

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین نامه راه های ایران (آرا) آیین نامه هیدرولوژی راه های برون شهری و خطوط ریلی

ضابطه شماره ۲۰-۸۰۰

آخرین ویرایش: ۱۷-۱۱-۱۴۰۳

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

Nezamfanni.ir

۱۴۰۳

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی معاونت فنی، زیربنائی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست. از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir
 - ۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.
 - ۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.
 - ۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۵- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ سازمان برنامه و

بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email: nezamfanni@chmail.ir

web: nezamfanni.ir

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های توسعه‌ای کشور به لحاظ 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 کشور، به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری از طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

در اجرای ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه و آیین‌نامه اجرایی آن با موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، سازمان برنامه و بودجه کشور موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای اجرایی مورد نیاز طرح‌های توسعه‌ای کشور می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌ها، طی سال‌های اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقاتی و توان فنی دستگاه‌های اجرایی ذیربط و تشکلهای خصوصی استفاده شود. آیین‌نامه هیدرولوژی راه‌های برون شهری به منظور تکمیل و یکپارچه سازی ضوابط فنی طرح‌های هدایت و کنترل سیلاب، مشتمل بر ارائه سرفصل‌های مورد نیاز به منظور هماهنگ‌سازی در مطالعات، طراحی و ارائه الزاماتی که می‌تواند کارایی طرح‌ها را افزایش دهد، تهیه و تدوین شده است. با وجود تلاش، دقت و وقت فراوانی که برای تهیه این آیین‌نامه صرف شده است، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام نیست. بنابراین در راستای تکمیل و پر بار شدن این آیین‌نامه، از کاربران محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان ارسال کنند. پیشنهادهای دریافت شده بررسی و در صورت نیاز، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق نشانی Nezamfanni.ir برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهد شد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات، دارای تاریخ جدید و معتبر خواهد بود.

بدین وسیله از تمام اساتید، کارشناسان و دست‌اندرکاران تهیه این آیین‌نامه به خصوص جامعه مهندسان مشاور ایران و شرکت مهندسين مشاور راه‌یاب ملل (مدیریت طرح) تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

حمید امانی همدانی

معاون فنی، زیربنایی و تولیدی

زمستان ۱۴۰۳

تهیه و کنترل «آیین نامه هیدرولوژی راه های برون شهری»

[ضابطه شماره ۲۰-۸۰۰]

مدیر طرح : مهندسین مشاور راه یاب ملل

برهان رستمی مهندس عمران (مدیر طرح)

مظفر بیگلر مهندس عمران

ربابه قدیری مهندس عمران

لقمان رستمی کارشناسی ارشد عمران

تهیه و تنظیم: مهندسین مشاور راه یاب ملل

نام و نام خانوادگی	محل اشتغال	مدرک
مهدی نادری پیکام	مهندسین مشاور راه یاب ملل (مجری پروژه)	کارشناسی ارشد
فرشاد فتحیان	دانشگاه ولی عصر (ع) رفسنجان	دکتری
علیرضا محب زاده فتاحی	شرکت مهندسین مشاور Via International	دکتری

اعضای گروه هدایت و راهبری:

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی و تولیدی، سازمان برنامه و بودجه کشور
طاهر فتح اللهی مرنی	رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی، سازمان برنامه و بودجه کشور
سجاد حیدری حسنکلو	کارشناس امور نظام فنی و اجرایی، سازمان برنامه و بودجه کشور
برهان رستمی	رئیس هیئت مدیره مهندسین مشاور راه یاب ملل
سهیل آل رسول	مدیرعامل شرکت مهندسین مشاور رهاب

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین نامه راه های ایران (آرا)
آیین نامه هیدرولوژی راه های برون شهری و
خطوط ریلی
بخش اول:
مقررات

ضابطه شماره ۲۰-۸۰۰

آخرین ویرایش: ۱۴۰۳-۱۱-۱۷

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

Nezamfanni.ir

۱۴۰۳

۱- مقررات هیدرولوژی راه‌های برون شهری و خطوط ریلی

۱-۱- کلیات

در مطالعات و انجام برآورد ها و محاسبات موارد زیر باید لحاظ گردند:

در برآورد دبی به روش آنالیز فراوانی، توزیع مورد نظر با توجه به آزمون‌های نکوئی برازش انتخاب گردد.

به منظور استفاده از توزیع‌های آماری برای برآورد دبی طرح، حداقل داده‌های مورد نیاز در صورت وجود به شرح زیر

بایستی در طراحی لحاظ گردد (FHWA):

برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال: نیاز به حداقل ۱۰ سال دوره آماری می‌باشد.

برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال: نیاز به حداقل ۱۵ سال دوره آماری می‌باشد.

برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال: نیاز به حداقل ۲۰ سال دوره آماری می‌باشد.

برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال: نیاز به حداقل ۲۵ سال دوره آماری می‌باشد.

دوره بازگشت بیشترین سیل رخ داده در آمار تخمین زده شود.

دوره‌های آمار دریافت شده در صورت وجود بایستی منتهی به سال طراحی یا سال قبل از آن باشد.

بعنوان یک قاعده کلی به منظور تحلیل فراوانی تعداد داده‌ها بایستی از ۱۰ سال کمتر باشد.

اگر تعداد داده‌های یاد شده در اختیار نباشد آنگاه از داده‌های ایستگاه‌های مجاور با توجه به روش‌های گفته شده در

تخمین میزان بارندگی و یا دبی، استفاده شده و به حوضه آبریز مورد بررسی تعمیم داده شود.

در تمام گزارش‌ها داده‌های مورد استفاده و عکس اصل داده‌های دریافت شده در گزارش یا به پیوست آن بایستی ارائه

گردد.

در صورت رخداد خشکسالی در طی سالیان طولانی در دوره طراحی و عدم وقوع بارش قابل توجه در طی آن دوران، آمار

دریافت شده به منظور آنالیز فراوانی بایستی منتهی به آخرین سال قبل از شروع دوره خشکسالی باشد و شامل مقادیر

بارندگی‌های تاریخی در دوران خشکسالی باشد.

به منظور تخمین دبی سیل بایستی روش‌های مطرح شده در بخش تخمین دبی شامل روش‌های بارش رواناب و روش

های تجربی در صورت امکان و فراهم بودن شرایط، استفاده شده و سپس با استفاده از آنالیز و تحلیل فنی و ارائه دلایل

منطقی، دبی طرح انتخاب می‌گردد. در مورد استفاده از روش یادگیری ماشین به بخش معیار های توصیه شده مراجعه گردد.

در صورت وجود رودخانه متقاطع با مسیر حوضه آبریز و آمار دبی ایستگاه های هیدرومتری اطراف پروژه مورد و ارتباط میان پارامتر های حوضه آبریز و دبی سیلاب مورد بررسی قرار گیرند.

