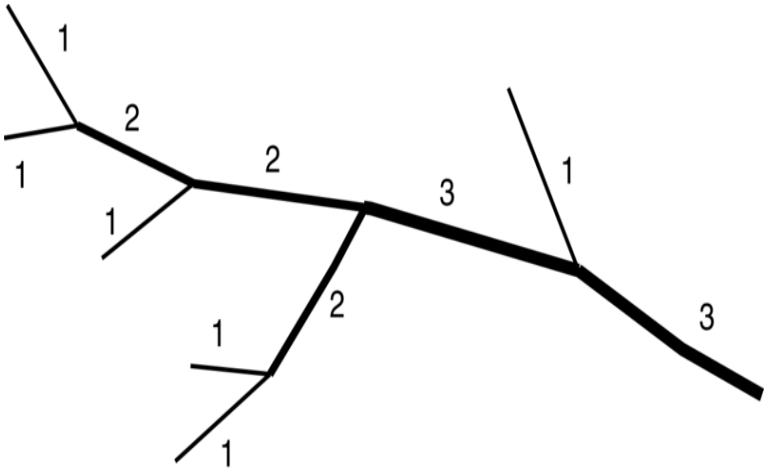


تاثیرات تراکم شبکه زهکشی حوضه بر هیدروگراف سیلاب

۵-۲-۲ رده‌بندی آبراهه‌ها و نسبت انشعاب

- ✓ رده‌بندی‌های مختلفی برای آبراهه‌ها انجام می‌شود. روش استراهلر *"strahler"* متداول‌ترین آنهاست

- آبراهه اولیه که از ارتفاعات شروع می‌شود با شماره ۱ مشخص می‌شود.
- از به هم پیوستن دو آبراهه شماره ۱، آبراهه شماره ۲ بوجود می‌آید.
- از به هم پیوستن دو آبراهه شماره ۲، آبراهه شماره ۳ بوجود می‌آید.



- ✓ شماره رده رودخانه در نقطه تمرکز نشان درجه تکامل شبکه آبراهه در بالادست آن نقطه است.

ضریب انشعاب (*Bifurcation Ratio*)

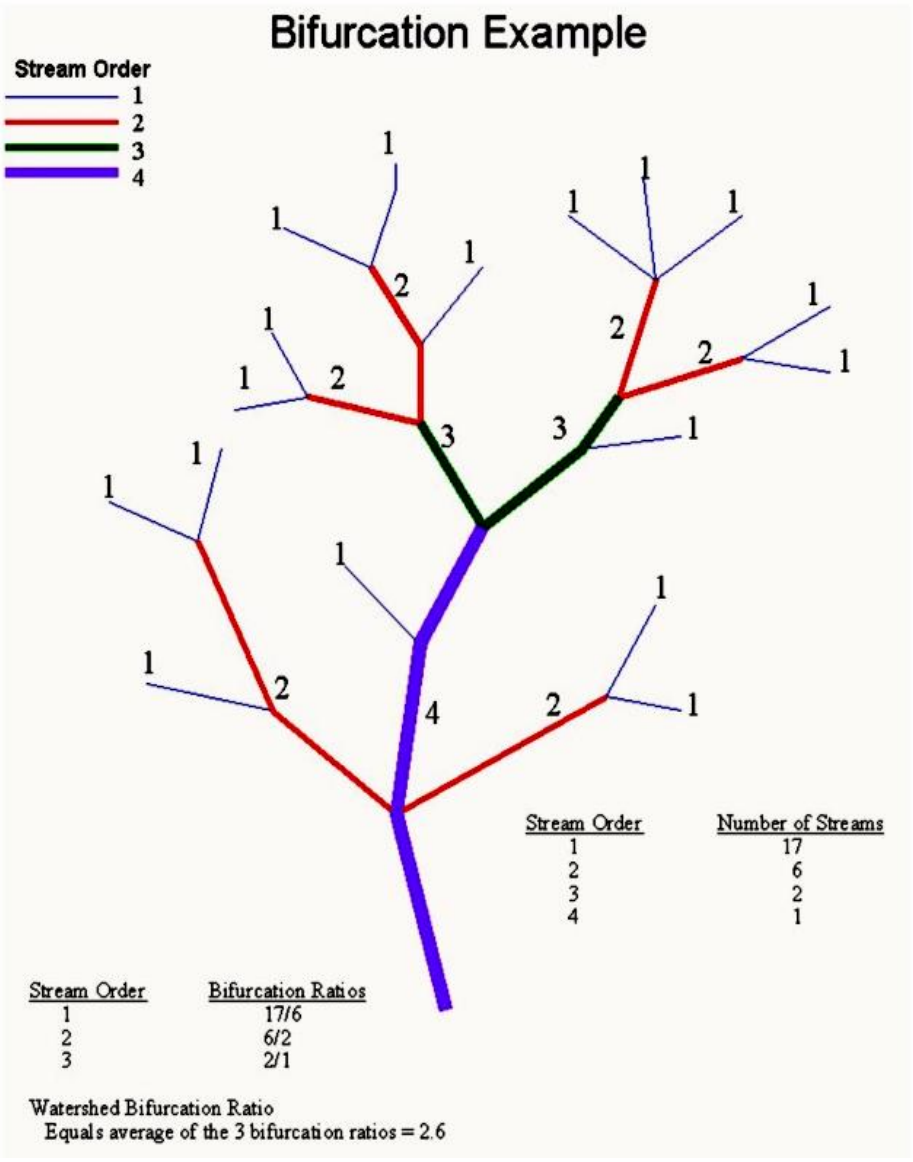
- ✓ نسبت انشعاب برابر است با میانگین نسبت تعداد آبرهه‌های یک رده به تعداد رده بالاتر در یک حوضه

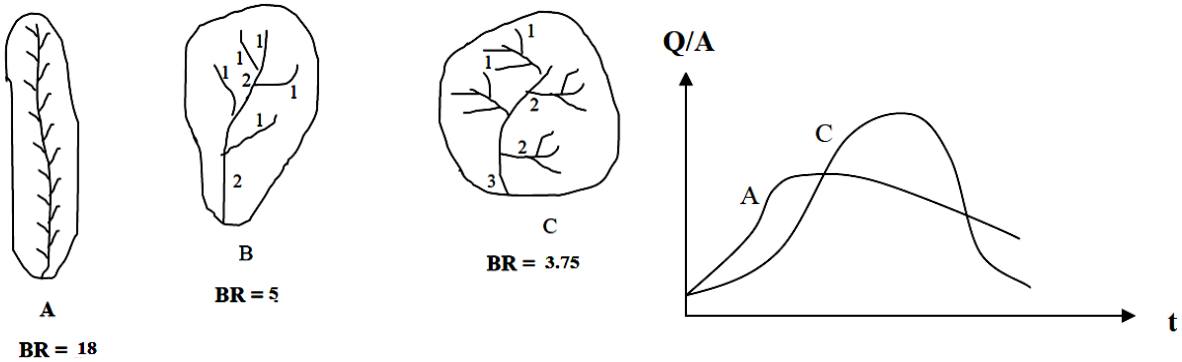
$$BR = \left(\frac{n_1}{n_2} + \frac{n_2}{n_3} + \frac{n_3}{n_4} + \cdots \frac{n_{i-1}}{n_i} \right) \frac{1}{i-1}$$

n_1 و n_2 و ... تعداد رودخانه‌های رده یک و دو

i: شماره رده رودخانه اصلی (شماره آخرین رده آبراهه)

اگر در حوضه‌ای *i* رده رودخانه باشد، *i-1* نسبت انشعاب وجود خواهد داشت بنابراین رابطه فوق میانگین را نشان می‌دهد.





✓ هر مقدار نسبت انشعاب کوچکتر باشد هیدروگراف سیل در مقایسه با حوضه‌های دیگر با شرایط مساوی دارای دبی اوج بیشتری خواهد بود.

روشی دیگر برای محاسبه BR استفاده از رابطه زیر است:

$$BR = anti\ log\left[\frac{logn_1 - logn_i}{n-1}\right]$$

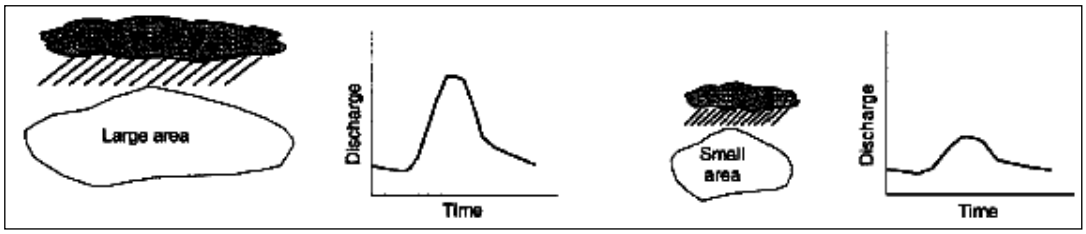
- ✓ n_1: تعداد رودخانه‌های رده یک
- ✓ n_i: تعداد آخرین رده
- ✓ n: شماره رده رودخانه اصلی (شماره آخرین رده آبراهه)

۵-۳ ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز

مشخصات فیزیکی حوضه‌های آبریز به مجموعه پارامترهای فیزیکی گفته می‌شود که مقادیر آنها برای هر حوضه تقریباً ثابت بوده و نشان دهنده وضع ظاهری حوضه است. این مشخصات تاثیر مستقیم و غیرمستقیم در تبدیل فرآیند بارش به رواناب دارند. خصوصیات مهم حوضه‌ها عبارتند از: پوشش گیاهی، جنس خاکها، کاربری اراضی و نهایتاً خصوصیات ژئومتری حوضه که شامل مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، شکل حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، زمان تمرکز و ... است.

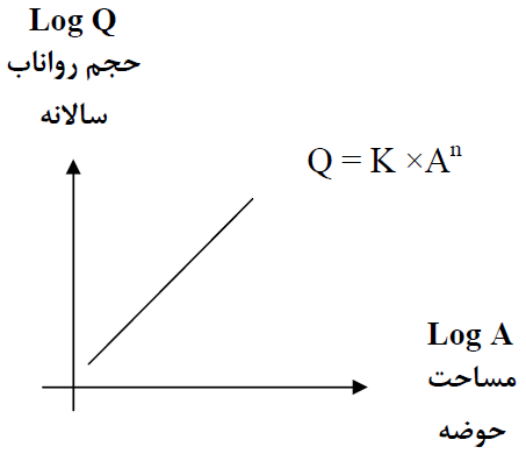
۵-۳-۱ مساحت حوضه (A)

- ✓ مهمترین مشخصه فیزیکی حوضه است که در مقدار رواناب تاثیر مستقیم دارد. مساحت حوضه تاثیر مستقیم بر دبی اوجِ رواناب دارد. هر چه مساحت حوضه بیشتر باشد دبی سیلابی حوضه بزرگتر خواهد بود. در شکل ذیل تاثیر مساحت حوضه بر دبی اوجِ سیلاب نشان داده شده است.



رابطه بین دبی و مساحت حوضه

- ✓ پس از ترسیم حوضه آبریز، سطح را با توجه به مقیاس نقشه اندازه‌گیری می‌نمایند. (استفاده از پلانیمتر، روش شطرنجی، روش نواری)
- ✓ معمولاً رابطه‌ای به صورت $Q=K.A^n$ بین حداکثر دبی لحظه‌ای و مساحت حوضه وجود دارد. در روش تجزیه و تحلیل منطقه‌ای برای تعیین حداکثر دبی سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های مختلف از رابطه مذکور استفاده می‌شود.

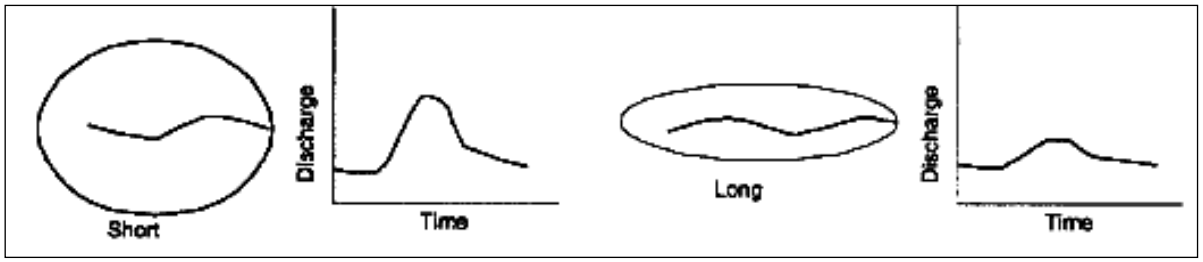


۵-۳-۲ محیط حوضه (P)

محیط حوضه آبریز ترسیم شده و در واقع همان طول خط تقسیم آب است. برای تعیین برخی ضرایب نظیر ضریب گرادیلیوس استفاده می‌شود.

۵-۳-۳ طول حوضه (L)

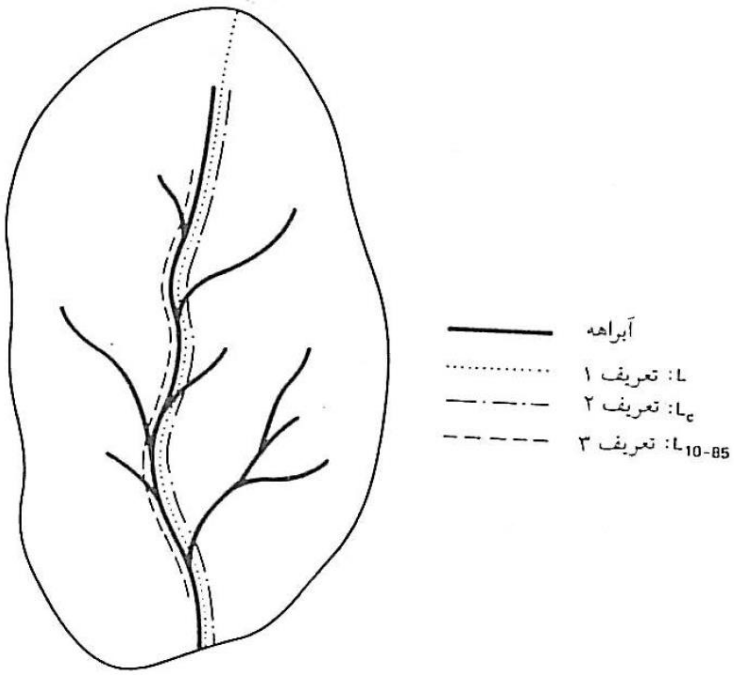
یکی از مشخصات مهم حوضه، طول آبراهه یا کانالِ طبیعیِ اصلی است. در شرایط یکسان هر چه طول آبراهه بیشتر باشد دبی اوج کمترخواهد بود. فراوانی وقوع یک سیلاب مشخص نیز تحت تاثیر طول آبراهه اصلی قرار دارد. همانند تراکم شبکه زهکشی، طول آبراهه اصلی تاثیر مهمی در تعیین پاسخ زمانی حوضه به بارندگی با دوره بازگشت معین دارد. در شکل ذیل اثرات طول آبراهه اصلی بر دبی اوج سیلاب نشان داده شده است.