علاوه بر دبی انتخاب شده با استفاده از روش های آماری و تجربی، رخدادهای تاریخی ثبت شده در صورت وجود و دسترسی به آن بایستی بعنوان خروجی مطالعات در نظر گرفته شده و در صورتی که این داده تاریخی از دبی یا بارندگی طرح بیشتر بود، در صورت قابل توجه بودن حوضه آبریز یا منطقه ای دارای رودخانه، شبیه سازی هیدرولیکی در مرحله بعدی مطالعات با استفاده از این رخداد انجام پذیرد.

دوره بازگشت طراحی با توجه به روش ها و آنالیزهای اقتصادی مطابق با آنچه در فصل آنالیز ریسک و تعیین دوره بازگشت آورده شده است تعیین گردد. بعد از انجام مراحل گفته شده در این فصل اگر دوره بازگشت بدست آمده با توجه به نوع راه کمتر از مقادیر گفته شده در جدول زیر باشد آنگاه مقادیر ذکر شده در این جدول بعنوان دوره بازگشت طراحی لحاظ می گردد:

جدول ۱- حداقل دوره بازگشت طراحی برای آبروها

ردیف	نوع راه	دوره بازگشت
۱	محلی (روستایی)	۲۵
۲	جمع کننده-توزیع کننده درجه ۲-محلی ویژه	۲۵
۳	جمع کننده-توزیع کننده درجه ۱-شیرانی درجه ۲	۵۰
۴	شیرانی (آزاد راه-درجه ۱)	۱۰۰
۵	خطوط ریلی	۱۰۰

جدول ۲- حداقل دوره بازگشت طراحی برای پل ها

ردیف	نوع راه	دوره بازگشت
۱	محلی (روستایی)	۵۰
۲	جمع کننده-توزیع کننده درجه ۲-محلی ویژه	۵۰
۳	جمع کننده-توزیع کننده درجه ۱-شیرانی درجه ۲	۱۰۰
۴	شیرانی (آزاد راه-درجه ۱)	۲۰۰
۵	خطوط ریلی	۲۰۰

- ✓ در مطالعات پارامتر ریسک محاسبه گردد.
- ✓ به منظور بازسازی داده‌های مفقود شده یا محور مطالعاتی فاقد آمار از روش معکوس فاصله یا تیسن استفاده شود.
- ✓ برای حوضه آبریز هایی که سطح آن ها متأثر از چندین ایستگاه بارندگی می باشد بایستی تمام ایستگاه های بارندگی در برآورد بارندگی طرح با استفاده از روش های آماری (بعنوان نمونه روش تیسن) مورد استفاده قرار گیرد.
- ✓ به منظور برآورد زمان تمرکز و یا زمان تاخیر برای حوضه‌های آبریز متوسط و بزرگ از روش SCS استفاده شود. طراح می تواند در صورت ارائه دلایل منطقی از روش های دیگر هم استفاده نماید.
- ✓ در صورتی که ارتفاع ایستگاه بارندگی مورد استفاده (A) با ارتفاع متوسط منطقه مطالعاتی اختلاف قابل توجهی داشته باشد و یا فاصله محل مورد بررسی با ایستگاه مد نظر (A) بیشتر از فاصله ایستگاه بارندگی مورد استفاده (A) از نزدیکترین ایستگاه (B) نسبت به محل ایستگاه باران سنجی A باشد بایستی در صورت وجود ایستگاه‌های بارندگی
- ✓ دیگر در اطراف محدوده تحت مطالعه ، آمار این ایستگاه‌ها نیز دریافت شده و با استفاده از روش‌های آماری و هیدرولوژی (مانند روش فاصله معکوس) بارندگی طرح برآورد گردد.
- ✓ در روش SCS از حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته و توزیع بارش ۲۴ ساعته استفاده شود و سایر توزیع های بارش برای محاسبات سیلاب مورد قبول نمی باشد (FHWA).
- ✓ در صورت استفاده از الگوهای بارش SCS، الگوی ۱ یا type ۱A در قسمت شمالی و شمالی غربی کشور مورد استفاده قرار گیرد مگر آنکه طراح دلیل موجهی برای استفاده از سایر تیپ های بارش یا توزیعی دیگر داشته باشد.
- ✓ روش منطقی تنها برای حوضه‌های آبریز با مساحت حداکثر ۱/۳ کیلومتر مربع به کار گرفته شود.
- ✓ به منظور برآورد ضریب C در روش منطقی و CN در روش شماره منحنی، تنها از جداول ارائه شده در این دستورالعمل استفاده شده و سایر منابع فاقد اعتبار می باشد.
- ✓ خروجی مطالعات هیدرولوژی بایستی شامل دبی ماکزیمم و هیدروگراف سیل باشد.
- ✓ مقدار حداکثر سیل محتمل در گزارش‌ها ارائه شده و برابر با سیل با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال لحاظ گردد.

۱-۲- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد مطالعات هیدرولوژی محدود به راه های برون و درون شهری می باشد که طی فرآیندهای مشخصی از مرحله از مطالعات توجیه اولیه و نهایی شروع شده و امکان سنجی اقتصادی و فنی پروژه را مورد بررسی قرار می دهد. خروجی این مطالعات بعنوان ورودی در مطالعات هیدرولیکی استفاده خواهد شد. از جمله مباحث کلیدی در این بحث استفاده از روش های مختلف به منظور برآورد دبی سیلاب می باشد. برآورد دوره بازگشت طراحی و همچنین دبی یا بارندگی طرح هدف اصلی این نشریه می باشد.

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین نامه راه های ایران (آرا)
آیین نامه هیدرولوژی راه های برون شهری و
خطوط ریلی
بخش دوم:
ضوابط و معیارهای فنی
ضابطه شماره ۲۰-۸۰۰

آخرین ویرایش: ۱۴۰۳-۱۱-۱۷

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

Nezamfanni.ir

۱۴۰۳

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۱- فصل اول: کلیات	۳
۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- سابقه وزارت راه و شهرسازی	۴
۱-۳-۱- سابقه دستورالعمل	۴
۱-۳-۱-۱- وزارت راه و شهر سازی	۴
۱-۳-۱-۲- سازمان برنامه و بودجه کشور (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، وزارت برنامه و بودجه)	۵
۱-۴-۱- هدف از تدوین ضوابط و معیارهای طراحی سازه های کنترل سیلاب راه و راه آهن	۵
۱-۵-۱- کاربرد دستورالعمل	۶
۱-۶-۱- معیارهای توصیه شده	۷
۱-۷-۱- سایر معیارها	۷
۲- فصل دوم: علائم و اختصارها	۱۱
۲-۱- علائم و اختصارها	۱۱
۳- فصل سوم: حوضه آبریز	۱۷
۳-۱- مقدمه	۱۷
۳-۲- سطح حوضه آبریز	۱۸
۳-۳- شیب حوضه آبریز	۱۹
۳-۴- شیب آبراهه اصلی	۲۴
۳-۵- زمان تمرکز	۲۴