اثرات طول آبراهه بر حداکثر دبی سیلاب

تعاریف متفاوتی برای طول حوضه وجود دارد:

۱) طول مسیر آبراهه اصلی از نقطه انتهایی تا دورترین قله روی خط تقسیم آب
۲) طول مسیر آبراهه اصلی از نقطه انتهایی تا جایی که رودخانه به طور مشخص روی نقشه وجود دارد. L_c
۳) طولی از رودخانه اصلی که بین 10 تا 85 درصد از طول رودخانه قرار گرفته است. $L_{10\text{-}85}$
۴) هر حوضه دارای یک مرکز ثقل است. مرکز ثقل ممکن است روی رودخانه اصلی یا خارج از آن باشد. چنانچه مرکز ثقل روی رودخانه اصلی باشد، فاصله آن تا انتهای حوضه که با L_{ca} نشان داده می‌شود نیز نمایه‌ای از طول حوضه است. چنانچه مرکز ثقل خارج از رودخانه اصلی باشد، از آن نقطه خطی عمود بر رودخانه اصلی رسم نموده و آن نقطه بعنوان تصویر مرکز ثقل رودخانه در نظر گرفته می‌شود. از نقطه مذکور تا انتهای حوضه بعنوان L_{ca} خواهد بود.

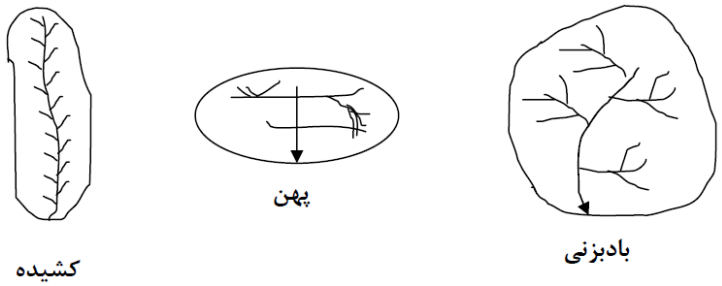


✓ هر کدام از تعاریف فوق، نمایه‌ای از طول حوضه است که برای محاسبه روشهای مختلف تعیین شیب حوضه و زمان تمرکز از آنها استفاده می‌شود.

۵-۳-۴ شکل حوضه

- ✓ شکل حوضه تاثیر فراوانی بر روی هیدروگراف سیل دارد.
- ✓ حوضه‌های آبریز از نظر شکل ظاهری گوناگون و متنوعند و عمدتاً بـه سـه گـروه تقسـیم‌بنـدی می‌شوند:

۱) حوضه‌های کشیده ۲) حوضه‌های پهن ۳) حوضه‌های بادبزنی



- ✓ با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی نظیر مساحت، جنس خاک و ... و تحت تـاثیر یـک بارندگی یکنواخت، دبی پیک سیلاب در حوضه‌های گرد بیشتر از حوضـه‌هـای کشـیده است. چرا؟
- ✓ برای آنکه بتوان حوضه‌ها را از نظر شکل با هم مقایسه نمود، ضریب شکل‌های مختلفـی ارائه شده است.

الف) ضریب فرم حوضه (*Form Factor*)

- ✓ این ضریب در سال ۱۹۳۲ توسط هورتون ارائه شده است و عبارتست از نسبت مساحت حوضـه به مجذور طول حوضه:

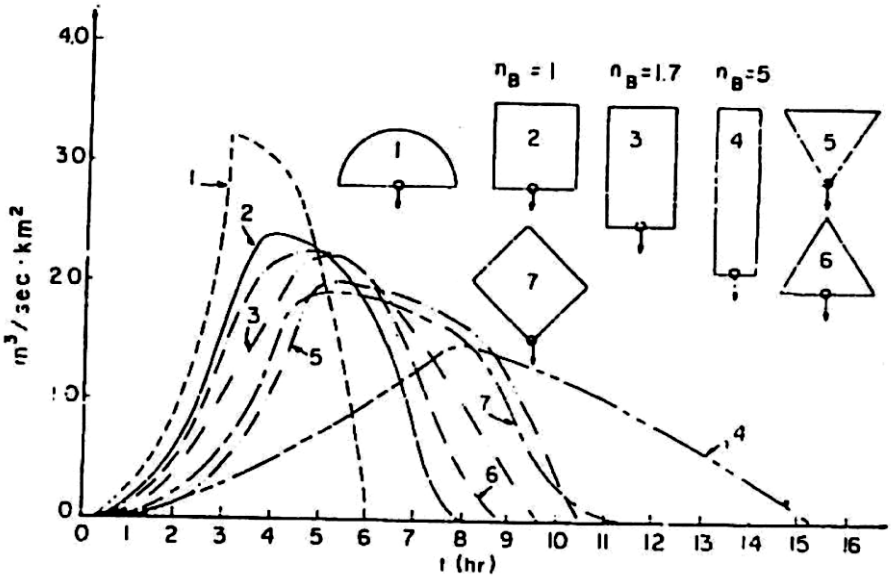
$$F.F = \frac{A}{L^2}$$

چنانچه حوضه را مستطیلی فرض کرده که طول آن L و عرض متوسط آن B باشد:

$$\rightarrow \frac{B.L}{L^2} = \frac{B}{L}$$

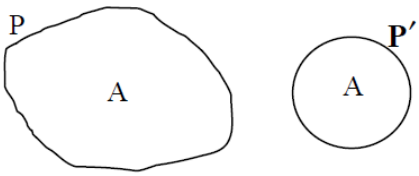
بنابراین ضریب فرم حوضه نسبت عرض متوسط حوضه به طول آن است.

✓ نمایه دیگری نیز به نام n_B وجود دارد که عکس ضریب شکل است و به صورت $\frac{L}{B}$ تعریف می‌شود



ب) ضریب فشردگی (*Compactness Coefficient*)

عبارتست از محیط حوضه (P) به محیط دایره فرضی که مساحت آن برابر با مساحت حوضه باشد (P')



$$c.c = \frac{P}{\acute{P}}, \quad A = \pi R^2 \rightarrow R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}, \quad \acute{P} = 2\pi R = 2\pi\sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2\sqrt{\pi A}$$

$$\rightarrow c.c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.282P}{\sqrt{A}}$$

✓ ضریب فشردگی برای دایره برابر با ۱ و برای مربع برابر با ۱/۱۲۸ بدست می‌آید.

✓ هر مقدار ضریب فشردگی از مقدار ۱ بیشتر باشد شکل حوضه کشیدگی بیشتری دارد.

ج) ضریب گردی "نسبت دایره‌ای" (*Basin Circularity*)

این ضریب در سال ۱۹۵۳ توسط میلر ارائه گردیده است و عبارتست از نسبت مساحت حوضه به مساحت دایره‌ای که محیط آن مساوی محیط حوضه باشد.

$$R_c = \frac{A}{\acute{A}}, \quad P = 2\pi R, \qquad R = \frac{P}{2\pi}, \qquad A = \pi R^2 = \pi \frac{P^2}{4\pi^2} = \frac{P^2}{4\pi}$$

$$R_c = \frac{A}{P^2/4\pi} = \frac{4\pi A}{P^2} = \frac{12.566A}{P^2}$$

$$R_c = \frac{1}{CC^2} \rightarrow CC = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \rightarrow CC^2 = \frac{P^2}{4\pi A} \quad , \quad \frac{1}{CC^2} = \frac{4\pi A}{P^2} = R_c$$

د) نسبت کشیدگی (*Elongation Ratio*)

این ضریب در سال ۱۹۵۶ توسط شیوم ارائه گردیده و عبارتست از نسبت قطر دایره معادل با سطح حوضه به طول حوضه

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$R_e = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L} = \frac{1.128\sqrt{A}}{L}$$