۴- فصل چهارم: آزمون های آماری ۳۷

۴-۱- آزمون تصادفی و همگنی ۳۷

۴-۱-۱- روش نموداری ۳۷

۴-۱-۲- روش غیر نموداری ۳۸

۴-۱-۳- آزمون والد ۴۱

۴-۲- سایر پارامترها و آزمون های آماری ۴۱

۴-۲-۱- آزمون داده های پرت ۴۲

۴-۲-۲- عدم قطعیت ۴۵

۴-۲-۳- ریسک ۴۸

۴-۳- روند ۴۹

۴-۳-۱- Mann-Kendal (MK) ۴۹

۴-۳-۲- آزمون نقاط عطف ۵۰

۴-۴- آزمون های نکوئی برازش ۵۱

۴-۴-۱- کاسکوئر ۵۱

۴-۴-۲- آزمون کلوموگراف اسمیرنوف ۵۳

۵- فصل پنجم: بازسازی داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی ۵۷

۵-۱- مقدمه ۵۷

۵-۲- روش میانگین گیری ساده ۵۷

۵-۳- روش نسبت نرمال ۵۷

۵-۴- روش نرمال تصحیح شده ۵۸

۵-۵- روش معکوس فاصله ۵۹

۵۹	۵-۶- روش وزنی ضریب همبستگی.....
۵۹	۵-۷- روش نسبت بارندگی - سطح.....
۶۳	۶- فصل ششم: برآورد شدت بارندگی و اثرات تغییر اقلیم.....
۸۱	۷- فصل هفتم: برآورد دبی و بارندگی طرح.....
۸۱	۷-۱- مقدمه.....
۸۱	۷-۲- تحلیل فراوانی.....
۸۲	۷-۲-۱- توزیع نرمال.....
۸۶	۷-۲-۲- توزیع لوگ نرمال.....
۸۹	۷-۲-۳- توزیع مقادیر حدی گامبل.....
۹۱	۷-۲-۴- توزیع پیرسون تیپ ۳.....
۹۲	۷-۲-۵- توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳.....
۹۸	۷-۳- رگرسیون منطقه ای.....
۱۰۰	۷-۴- معادلات تجربی.....
۱۰۲	۷-۵- مدل های بارش-رواناب برای برآورد دبی سیلاب.....
۱۰۲	۷-۵-۱- روش منطقی.....
۱۰۹	۷-۵-۲- روش SCS.....
۱۱۶	۷-۵-۳- سایپرس-کریک.....
۱۱۷	۷-۵-۴- روش کوک.....
۱۲۱	۷-۵-۵- مک-مٹ.....
۱۲۲	۷-۶- روش CN اصلاح شده (رویکرد اول).....
۱۲۲	۷-۷- روش CN اصلاح شده (رویکرد دوم).....

۸- فصل هشتم: هایتوگراف بارش ۱۲۵

۸-۱- مقدمه ۱۲۵

۸-۲- الگوی بارش SCS ۱۲۵

۸-۳- رگبار طراحی با استفاده از روش هایتوگراف مثلثی ۱۴۱

۹- فصل نهم: هیدروگراف ۱۴۷

۹-۱- مقدمه ۱۴۷

۹-۲- فاکتور های تاثیر گذار بر هیدروگراف سیل ۱۴۷

۹-۲-۱- شکل حوضه آبریز ۱۴۷

۹-۲-۲- اندازه حوضه آبریز ۱۴۸

۹-۲-۳- شیب ۱۴۸

۹-۲-۴- چگالی حوضه آبریز ۱۴۹

۹-۲-۵- فاکتور های اقلیمی ۱۴۹

۹-۳- ویژگی های هیدروگراف ۱۴۹

۹-۳-۱- بازوی بالا رونده ۱۴۹

۹-۳-۲- تاج (پیک) (Peak) ۱۵۰

۹-۳-۳- بازوی پایین رونده ۱۵۰

۹-۴- روش های جداسازی دبی پایه ۱۵۱

۹-۵- هیدروگراف واحد ۱۵۲

۹-۵-۱- تلفات ۱۵۳

۹-۵-۲- استخراج هیدروگراف واحد ۱۵۴

۱۰- فصل دهم: هیدروگراف واحد مصنوعی ۱۶۹

۱۰-۱-۱- مقدمه.....	۱۶۹
۱۰-۲- روش شنایدر.....	۱۶۹
۱۰-۳- هیدروگراف واحد مصنوعی SCS.....	۱۷۱
۱۰-۳-۱- هیدروگراف واحد مثلثی.....	۱۷۴
۱۱- فصل یازدهم: روند یابی سیل.....	۱۷۷
۱۱-۱- مقدمه.....	۱۷۷
۱۱-۲- روندیابی کانال.....	۱۷۷
۱۱-۲-۱- روش ماسکینگهام.....	۱۷۸
۱۱-۲-۲- روش ماسکینگهام کانج (Muskingam- Cunge).....	۱۸۴
۱۱-۳- روند یابی مخزن.....	۱۸۵
۱۲- فصل دوازدهم: آنالیز ریسک و تعیین دوره بازگشت.....	۱۹۱
۱۲-۱- مبانی و روش آنالیز.....	۱۹۱
۱۳- فصل سیزدهم: استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین.....	۱۹۹
۱۳-۱- مبانی و الگوریتم های مورد استفاده در یادگیری ماشین.....	۱۹۹
۱۴- فصل چهاردهم: نرم افزار های مورد استفاده در مباحث هیدرولوژی.....	۲۳۵
۱۴-۱- مقدمه.....	۲۳۵
۱۴-۲- نرم افزار Aquaveo WMS.....	۲۳۵
۱۴-۳- Global Mapper.....	۲۳۶
۱۴-۴- نرم افزار ARC GIS.....	۲۳۶
۱۴-۵- نرم افزار HEC-HMS.....	۲۳۷

۲۳۷Hyfran Plus -۶-۱۴

۲۴۱ فصل پانزدهم: دریافت آمار و اطلاعات

۲۴۸ فهرست واژگان

۲۶۱ مراجع

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱-نمایش حوضه آبریز و برخی از پارامترهای آن	۱۷
شکل ۳-۲-نمایش درجه بندی شبکه آبراهه حوضه‌های آبریز	۱۸
شکل ۳-۳-نمایش شمای کلی روش خطوط متقاطع	۲۲
شکل ۳-۴-نمایش شمای کلی روش همسایگی	۲۳
شکل ۳-۵-نمایش پارامترهای روش SCS velocity	۲۹
شکل ۳-۶-نمایش حوضه آبریز پل دختر منتهی به رودخانه کشکان و موقعیت آن در نقشه ایران	۳۱
شکل ۷-۱-توزیع نرمال	۸۲
شکل ۷-۲- معادله بدست آمده رگرسیون خطی برای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	۹۹
شکل ۷-۳- معادله بدست آمده رگرسیون غیر خطی (توانی) برای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	۱۰۰
شکل ۷-۴- نمودار برآورد شدت جریان حداکثر با دوره بازگشت ۵۰ سال (Q_{50}) به کمک مساحت حوضه آبریز (ایکری) و ضریب کوک (W)	۱۱۹
شکل ۷-۵- نمودار برآورد سیلاب ۵۰ ساله (Q_{50}) به کمک مساحت حوضه (هکتار) و ضریب کوک (W)	۱۲۰
شکل ۸-۱-هایتوگراف Type I (SCS)	۱۳۳
شکل ۸-۲-هایتوگراف Type Ia (SCS)	۱۳۳
شکل ۸-۳-هایتوگراف Type II (SCS)	۱۳۴
شکل ۸-۴-هایتوگراف Type III (SCS)	۱۳۵
شکل ۸-۵- هیدروگراف Type II (SCS) برای بارش ۱۲ ساعته	۱۳۹
شکل ۸-۶- هیدروگراف Type II (SCS) برای بارش ۶ ساعته	۱۴۱
شکل ۸-۷- هایتوگراف مثلثی	۱۴۲
شکل ۸-۸-هایتوگراف مثلثی نرمالیزه شده	۱۴۲
شکل ۹-۱- هیدروگراف برای انواع مختلفی از شکل حوضه	۱۴۸
شکل ۹-۲- نمایش قسمت های مختلف یک هیدروگراف	۱۵۰

- شکل ۹-۳- روش های جداسازی دبی پایه ۱۵۱
- شکل ۹-۴- نمایش تلفات بارش (قسمت هاشور خورده) ۱۵۴
- شکل ۹-۵- هیدروگراف رواناب یک ساعته ۱۵۵
- شکل ۹-۶- هیدروگراف رواناب یک ساعته با شدت دو برابر ۱۵۵
- شکل ۹-۷- هیدروگراف رواناب یک ساعته برای رگبار پی در پی ۱۵۶
- شکل ۹-۸- هیدروگراف های واحد مشاهداتی، وایت اوک بایو ۱۶۴
- شکل ۱۰-۱- نمودار هیدروگراف واحد SCS ۱۷۳
- شکل ۱۰-۲- نمایش شماتیک هیدروگراف واحد مثلثی ۱۷۴
- شکل ۱۱-۱- نمایش شماتیک روندیابی سیل ۱۷۸
- شکل ۱۱-۲- روش بدست آوردن ضریب K ۱۸۰
- شکل ۱۱-۳- نمایش پلان رودخانه مطرح شده در مثال ۱۸۱
- شکل ۱۱-۴- هیدروگراف سیل ورودی مثال مطرح شده ۱۸۱
- شکل ۱۱-۵- رسم مقادیر بدست آمده $2S\Delta t + O$ در مقابل O ۱۸۵
- شکل ۱۳-۱- نمونه ای از scatterplot رسم شده در python ۲۰۲
- شکل ۱۳-۲- نمونه ای از boxplot رسم شده در python ۲۰۲
- شکل ۱۳-۳- نمونه ای از countplot رسم شده در python ۲۰۳
- شکل ۱۳-۴- نمونه ای از histplot رسم شده در python ۲۰۳
- شکل ۱۳-۵- نمونه ای از pairplot رسم شده در python ۲۰۴
- شکل ۱۳-۶- نمونه ای از heatmap رسم شده در python برای پایش کرلشن بین متغیر ها ۲۰۴
- شکل ۱۳-۷- نمایش شماتیک الگوریتم درخت تصمیم ۲۰۹
- شکل ۱۳-۸- نمایش شماتیک الگوریتم جنگل تصادفی ۲۱۳
- شکل ۱۳-۹- نمایش شماتیک الگوریتم ماشین بردار پشتیبان ۲۱۴
- شکل ۱۳-۱۰- نمایش شماتیک الگوریتم تک لایه شبکه عصبی ۲۱۴
- شکل ۱۳-۱۱- نمایش شماتیک الگوریتم چند لایه شبکه عصبی ۲۱۵
- شکل ۱۳-۱۲- موقعیت محدوده مطالعاتی بر روی نقشه ایران (دایره زرد رنگ) ۲۲۳

شکل ۱۳-۱۳- نمایش حوضه های آبریز حوضه های رودخانه ای (۹B و ۴B) بر روی مدل رقومی منطقه مطالعاتی و مسیر طراحی (خط مارپیچ قرمز)	۲۲۴
شکل ۱۳-۱۴- ارتباط میان پارامتر ها مختلف دخیل در تولید رواناب و سیل	۲۲۹
شکل ۱۳-۱۵- نتیجه حاصل از اجرای الگوریتم شبکه های عصبی	۲۳۰
شکل ۱۳-۱۶- نمایش حوضه آبریز های محدوده مطالعاتی	۲۳۱
شکل ۱۳-۱- نمونه ای از scatterplot رسم شده در python	۲۰۲
شکل ۱۳-۲- نمونه ای از boxplot رسم شده در python	۲۰۲
شکل ۱۳-۳- نمونه ای از countplot رسم شده در python	۲۰۳
شکل ۱۳-۴- نمونه ای از histplot رسم شده در python	۲۰۳
شکل ۱۳-۵- نمونه ای از pairplot رسم شده در python	۲۰۴
شکل ۱۳-۶- نمونه ای از heatmap رسم شده در python برای پایش کرلیشن بین متغیر ها	۲۰۴
شکل ۱۳-۷- نمایش شماتیک الگوریتم درخت تصمیم	۲۰۹
شکل ۱۳-۸- نمایش شماتیک الگوریتم جنگل تصادفی	۲۱۳
شکل ۱۳-۹- نمایش شماتیک الگوریتم ماشین بردار پشتیبان	۲۱۴
شکل ۱۳-۱۰- نمایش شماتیک الگوریتم تک لایه شبکه عصبی	۲۱۴
شکل ۱۳-۱۱- نمایش شماتیک الگوریتم چند لایه شبکه عصبی	۲۱۵
شکل ۱۳-۱۲- موقعیت محدوده مطالعاتی بر روی نقشه ایران (دایره زرد رنگ)	۲۲۳
شکل ۱۳-۱۳- نمایش حوضه های آبریز حوضه های رودخانه ای (۹B و ۴B) بر روی مدل رقومی منطقه مطالعاتی و مسیر طراحی (خط مارپیچ قرمز)	۲۲۴
شکل ۱۳-۱۴- ارتباط میان پارامتر ها مختلف دخیل در تولید رواناب و سیل	۲۲۹
شکل ۱۳-۱۵- نتیجه حاصل از اجرای الگوریتم شبکه های عصبی	۲۳۰
شکل ۱۳-۱۶- نمایش حوضه آبریز های محدوده مطالعاتی	۲۳۱