ه) نظیرسازی هندسی حوضه‌های آبریز

نظیرسازی شکل نامعین حوضه با اشکال هندسی، از دیگر روشهایی است که به منظور انجام مطالعات مقایسه‌ای حوضه‌ها صورت می‌گیرد. معروفترین شکل نظیر هندسی حوضه، مستطیل معادل است. مستطیل معادل دارای سطح، محیط و ضریب فشردگی برابر با حوضه اصلی است. (A و P مساحت و محیط حوضه اصلی، B و L طول و عرض مستطیل معادل)

$$A = BL \rightarrow B = \frac{A}{L} \ , \ P = 2(B + L) \rightarrow P = 2(\frac{A}{L} + L)$$

$$C.C = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \rightarrow P = \frac{C.C\sqrt{A}}{0.28} = 2(\frac{A}{L} + L)$$

با ضرب طرفین در L

$$2L^2 - \frac{C.C\sqrt{A}}{0.28}L + 2A = 0$$

با حل معادله درجه ۲

$$L = \frac{C.C\sqrt{A} + \sqrt{C.C^2 - 1.2544A}}{1.12} \qquad B = \frac{C.C\sqrt{A} - \sqrt{C.C^2 - 1.2544A}}{1.12}$$

۵-۳-۴ ارتفاع متوسط حوضه

ارتفاع حوضه نسبت به سطح دریا نقش مهمی در مقدار و نوع بارندگی، میزان تبخیر و تعرق و وضعیت پوشش گیاهی حوضه داشته و نتیجتاً روی ضرایب رواناب اثر می‌گذارد. ارتفاع متوسط حوضه با روشهای مختلفی تعیین می‌شود.

۱) ساده‌ترین روش، محاسبه میانگین ارتفاعِ حداقل و ارتفاعِ حداکثر حوضه است.
در این حالت، توزیع سطح حوضه با ارتفاع نادیده گرفته شده است و ممکن است با داشتن سطح محدودی در ارتفاعات بالا، ارتفاع متوسط حساب شده بصورت غیر واقعی افزایش یابد.

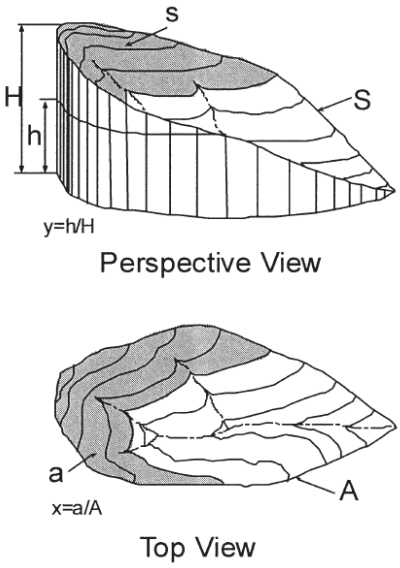
۲) با توجه به حوضه آبریز ترسیم شده بر روی نقشه توپوگرافی، طول خطوط میزان به فواصل ارتفاعی معین از یکدیگر اندازه‌گیری شده و سپس با در نظر گرفتن ارتفاع مربوط به هر یک از آنها، ارتفاع متوسط حوضه با استفاده از رابطه ذیل تعیین شود:

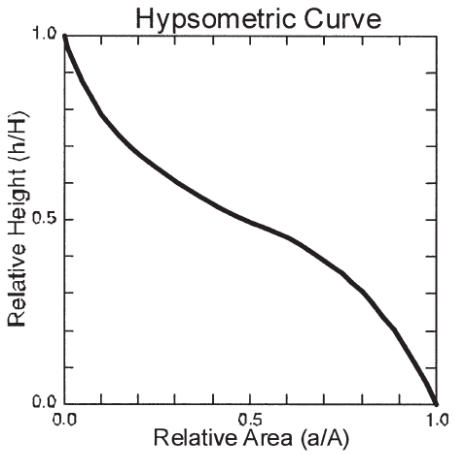
$$Z_{mean} = \frac{\sum L_i.Z_i}{\sum L_i}$$

L_i: طول خطوط میزان مربوط به ارتفاع Z_i

۳) کاملترین و بهترین روش، رسم منحنی‌های ارتفاعی حوضه است. نحوه توزیع ارتفاعات در حوضه‌ها را با منحنی‌های هیپسومتری *"Hypsometry"* و آلتی‌متری *" Altimetry"* نشان می‌دهند.

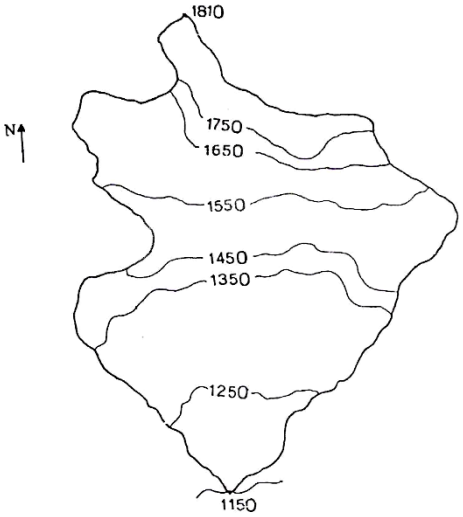
برای رسم منحنی هیپسومتری پس از ترسیم حوضه آبریز بر روی نقشه توپوگرافی، مساحتی از حوضه که بین هر دو خط تراز واقع شده است اندازه‌گیری می‌شود سپس در یکدستگاه محور مختصات، ارتفاع نسبت به مساحتی از حوضه که بالاتر از آن واقع شده است به صورت تجمعی رسم می‌شود. ارتفاع متوسط حوضه، رقومی است که ۵۰ درصد مساحت حوضه ارتفاعی بالاتر از آن و ۵۰ درصد مساحت حوضه ارتفاعی پایین‌تر از آن داشته باشد.



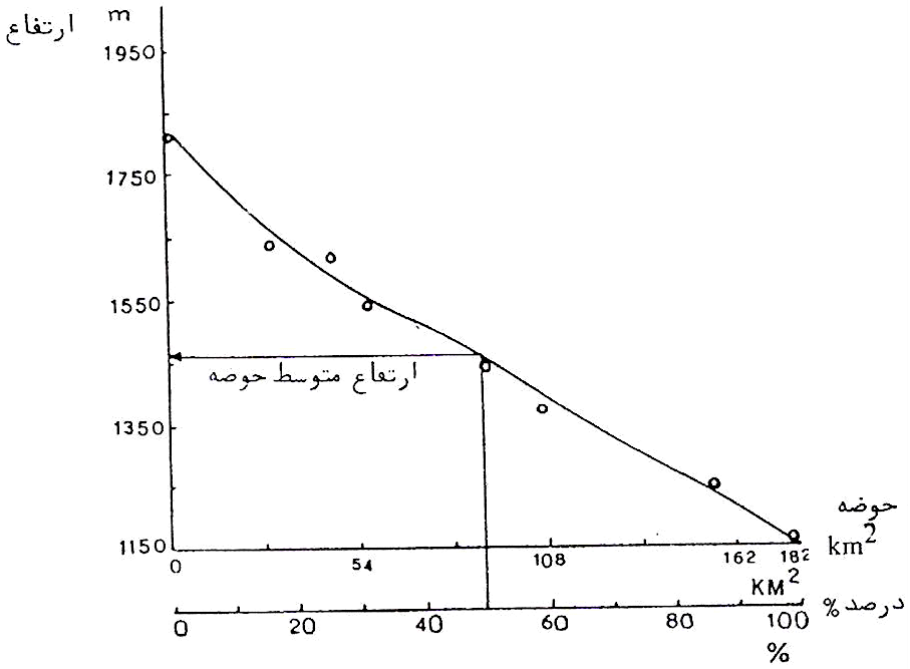


مثال

جدول زیر با استفاده از نقشه توپوگرافی یک حوضه آبریز بدست آمده است. منحنی هیپسومتری آن را ترسیم و ارتفاع متوسط حوضه را بدست آورید.



(1)	(2)	(3)	(4)
ارتفاع (m)	مساحت بین دو خط تراز km^2	مساحتی از حوضه که بالاتر از ... قرار گرفته است	درصدی از مساحت حوضه که ارتفاعی بیش از ... دارند
1150	22	182	100
1250	50	160	88
1350	15	110	60
1450	33	95	52
1550	31	62	34
1650	12	31	17
1750	19	19	10
1810			0



روش دیگر برای پیدا کردن ارتفاع متوسط

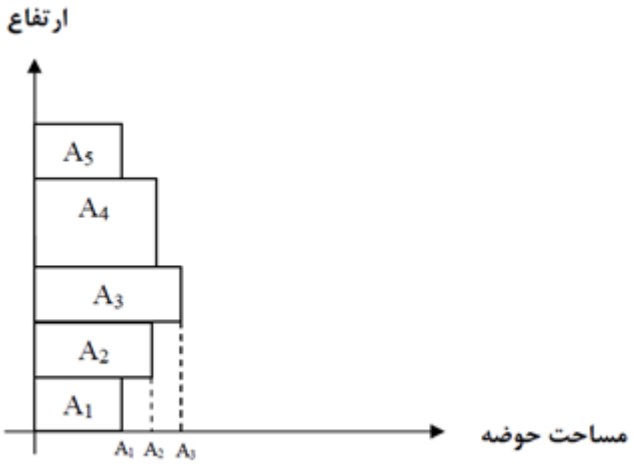
$$\overline{H} = \frac{\sum a.H}{A}$$

a: مساحت جزئی حوضه بین هر دو خط تراز

H: متوسط ارتفاع در جزء a از مساحت (میانگین خط تراز بالائی و پایینی)

منحنی آلتی‌متری

اگر روی محور عرضها، ارتفاع و روی محور طولها، مساحتی از حوضه که بین دو ارتفاع مورد نظر واقع شده‌اند، به صورت نمودار ستونی ترسیم گردد نمودار آلتی‌متری بدست می‌آید.



از روی این نمودار به راحتی می‌توان تشخیص داد که بیشترین سطح حوضه چه ارتفاعی دارد.

۵-۳-۵ شیب آبراهه اصلی

نیمرخ رودخانه‌ها معمولا از سه قسمت مجزا تشکیل شده است؛

الف ـ قسمت فرازآب: که شیب آن تند و سرعت آب در این قسمت زیاد است. بستر رودخانه در این قسمت از مسیر مرتب در حال فرسایش است تا بتدریج از حالت جوان بودن خارج و به مرحله تکامل برسد.

ب ـ قسمت میانی: که شیب آن کمتر از شیب قسمت سرآب است. در این قسمت اغلب شاخه‌های فرعی به رودخانه می‌پیوندند و دبی رودخانه در قسمتهای مختلف آن دفعةً افزایش می‌یابد. خصوصیات این قسمت از رودخانه عوامل اصلی طراحی را تشکیل می‌دهد زیرا این قسمت از رودخانه تقریباً تکامل یافته است.

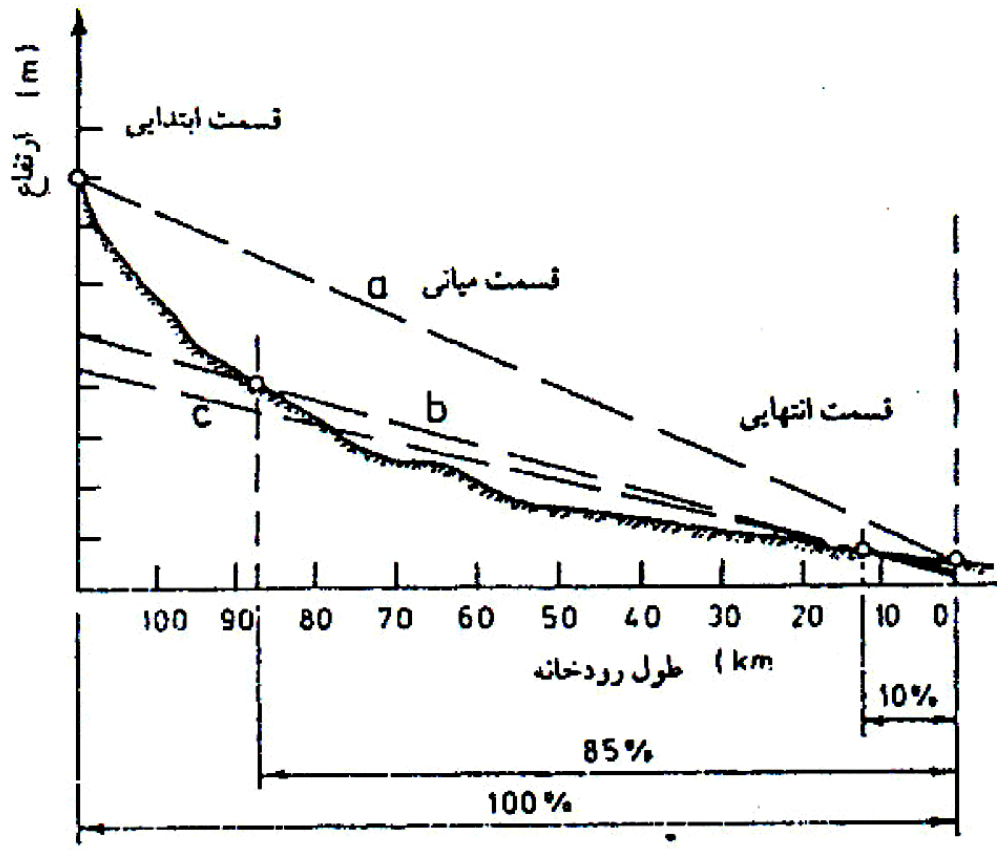
ج ـ قسمت فرود آب یا پایاب: که رودخانه شیب خود را از دست داده و محلی است که بار رسوب برجای گذاشته می‌شود و رودخانه به سن تکاملی رسیده است (رودخانه مسنّ).

سه روش مختلف برای محاسبه شیب آبراهه اصلی وجود دارد:

روش اول - ابتدا و انتهای رودخانه روی نقشه بهم وصل می‌شوند تا خط مستقیمی مانند خط a در شکل ۱۲-۲۲ بدست آید، شیب این خط را می‌توان بعنوان شیب رودخانه اصلی در نظر گرفت.

روش دوم - روی نیمرخ رودخانه دو نقطه را که یکی مربوط به ۱۰ درصد طول (از انتهای رودخانه) و دیگری مربوط به ۸۵ درصد طول رودخانه (از انتها) باشد مشخص کرده و آن دو را بهمدیگر وصل می‌کنیم تا خطی مشابه b در شکل ۱۲-۲۲ بدست آید. شیب این خط نیز بعنوان شیب آبراهه اصلی می‌تواند در نظر گرفته شود.

روش سوم- روی نیمرخ رودخانه خط مستقیمی مانند C طوری رسم می‌شود که اولاً نقطه انتهایی آن منطبق بر نقطه انتهایی نیمرخ رودخانه باشد و ثانیاً سطح مثلث ایجاد شده توسط آن با محورهای مختصات برابر سطح زیر منحنی نیمرخ رودخانه با این محورها باشد. در این صورت نیز شیب این خط برابر شیب متوسط رودخانه در نظر گرفته‌می‌شود. معمولاً در کارهای هیدرولوژی بیشتر از این روش و یا روش دوم استفاده می‌شود.