فهرست جداول

عنوان

صفحه

جدول ۲ - ۱- تعاریف و اختصارها.....	۱۱
جدول ۳ - ۱- تقسیم بندی حوضه ای آبریز براساس مساحت.....	۱۸
جدول ۳ - ۲-مقادیر ضریب زبری مانینگ برای استفاده در (رابطه ۳ - ۲۳).....	۲۹
جدول ۳ - ۳ -محاسبه زمان تمرکز و دبی حوضه آبریز برای سیل ۸۶.....	۳۱
جدول ۳ - ۴-محاسبه زمان تمرکز و دبی حوضه آبریز برای سیل ۹۸.....	۳۲
جدول ۴ - ۱-جدول ران تست.....	۳۹
جدول ۴ - ۲-مقادیر ضریب KN	۴۲
جدول ۴ - ۳-مقادیر بحرانی دیکسون (برای آزمون مقادیر پرت).....	۴۵
جدول ۴ - ۴- تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری و دوره بازگشت طراحی (۱۰ سال آمار).....	۴۶
جدول ۴ - ۵- تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری و دوره بازگشت طراحی (۲۵ سال آمار).....	۴۶
جدول ۴ - ۶- تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری و دوره بازگشت طراحی (۵۰ سال آمار).....	۴۷
جدول ۴ - ۷ - تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری و دوره بازگشت طراحی (۱۰۰ سال آمار).....	۴۸
جدول ۴ - ۸-مقادیر جدول χ^2	۵۲
جدول ۴ - ۹-مقادیر D بحرانی روش کلموگراف اسمیرنوف.....	۵۴
جدول ۶ - ۱-ضرایب a,b,c به منظور برآورد شدت بارندگی.....	۶۳
جدول ۷ - ۱-احتمال تجمعی توزیع رمال.....	۸۳
جدول ۷ - ۲-مقادیر دبی ثبت شده رودخانه Near Delphi.....	۸۴
جدول ۷ - ۳- مقادیر ضریب K	۸۷

جدول ۷-۴-مقادیر K برای توزیع گامبل.....	۹۰
جدول ۷-۵- ضرایب K برای توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳.....	۹۲
جدول ۷-۶- مقادیر دبی ثبت شده رودخانه Wabash.....	۹۵
جدول ۷-۷- پارمتر های محاسبه شده لوگ پیرسون تیپ ۳.....	۹۷
جدول ۷-۸- مشخصات و دبی حوضه آبریز.....	۹۹
جدول ۷-۹-مقادیر ضریب C برای استفاده در روش رشنال.....	۱۰۴
جدول ۷-۱۰-مشخصات گروه های خاکی از نظر ایجاد رواناب و نفوذپذیری.....	۱۰۵
جدول ۷-۱۱-مقادیر ضریب C برای استفاده در روش رشنال.....	۱۰۷
جدول ۷-۱۲- مقادیر ضریب C برای مناطق ساخته شده.....	۱۰۷
جدول ۷-۱۳- مقادیر ضریب C برای مناطق ساخته نشده.....	۱۰۸
جدول ۷-۱۴-مقادیر ضریب C.....	۱۰۹
جدول ۷-۱۵- مشخصات گروه های خاکی از نظر ایجاد رواناب و نفوذپذیری.....	۱۱۱
جدول ۷-۱۶- مقادیر CN برای پوشش های مختلف حوضه با توجه به نفوذپذیری خاک.....	۱۱۱
جدول ۷-۱۷- مقادیر ضریب CN برای کاربری های شهری.....	۱۱۲
جدول ۷-۱۸-مقادیر ضریب CN برای کاربری های کشاورزی.....	۱۱۳
جدول ۷-۱۹-مقادیر شماره منحنی برای سایر مناطق کشاورزی.....	۱۱۴
جدول ۷-۲۰-مقادیر شماره منحنی برای مناطق خشک و نیمه خشک.....	۱۱۴
جدول ۷-۲۱- عوامل موثر در ضریب جریان روش کوک.....	۱۱۸
جدول ۷-۲۲-نسبت دبی جریان اوج ده ساله (Q_{10}) و بیست و پنج ساله (Q_{25}) به پنجاه ساله (Q_{50}) در روش کوک.....	۱۲۰
جدول ۷-۲۳- حدود تغییرات جریان (C) روش مک-مٹ.....	۱۲۲
جدول ۸-۱-توزیع بارش ۲۴ ساعته SCS.....	۱۲۶
جدول ۸-۲-توزیع بارش ۱۲ ساعته SCS.....	۱۳۵
جدول ۸-۳-توزیع بارش ۶ ساعته SCS.....	۱۳۹
جدول ۹-۱-مشخصات بارندگی (مثال).....	۱۵۳
جدول ۹-۲-محاسبات رواناب مستقیم و هیدروگراف واحد.....	۱۵۷

جدول ۹-۳- محاسبات هیدروگراف واحد.....	۱۵۸
جدول ۹-۴- مراحل تشکیل هیدروگراف واحد کوتاه مدت از یک هیدروگراف واحد بلند مدت (سه ساعته از ۴ ساعته).....	۱۶۰
جدول ۹-۵- محاسبات هیدروگراف واحد حوضه آبخیز وایت اوک بایو بر اساس هیدروگراف‌های واحد حاصل از پنج رگبار ۱۶۲	
جدول ۱۰-۱- نسبت های هیدروگراف واحد SCS.....	۱۷۱
جدول ۱۱-۱- مقادیر هیدروگراف ورودی و خروجی برای وضعیت موجود.....	۱۸۲
جدول ۱۱-۲- مقادیر هیدروگراف ورودی و خروجی برای وضعیت بهینه شده.....	۱۸۳
جدول ۱۱-۳- مقادیر هیدروگراف سیل طراحی مثال روندیابی مخزن.....	۱۸۶
جدول ۱۱-۴- ارتباط میان تراز سطح آب و دبی در مثال روندیابی مخزن.....	۱۸۷
جدول ۱۱-۵- رابطه میان عمق - ذخیره در مثال روندیابی مخزن.....	۱۸۷
جدول ۱۲-۱- مقادیر دبی در مقابل دوره بازگشت.....	۱۹۲
جدول ۱۲-۲- هزینه های ناشی از اختلال در ترافیک و برگشت آب و خسارت به خاکریز ها.....	۱۹۲
جدول ۱۲-۳- برآورد هزینه های اولیه، ثابت و متغیر برای هر کالورت با قطرهای مختلف.....	۱۹۲
جدول ۱۲-۴- برآورد هزینه های سالیانه کالورت ۴۸ اینچ.....	۱۹۳
جدول ۱۲-۵- برآورد هزینه های سالیانه برای کالورت با اندازه های مختلف.....	۱۹۳
جدول ۱۲-۶- برآورد هزینه های سالیانه برای کالورت با اندازه های مختلف با فرض تخریب سازه در صورت رخداد سیل.....	۱۹۴
جدول ۱۲-۷- برآورد خسارت قبل از توسعه بدون ایجاد سازه های کنترل و هدایت سیل.....	۱۹۴
جدول ۱۳-۱- داده های مربوط به شرایط آب و هوایی برای برگزاری یا عدم برگزاری یک بازی تنیس.....	۲۱۰
جدول ۱۳-۲- داده های مربوط به مثال *.....	۲۱۱
جدول ۱۳-۳- مشخصات حوضه آبریز و برآورد دبی با دوره بازگشت های ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال.....	۲۲۴
جدول ۱۳-۴- مشخصات ایستگاه های هیدرومتری استان لرستان.....	۲۲۵
جدول ۱۳-۵- مشخصات حوضه آبریز ایستگاه های هیدرومتری اطراف محل پروژه.....	۲۲۶
جدول ۱۳-۶- نتایج حاصل از آنالیز فراوانی ایستگاه هیدرومتری اطراف محل پروژه در استان لرستان.....	۲۲۷
جدول ۱۳-۷- دبی برآورد شده توسط الگوریتم شبکه عصبی یادگیری ماشین.....	۲۳۱