۵-۳-۶ شیب متوسط حوضه

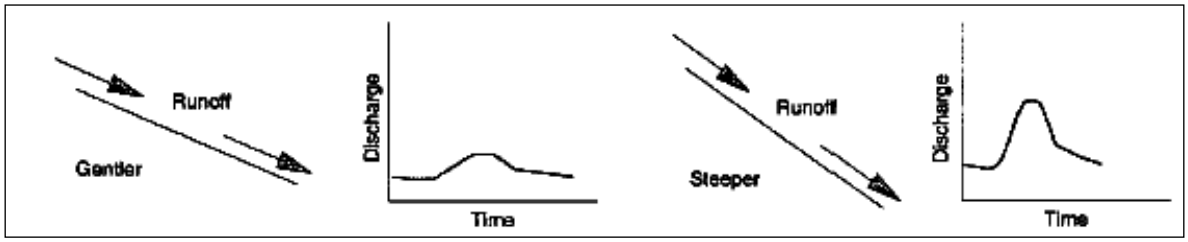
شیب متوسط حوضه نقش اساسی در میزان رواناب، مقدار نفوذ، شدت سیلاب و میزان فرسایش دارد. جهت تعیین شیب متوسط حوضه روابط متعددی وجود دارد. یکی از این روابط، فرمول هورتون است که ذیلاً به آن اشاره می‌شود:

$$S = \frac{H\sum L}{A}$$

در رابطه فوق، S شیب متوسط حوضه به درصد، H فاصله ارتفاعی بین خطوط میزان منحنی به کیلومتر، $\sum L$ طول خطوط میزان منحنی واقع در محدوده حوضه آبریز به کیلومتر و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع می‌باشد. شیب متوسط حوضه را نیز می‌توان با استفاده از رابطه زیر به صورت تقریبی تعیین کرد

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}}$$

در این رابطه H_{max} و H_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به کیلومتر و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. شیب‌های تندتر منجر به دبی اوج بزرگتر می‌شود. زیرا در اثر شیب زیاد، رواناب حاصله با سرعت بیشتری به نقطه انتهایی حوضه می‌رسد. کل حجم رواناب نیز تحت تاثیر شیب قرار دارد. هرچه شیب کمتر باشد رواناب با سرعت کمتری حوضه را ترک می‌نماید، در این شرایط تلفات بارندگی در طول حوضه احتمالابیشتر و در نتیجه حجم کل رواناب می‌تواند کمتر گردد. در شکل زیر تاثیر شیب حوضه بر حداکثر دبی پیک سیلاب و زمان رسیدن به آن ارائه شده است.



تاثیر شیب حوضه بر حداکثر دبی پیک سیلاب

۵-۳-۷ زمان تمرکز

یکی از مهمترین مشخصات فیزیکی حوضه‌های آبریز، زمان تمرکز است. زمان تمرکز، زمانی است که طول می‌کشد تا رواناب از دورترین نقطه حوضه نسبت به خروجی، مسیر هیدرولوژیکی خود را طی نماید تا به نقطه خروجی برسد. برخی از روشهای محاسبه دبی حداکثر سیلاب، از زمان تمرکز بعنوان یک داده استفاده می‌نمایند همچنین از زمان تمرکز جهت بدست آوردن شدت بارندگی از منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی و در برخی موارد جهت ترسیم هیدروگرافها استفاده می‌شود.

مقدار زمان تمرکز بستگی به طول آبراهه اصلی، شیب آن و شرایط هیدرولیکی مسیر جریان مانند ضریب زبری و شعاع هیدرولیکی دارد. روابط تجربی متعددی برای محاسبه زمان تمرکز ارائه شده است که بیشتر آنها بر اساس دو عامل شیب و طول آبراهه اصلی می‌باشد که بعنوان نمونه روش ایزارد و کرپیچ ارائه شده است.

معادله ایزارد:

$$t_C = \frac{(0.024\ i^{0.33} + 878\ k/i^{0.67})L^{0.67}}{(cH^{0.5})^{0.67}}$$

i = شدت بارندگی (mm/hr)

L= طول مسیر آبراهه اصلی (km)

H= اختلاف ارتفاع دو طرف آبراهه اصلی (m)

c = ضریب رواناب برای سطوح مختلف طبق جدول

ارتفاع بارندگی ÷ ارتفاع رواناب = c

K = ضریب مربوط به نوع سطح که مقدار آن برابر است با:

اسفالت	K = 0.007
بتن	K = 0.012
اراضی لخت	K = 0.017
اراضی کشاورزی	K = 0.046
مراتع	K = 0.060

برحسب تجربه معادله ایزارد برای شرایطی صادق است که در آن i.L < 3.8 باشد که i شدت بارندگی برحسب mm/hr و L طول مسیر آبراهه برحسب کیلومتر می‌باشد.

وضعیت سطح حوضه	ضریب C	ملاحظات (اضافه یا کسر شود)
اراضی کشاورزی	0.30	
اراضی لخت و بدون پوشش گیاهی	0.40	برای شیبهای کمتر از ۵ درصد (-0.05)
اراضی با پوشش گیاهی	0.35	برای شیبهای بیش از ۱۰ درصد (+0.05)
اراضی جنگلی	0.18	برای بارندگی سالیانه کمتر از 600mm (-0.03)
		برای بارندگی سالیانه بیش از 900mm (+0.03)
پوشش آسفالتی	0.7-0.9	
پارکها	0.05-0.10	
اراضی مسکونی	0.18-0.22	
پشت‌بامها	0.7-0.9	
چمن‌زارها	0.15-0.2	برای شیبهای بیش از ۷ درجه

معادله کرپیچ در سال ۱۹۴۰ کرپیچ (Kirpich) براساس داده‌های حاصله از ۶ حوضه کوچک معادله زیر را برای تخمین زمان تمرکز ارائه داده است.

$$t_c = 0.949\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \qquad (۳۲-۱۲)$$

که در آن:

t_c = زمان تمرکز بر حسب ساعت

L = طولانی‌ترین مسیر حرکت آب در داخل حوضه (کیلومتر) یا طول مسیر آبراهه اصلی

H = اختلاف ارتفاع بین نقطهٔ تمرکز و بلندترین قسمت حوضه (متر) یعنی اختلاف ارتفاع بلندترین و پایین‌ترین نقطهٔ حوضه.

در ادامه این قسمت یکی از روشهای محاسبه زمان تمرکز که دقّت بیشتری نسبت به سایر روشها دارد (*SCS*)، ذکر می‌شود.

محاسبه زمان تمرکز به روش *SCS*[1] بر مبنای سرعت

زمان تمرکز، از جمع همه زمانهای حرکت (شامل جریان ورقه‌ای، جریان تجمعی کم عمق و جریان کانال باز) بدست می‌آید. زبری سطح، شیب حوضه، نوع جریان و شکل مجرا از جمله عوامل بسیار مهم در

[1] NRCS 1986

تعیین زمان تمرکز می‌باشد.(از آنجا که حرکت جریان در حالت جریان ورقه ای، متمرکز کم عمق و جریـان کانال روباز متفاوت است لذا از روابط متفاوتی برای بدست آوردنِ زمان حرکت در هر بخش اسـتفاده مـی نماییم.)

$$T_t = \frac{L}{3600\,V}$$

$$T_c = \sum T_t$$

در روابط فوق L طول مسیر در هر نوع جریان بر حسب متر، V سرعت جریان بر حسب متر بـر ثانیه و T_t زمان حرکت و T_c زمان تمرکز حوضه بر حسب ساعت است.

در روش SCS[۲] (سازمان حفاظت خاک آمریکا) جریان به سه قسمت به صورت زیر تقسیم می‌گـردد که برای هر قسمت زمان حرکت بطور جداگانه محاسبه می‌شود.