فصل اول

کلیات

۱- فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه

نشریه ۴۱۵ تحت عنوان "آیین نامه طرح هندسی راه‌های ایران" به عنوان یکی از دستورالعمل‌های بسیار مهم سازمان برنامه و بودجه بوده و بعنوان اصلی‌ترین مرجع طراحی راه در کشور، قدمتی طولانی داشته است. در ابتدا مهندسان خارجی بر اساس ضوابط کشور خودشان برای راه‌های ایران طراحی راه می‌نمودند و لذا دستورالعمل مدونی در خصوص طراحی مسیر و همچنین مباحث هیدرولوژی و طراحی هیدرولیک وجود نداشت و هر شرکت بر اساس آن که چه ملیتی داشته است ضوابط و حتی واژگان خود را استفاده می‌نمود. پیشتر ابلاغیه‌های فنی ۱۶ گانه سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۳۸ وزارت برنامه و بودجه سابق برای طرح راه در کنار دستورالعمل‌های خارجی مورد استفاده قرار می‌گرفت. تا اینکه در سال ۱۳۵۲ به دلیل رشد سریع بودجه‌های عمرانی و عدم وجود مشخصات و معیارهای مختلف در زمینه طراحی مسیر و راهداری، "وزارت راه" وقت تصمیم به انجام این مهم با استفاده از خدمات هیات فنی موسسه فرانسوی BCEOM گرفت و این موسسه با تحقیقاتی ۲ ساله (۱۳۵۴ الی ۱۳۵۶) مجموعه‌هایی ارزشمند تحت عناوین گزارش موقت "دستورالعمل معیارهای طرح هندسی آزادراه‌ها" و "دستورالعمل معیارهای طرح هندسی راه‌های اصلی و فرعی" را در سال ۱۳۵۷ ارائه نمود. اما همین مجموعه‌ها در سال‌های پس از انقلاب، تحت عنوان "رهنمودهای فنی درباره اصول طرح هندسی راه‌های اصلی و فرعی" ارائه شدند که مهندسان خبره ایرانی، آن را به فارسی برگرداندند و در نهایت چاپ اول آن در سال ۱۳۷۰ انجام شد. در نهایت، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی "وزارت برنامه بودجه" وقت نیز اقدام به ارائه دستورالعمل‌هایی همچون نشریه ۸۵ (معیارهای طرح هندسی راه‌های اصلی و فرعی)، نشریه ۸۶ (معیارهای طرح هندسی راه‌های روستایی)، نشریه ۸۷ (معیارهای طرح هندسی تقاطع‌ها)، نشریه ۸۸ (چکیده‌ای از معیارهای طرح هندسی راه‌ها و تقاطع‌ها) به اتفاق مهندسان خبره و اساتید باتجربه‌ای همچون دکتر امیرمحمد طباطبایی نمود که تقریباً اولین گام اساسی در این زمینه محسوب می‌شد و پایه همه آنها از استاندارد قدرتمند آشتو اقتباس و اخذ شده بود. این نشریه برای راه‌های برون‌شهری استخراج گردید. با تغییرات شگرف مرجع آشتو در سالیان اخیر، تغییرات آن امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا این مهم در بازنگری نشریه ۴۱۵ و تحت عنوان "دستورالعمل ضوابط طرح هندسی راه‌های ایران" مورد توجه اصلی قرار گرفته است. از آنجائی که در طراحی سیستم راه پارامترهای زیادی دخالت دارند، همه این پارامترها با محوریت طراحی هندسی تغییر نموده و یک سیستم را جهت

خدمت رسانی به ترافیک ایجاد می نمایند. از طرف دیگر وظیفه خدمت رسانی هندسه مسیر به ترافیک باید با تامین ایمنی کاربران به عنوان شرط اساسی انجام گیرد. لذا ارائه ضوابط طرح هندسی راه از اهمیت بالایی برخوردار است. در این ضوابط سعی شده به روز رسانی بر اساس آخرین استانداردهای دنیا جهت یکسان سازی طرح های کشور ارائه گردد.

۱-۲- سابقه وزارت راه و شهرسازی

سابقه وزارت راه و شهرسازی کنونی به عنوان متولی ساخت و نگهداری سیستم های حمل و نقل کشور به شرح زیر است:

✓ سال ۱۲۹۸ "وزارت فوائد عامه" تاسیس شد. بعدها نام "وزارت فلاح و تجارت و فوائد عامه" را از آن خود کرد که امور راهسازی در آن انجام می گرفت.

✓ از سال ۱۳۰۱ اداره های به نام "اداره کل طرق و شوارع" در وزارت فلاح و تجارت و فوائد عامه جهت ساختمان راه ها، نگهداری و بهره برداری تشکیل گردید که کشور را به چند ناحیه دسته بندی می نمود.

✓ در سال ۱۳۰۸ "اداره کل طرق و شوارع" به جهت توسعه راهسازی در کشور به "وزارت طرق و شوارع" تبدیل شد.

✓ در سال ۱۳۱۵ "وزارت طرق و شوارع" با تصویب شورای ملی به "وزارت راه" تغییر نام یافت.