- ✓ **جریان ورقه‌ای (*Sheet Flow*)**

این جریان در سرشاخه‌های آبراهه قبل از تشکیل جریان تجمعی کم عمق بوجود می‌آید و پـس از طی نمودن مسافتی به طول حدود ۱۰۰ متر به جریان تجمعی کم عمق تبدیل می‌شود. زمان حرکت در ایـن نوع جریان از رابطه۱-۵ محاسبه می‌شود

$$T_t = \frac{\alpha}{P_2^{0.5}} \left[\frac{nL}{\sqrt{S}} \right]^{0.8}$$

در این رابطه

T_t: زمان حرکت جریان ورقه‌ای بر حسب ساعت

n: ضریب مربوط به زبری بستر حوضه (ضریب زبری مانینگ)

L: مسافت طی شده توسط جریان در حالت جریان ورقه‌ای بر حسب متر

[2] NRCS(National resource Conservation service)

P_2: بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال برحسب میلیمتر

S: شیب خط تراز هیدرولیکی بر حسب متر / متر

α: ضریب ثابت که معادل ۵,۵ در سیستم آحاد متریک SI و ۰,۴۲ در سیستم آحاد انگلیسی CU

Table 4-6: Overland Flow Roughness Coefficients for Use in NRCS Method in Calculating Sheet Flow Travel Time (Not Manning's Roughness Coefficient) (NRCS 1986)

Surface description		n_{ol}
Smooth surfaces (concrete, asphalt, gravel, or bare soil)		*0.011*
Fallow (no residue)		*0.05*
Cultivated soils:	*Residue cover <20%*	*0.06*
	Residue cover > 20%	*0.17*
Grass:	*Short grass prairie*	*0.15*
	Dense grasses	*0.24*
	Bermuda	*0.41*
Range (natural):		*0.13*
Woods:	*Light underbrush*	*0.40*
	Dense underbrush	*0.80*

✓ جریان متمرکز کم عمق *Shallow Concentrated Flow*

جریان پس از طی مسافت حدود ۹۰ متر تبدیل به جریان تجمعی کم عمق شده و این وضعیت تا زمانی که مشخصات و ابعاد کانال در عکسهای هوایی یا نقشه های ۱/۲۵۰۰۰ قابل تشخیص نباشد، ادامه دارد. برای محاسبه زمان حرکت در این نوع جریان، با استفاده از نمودار شکل ۱-۴ و یا رابطه ۱-۶ سرعت متوسط تعیین می‌گردد، سپس با ضرب نمودن آن در طول مسیر جریان تجمعی کم عمق، زمان حرکت محاسبه می‌شود.

$$V = \alpha k \sqrt{S}$$

در این رابطه:

V: سرعت جریان آب در جریان تجمعی کم عمق بر حسب متر بر ثانیه

k: ضریبی که تابع پوشش گیاهی منطقه است (جدول (۱-۱))

S: شیب بر حسب متر / متر

α: ضریب ثابت که معادل ۱۰در سیستم آحاد متریک(SI) و ۳۳ در سیستم آحاد انگلیسی(CU)

ضریب k جهت محاسبه سرعت در جریان تجمعی کم عمق

K	نوع پوشش گیاهی و رژیم جریان
۰/۰۷۶	مناطق جنگلی (جریان سطحی *((overland flow)*
۰/۱۵۲	مناطق کشاورزی با ردیف‌های کنتور شده (جریان سطحی *((overland flow)*
۰/۲۱۳	علفزارها، چرگاهها، مرتع(جریان سطحی *((overland flow)*
۰/۲۷۴	مناطق کشاورزی با ردیف‌های مستقیم(جریان سطحی *((overland flow)*
۰/۳۰۵	مناطق تقریباً لخت و بدون پوشش گیاهی (جریان سطحی *((overland flow)*
۰/۴۵۷	حوضه‌های علفی(جریان کم عمق *((shallow flow)*
۰/۴۹۱	حوضه های پوشش نشده(جریان کم عمق *((shallow flow)*
۰/۶۱۹	حوضه‌های پوشش شده آسفالتی (جریان کم عمق *((shallow flow)*

✓ **جریان کانال باز *Open Channels***

بنا به توصیه *SCS*، جریان در آبراهه‌هایی که با استفاده از عکسهای هوایی و نقشه‌ها قابل تشخیص هستند، به صورت جریان در کانال باز در نظر گرفته می‌شود. محاسبه سرعت در این روش با استفاده از فرمول مانینگ (رابطه ۱-۷) انجام می‌گیرد و سپس با ضرب نمودن آن در طول مسیر جریان تجمعی کم عمق، زمان حرکت محاسبه می‌شود.

$$V = \frac{\alpha}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

در این رابطه

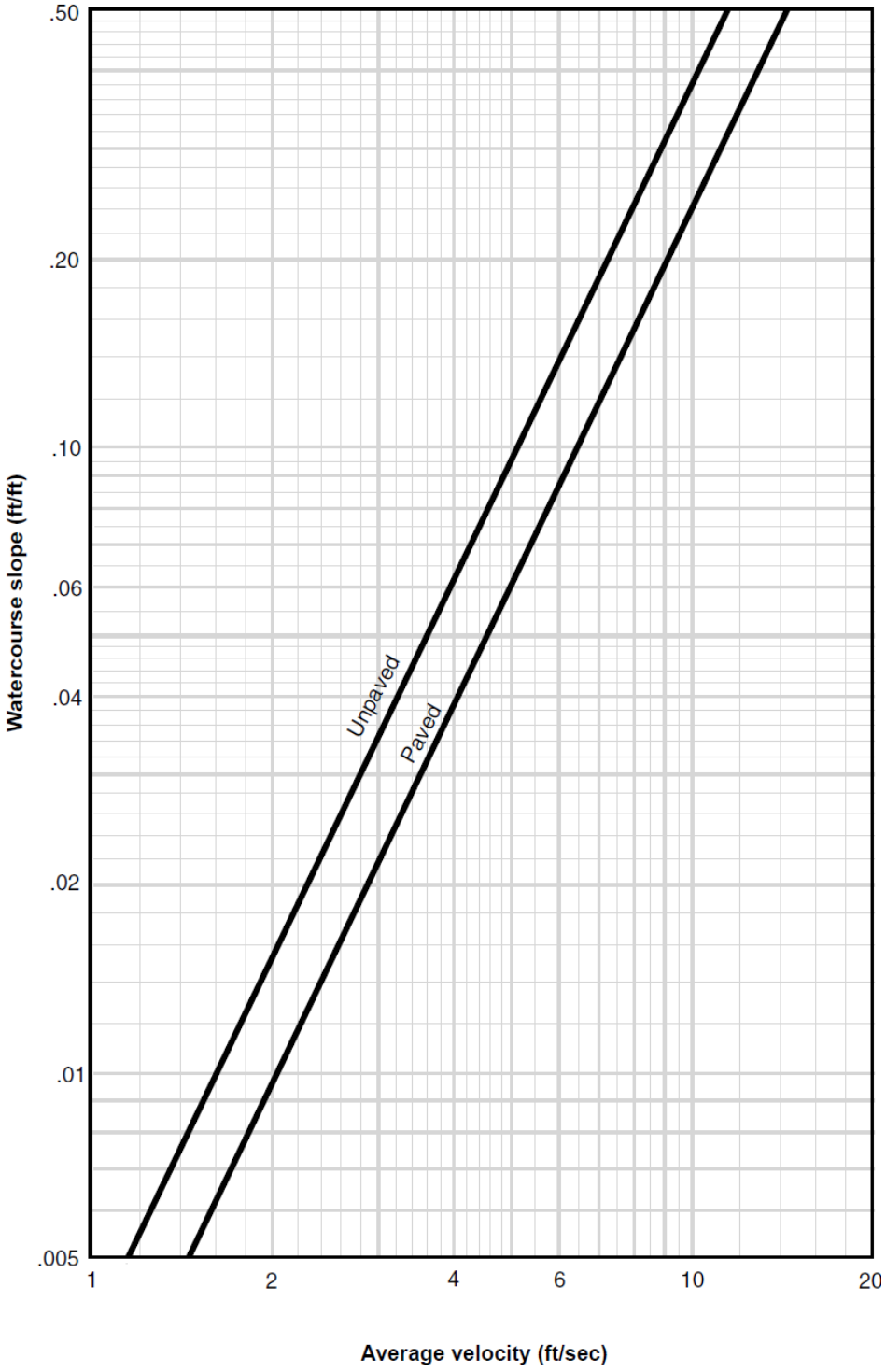
V: س رعت جریان آب در جریان کانال باز بر حسب متر بر ثانیه

n: ضریب مربوط به زبری بستر حوضه (ضریب زبری مانینگ)