✓ در سال ۱۳۵۳ در راستای اعمال سیاست جامع و هماهنگ برای ترابری کشور و توسعه و تجهیز، گسترش، نگهداری و ایجاد تأسیسات زیربنایی نام آن به "وزارت راه و ترابری" تغییر یافت.

✓ در نهایت در سال ۱۳۹۰ در راستای کوچک سازی دولت و ادغام چندین وزارتخانه، وزارت راه و ترابری و وزارت مسکن و شهرسازی ادغام و "وزارت راه و شهرسازی" ایجاد شد.

۱-۳- سابقه دستورالعمل

سابقه تهیه و ابلاغ دستورالعمل ها و معیارهای طرح هندسی براساس نهاد مسئول به شرح زیر می باشد:

۱-۳-۱- وزارت راه و شهر سازی

ابلاغیه فنی شماره ۸ - سال ۱۳۳۶

دستورالعمل های فنی طرح هندسی راه، آزاد راه و تونل، موسسه ب. ث. ا. ام - سال ۱۳۵۸

۱-۳-۲- سازمان برنامه و بودجه کشور (سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، وزارت برنامه و بودجه)

نشریه شماره ۸۶ - معیارهای طرح راه روستایی هندسی - سال ۱۳۶۴؛

چکیده‌ای از معیارهای طرح هندسی راه‌ها و تقاطع‌ها - نشریه شماره ۸۸ - سال ۱۳۶۴

معیارهای طرح هندسی تقاطع‌ها - نشریه شماره ۸۷ - سال ۱۳۶۷

آیین‌نامه طرح هندسی راه - نشریه ۱۶۱ - سال ۱۳۷۵

آیین‌نامه طرح هندسی راه روستایی - نشریه ۱۹۶ - سال ۱۳۸۷

آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران - نشریه ۴۱۵ - سال ۱۳۷۸

۱-۴- هدف از تدوین ضوابط و معیارهای طراحی سازه‌های کنترل سیلاب راه و راه آهن

در سال‌های گذشته در بخش‌های مختلف طراحی سازه‌های آبی و هیدرولیکی، بالاخص در قسمت هیدرولوژی پراکندگی مطالب و تعدد روش‌های مختلف در برآورد پارامترها، سردرگمی در مطالعات و طراحی‌ها را موجب شده است. از طرف دیگر در برخی از بخش‌ها مانند انتخاب دوره بازگشت با اعداد ثابتی مواجه می‌شویم که به نظر معیار انتخاب مقادیر این پارامتر و وابستگی آن‌ها به نوع راه، بدون در نظر گرفتن پارامترهای دیگر چندان صحیح به نظر نمی‌رسد و شاهد بر این مدعا خسارات جانی و مالی به بخش‌هایی از کشور است که صرفاً به دلیل فرعی بودن یا درجه دوم بودن سایت محل احداث، دوره بازگشت بسیار پایین در نظر گرفته شده است و همین امر باعث تخریب‌راه‌ها و تلفات جانی شده است و همچنین برای برخی از پروژه‌ها دوره بازگشت‌های بالایی لحاظ شده است که در صورت سرریز آب از رودخانه یا هر سازه هیدرولیکی دیگر خسارت مالی ناچیزی به پروژه وارد شده، این در حالی است که هزینه‌های وارد به پروژه به دلیل افزایش دوره بازگشت قابل توجه بوده و حتی در مواقعی به دلیل هزینه‌های سرسام آور برای مدتی عملیات اجرایی متوقف شده است. یا در بخش انتخاب روش مناسب برای برآورد دبی سیلاب همچنان بحث‌های زیادی در انتخاب ضریب رواناب و یا شماره منحنی وجود دارد. در سیل‌های بوقوع پیوسته مشاهده شده است که مقادیر تخمینی سیلاب در بسیاری از مواقع اختلاف چشمگیری با مقادیر محاسباتی دارد. لذا نیاز به تجدید نظر و بازنگری در نشریه‌های موجود احساس می‌شود. برای این منظور موضوعاتی که در بحث طراحی هیدرولوژیکی موثر می‌باشد در این نشریه مورد بررسی قرار گرفته شده است. همچنین در مورد

قسمت‌هایی که در بین طراحان برای انتخاب روش اختلاف نظر وجود دارد راه کارهایی ارائه شده است. از خوانندگان خواهشمند است با توجه به تجربیات خود در زمینه طراحی در تکمیل این نشریه نظرات خود را در جهت بهبود هر چه بهتر و عدم تفسیرپذیری کمتر موضوعات ارائه نمایند. پروژه‌های راه‌سازی به منظور ایجاد شرایط ایمن و راحت برای استفاده کنندگان از راه‌های کشور انجام می‌شود، به نحوی که در آن، نیازهای اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی به شرح زیر به طور کامل رعایت شده باشد.

الف- حصول نیازها و هدف‌های استفاده کنندگان برای عبور ایمن از مسیر به هنگام وقوع سیل

ب- توجه بیشتر به تامین نیازهای استفاده کنندگان آسیب پذیر

پ- برنامه‌ریزی براساس شرایط مالی، بودجه و اعتبارات قابل دسترسی واقعی

ت- در نظر گرفتن هزینه‌ها و ارزش‌های حفظ محیط زیست

ث- برنامه‌ریزی براساس شرایط مالی، بودجه و اعتبارات قابل دسترسی واقعی

ج- توجه بیشتر به هزینه نگهداری و تعمیرات در دوران بهره‌برداری

باید در طرح‌ها این مسأله که ایجاد ارتباط مورد نظر، چه هزینه‌هایی از سرمایه‌گذاری را به خود اختصاص می‌دهد و بازده آن در کل سیستم ارتباطات به چه میزان است، توجه کافی مبذول داشت تا الویت راه مورد نظر در کل سیستم راه‌سازی کشور از نظر منافع، اهداف و ارزش‌های اجتماعی و ملی معین شود.

هدف استفاده از این دستورالعمل تدوین ضوابطی واحد برای ایجاد هماهنگی در بخش‌های هیدرولوژی و هیدرولیکی در طراحی پروژه‌های راه‌سازی کشور است و هدف از بازنگری آن، به روز رسانی و اعمال اصلاحاتی است که در طول سال‌های گذشته مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۵- کاربرد دستورالعمل

این دستورالعمل به منظور طراحی سازه‌های هدایت و کنترل سیلاب در تمام راه‌های کشور تدوین شده است و طراح بایستی از روابط و ضوابط این آیین‌نامه استفاده نماید مگر آنکه توجیه قانع کننده‌ای برای استفاده از روش‌ها یا شیوه‌های

دیگر در مطالعات ارائه نماید. چنانچه میان مفاد آیین نامه حاضر با دیگر ضوابط ابلاغی این سازمان مغایرتی وجود داشته باشد، مفاد این ضابطه ملاک عمل بوده و باید رعایت شود.