R: شعاع هیدرولیکی بر حسب متر

S: شیب بر حسب متر / متر

α: ضریب ثابت که معادل ۱ در سیستم آحاد متریک و ۱,۴۹ در سیستم آحاد انگلیسی



شکل ۱-۴ منحنی تعیین سرعت متوسط در جریان تجمعی کم عمق

Table 4-7: Manning's Roughness Coefficients for Open Channels	
Type of channel	***Manning's n***
A. Natural streams	
1. Minor streams (top width at flood stage < 100 ft)	
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	*0.025-0.033*
b. Same as a, but more stones and weeds	*0.030-0.040*
c. Clean, winding, some pools and shoals	*0.033-0.045*
d. Same as c, but some weeds and stones	*0.035-0.050*
e. Same as d, lower stages, more ineffective	*0.040-0.055*
f. Same as d, more stones	*0.045-0.060*
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	*0.050-0.080*
h. Very weedy, heavy stand of timber and underbrush	*0.075-0.150*
i. Mountain streams with gravel and cobbles, few boulders on bottom	*0.030-0.050*
j. Mountain streams with cobbles and large boulders on bottom	*0.040-0.070*
2. Floodplains	
a. Pasture, no brush, short grass	*0.025-0.035*
b. Pasture, no brush, high grass	*0.030-0.050*
c. Cultivated areas, no crop	*0.020-0.040*
d. Cultivated areas, mature row crops	*0.025-0.045*
e. Cultivated areas, mature field crops	*0.030-0.050*
f. Scattered brush, heavy weeds	*0.035-0.070*
g. Light brush and trees in winter	*0.035-0.060*
h. Light brush and trees in summer	*0.040-0.080*
i. Medium to dense brush in winter	*0.045-0.110*
j. Medium to dense brush in summer	*0.070-0.160*
k. Trees, dense willows summer, straight	*0.110-0.200*
l. Trees, cleared land with tree stumps, no sprouts	*0.030-0.050*
m. Trees, cleared land with tree stumps, with sprouts	*0.050-0.080*
n. Trees, heavy stand of timber, few down trees, flood stage below branches	*0.080-0.120*
o. Trees, heavy stand of timber, few down trees, flood stage reaching branches	*0.100-0.160*
3. Major streams (top width at flood stage > 100 ft)	
a. Regular section with no boulders or brush	*0.025-0.060*
b. Irregular rough section	*0.035-0.100*
B. Excavated or dredged channels	

1. Earth, straight and uniform	
a. Clean, recently completed	*0.016-0.020*
b. Clean, after weathering	*0.018-0.025*
c. Gravel, uniform section, clean	*0.022-0.030*
d. With short grass, few weeds	*0.022-0.033*
2. Earth, winding and sluggish	
a. No vegetation	*0.023-0.030*
b. Grass, some weeds	*0.025-0.033*
c. Deep weeds or aquatic plants in deep channels	*0.030-0.040*
d. Earth bottom and rubble sides	*0.028-0.035*
e. Stony bottom and weedy banks	*0.025-0.040*
f. Cobble bottom and clean sides	*0.030-0.050*
g. Winding, sluggish, stony bottom, weedy banks	*0.025-0.040*
h. Dense weeds as high as flow depth	*0.050-0.120*
3. Dragline-excavated or dredged	
a. No vegetation	*0.025-0.033*
b. Light brush on banks	*0.035-0.060*
4. Rock cuts	
a. Smooth and uniform	*0.025-0.040*
b. Jagged and irregular	*0.035-0.050*
5. Unmaintained channels	
a. Dense weeds, high as flow depth	*0.050-0.120*
b. Clean bottom, brush on sides	*0.040-0.080*
c. Clean bottom, brush on sides, highest stage	*0.045-0.110*
d. Dense brush, high stage	*0.080-0.140*
C. Lined channels	
1. Asphalt	*0.013-0.016*
2. Brick (in cement mortar)	*0.012-0.018*
3. Concrete	
a. Trowel finish	*0.011-0.015*
b. Float finish	*0.013-0.016*
c. Unfinished	*0.014-0.020*
d. Gunite, regular	*0.016-0.023*
e. Gunite, wavy	*0.018-0.025*
4. Riprap (n-value depends on rock size)	*0.020-0.035*
5. Vegetal lining	*0.030-0.500*

Table 4-8: Manning's Coefficients for Streets and Gutters	
Type of gutter or pavement	***Manning's n***
Concrete gutter, troweled finish	*0.012*
Asphalt pavement: smooth texture	*0.013*
Asphalt pavement: rough texture	*0.016*
Concrete gutter with asphalt pavement: smooth texture	*0.013*
Concrete gutter with asphalt pavement: rough texture	*0.015*
Concrete pavement: float finish	*0.014*
Concrete pavement: broom finish	*0.016*
Table 4-8 note: For gutters with small slope or where sediment may accumulate, increase n values by 0.02 (USDOT, FHWA 2001).	

Table 4-9: Manning's Roughness Coefficients for Closed Conduits (ASCE 1982, FHWA 2001)	
Material	***Manning's n***
Asbestos-cement pipe	*0.011-0.015*
Brick	*0.013-0.017*
Cast iron pipe	
Cement-lined & seal coated	*0.011-0.015*
Concrete (monolithic)	
Smooth forms	*0.012-0.014*
Rough forms	*0.015-0.017*
Concrete pipe	*0.011-0.015*
Box (smooth)	*0.012-0.015*
Corrugated-metal pipe -- (2-1/2 in. x 1/2 in. corrugations)	
Plain	*0.022-0.026*
Paved invert	*0.018-0.022*
Spun asphalt lined	*0.011-0.015*
Plastic pipe (smooth)	*0.011-0.015*
Corrugated-metal pipe -- (2-2/3 in. by 1/2 in. annular)	*0.022-0.027*
Corrugated-metal pipe -- (2-2/3 in. by 1/2 in. helical)	*0.011-0.023*
Corrugated-metal pipe -- (6 in. by 1 in. helical)	*0.022-0.025*
Corrugated-metal pipe -- (5 in. by 1 in. helical)	*0.025–0.026*
Corrugated-metal pipe -- (3 in. by 1 in. helical)	*0.027–0.028*
Corrugated-metal pipe -- (6 in. by 2 in. structural plate)	*0.033–0.035*
Corrugated-metal pipe -- (9 in. by 2-1/2 in. structural plate)	*0.033–0.037*
Corrugated polyethylene	*0.010–0.013*
Smooth	*0.009-0.015*

	Corrugated	*0.018–0.025*
Spiral rib metal pipe (smooth)		*0.012-0.013*
Vitrified clay		
	Pipes	*0.011-0.015*
	Liner plates	*0.013-0.017*
Polyvinyl chloride (PVC) (smooth)		*0.009-0.011*
Table 4-9 note: Manning's n for corrugated pipes is a function of the corrugation size, pipe size, and whether the corrugations are annular or helical (see USGS 1993).		