۱-۶- معیارهای توصیه شده

◀ در صورت وجود رودخانه با جریان دائمی و یا حوضه آبریز بزرگتر از ۱۰۰ کیلومتر مربع توصیه اکید می گردد استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین و همچنین تحلیل منطقه ای شامل شناسایی حوضه های آبریز دارای ایستگاه های هیدرومتری اطراف محدوده مطالعاتی و تعیین مشخصات آن، به منظور شناخت و بررسی ارتباط بین دبی سیلاب و پارامترهای حوضه آبریز و شناخت هر چه بیشتر سیلاب منطقه و رفتار آن، در دستور کار قرار گیرد.

◀ توصیه می گردد در برآورد زمان تمرکز در حوضه های آبریز بزرگتر از ۱.۳ کیلومتر مربع از روش SCS استفاده شود.

۱-۷- سایر معیارها

در صورتی که معیاری در این ضابطه وجود نداشته باشد، می توان از آیین نامه ها و دستورالعمل های FHWA و ASSTO استفاده کرد.

فصل دوم

علائم و اختصاها

۲- - فصل دوم: علائم و اختصارها

۲-۱- علائم و اختصارها

جدول ۲ - ۱- اختصارها

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
هیدروگراف واحد	Unit Hydrograph	هیدروگرافی است که ارتفاع رواناب در آن به اندازه یک واحد باشد. یعنی اگر حجم رواناب این هیدروگراف را بر سطح حوضه تقسیم کنیم ارتفاع حاصل برابر با ۱ گردد.	UH	
هیدروگراف واحد مصنوعی	Synthetic Unit Hydrograph	هیدروگرافی است که براساس ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز بدست آمده است و زمانی استفاده می‌گردد که آمار بارندگی و دبی در دسترس نباشد.	SUH	
دوره بازگشت	Return Period	متوسط تعداد سال‌های بین دو واقعه حدی در هیدرولوژی می‌باشد.	T	year
آنالیز ریسک	Risk Analyze	به مجموعه روش‌ها یا اقداماتی گفته می‌شود که به منظور تعیین خسارات ناشی از سیل در دوره بازگشت‌های مختلف یا به منظور تعیین دوره بازگشت استفاده می‌گردد.	Risk	
دبی	Discharge	حجم آب عبوری از یک سطح مقطع معین در واحد زمان.	Q	m^3/s
طول حوضه آبریز	Length of Drainage Basin	معمولاً برابر با طول بلندترین آبراهه اصلی.	BL	BL(Km)
زمان پایه هیدروگراف	Hydrograph base time	زمان میان شروع سیل و فروکش کردن سیل	t_b	Hr
زمان اوج هیدروگراف	Hydrograph peak time	مدت زمانی که سیل در آن نقطه از هیدروگراف به حداکثر مقدار خود می‌رسد.	t_p	Hr

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
شیب حوضه آبریز	Drainage Basin Slope	از ویژگی های حوضه آبریز می باشد که تاثیر به سزایی در محاسبه زمان تمرکز دارد.	BS	%
سطح حوضه آبریز	Drainage Basin Area	از ویژگی های حوضه آبریز می باشد.	A	Km^2
شیب آبراهه اصلی	Main Stream Slope	از ویژگی های حوضه آبریز می باشد.	MSS	%
زمان تمرکز	Time of Concentration	حداکثر زمانی که طول می کشد تا آب از دورترین نقطه حوضه آبریز مسیر هیدرولوژیکی خود را طی کرده و به نقطه خروجی می رسد.	T_c	Min or Hr
زمان تاخیر	Lag Time	فاصله میان مرکز بارش و نقطه اوج هیدروگراف	T_L	Min or Hr
سیل طرح	Design Flood	سیلابی که براساس آن طراحی یک سازه آبی انجام و اجرا می شود.	Q_d	m^3/s
حداکثر سیل محتمل	Probable Maximum Flood	به سیلی که در بحرانی ترین شرایط از نظر هیدرولوژیکی و هواشناسی و فیزیکی حوضه آبریز می تواند اتفاق افتد که آن را با نماد PMF نشان می دهند.	PMF	m^3/s
سیل براساس دوره بازگشت	Frequency Based Flood	سیلی که براساس تحلیل فراوانی داده های موجود و در نظر گرفتن دوره بازگشت بدست می آید.		
حداکثر بارندگی محتمل	Probable Maximum Precipitation	بزرگترین بارانی که از نظر مقدار با یک تداوم مشخص احتمال وقوع آن را می توان انتظار داشت و در شرایط هواشناختی موجود امکان تجاوز از آن وجود ندارد.	PMP	m^3/s

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
حداکثر بارش روزانه	Maximum Daily Rainfall	اگر در یک ایستگاه هواشناسی آمار بارش‌های روزانه را در نظر بگیریم، یک روز (۲۴ ساعت) در طول سال وجود خواهد داشت که مقدار بارندگی آن از بقیه روزهای سال بیشتر است.	$P_{۲۴}$	Mm or in
شدت بارندگی	Rain Intensity	مقدار بارندگی در واحد زمان است.	i	mm/hr
حداکثر دبی لحظه ای	Instantaneous Peak Flow	بیشترین مقدار دبی ثبت شده در رودخانه در طی یک سال می‌باشد.	Q_P	
دبی روزانه	Daily Flow	جریان متوسط در طول یک روز یا ۲۴ ساعت.	Q_{daily}	
دبی میانگین	Mean	مقدار جریانی است که از حاصل جمع حجم آبی که از رودخانه عبور می‌کند و تقسیم آن بر زمان عبور بدست می‌آید.	$\bar{Q}$	
انحراف از معیار	Standard Deviation	یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند.	S	
ضریب رواناب	Runoff coefficient	ضریبی که نشان دهنده درصدی از بارندگی است که به رواناب تبدیل می‌شود.	C	
شماره منحنی	Curve Number	نمایه‌ای است که نشان‌دهنده خصوصیت حوضه آبریز از نظر نفوذپذیری است.	CN	
تلفات بارندگی	Loss Of Rain	تلفات شامل بخشی از باران است که در رواناب مستقیم مشارکت می‌کند و از اختلاف بین هیتوگراف باران کل و هیتوگراف باران مازاد به دست می‌آید.	$\emptyset$	
منحنی شدت - مدت - فراوانی	Intensity- Duration - Frequency		IDF	

واحد	نماد	تعریف/تعاریف	عنوان به لاتین	عنوان به فارسی
	n	ضریب بدون بعد استفاده شده در معادله مانینگ	Manning coefficient	ضریب زبری مانینگ
m	P	محیطی از مجرای عبور آب که در تماس با آب است.	Wetted Perimeter	محیط خیس شده
m	R	نسبت سطح مقطع جریان به محیط خیس شده	Hydraulic Radius	شعاع هیدرولیکی

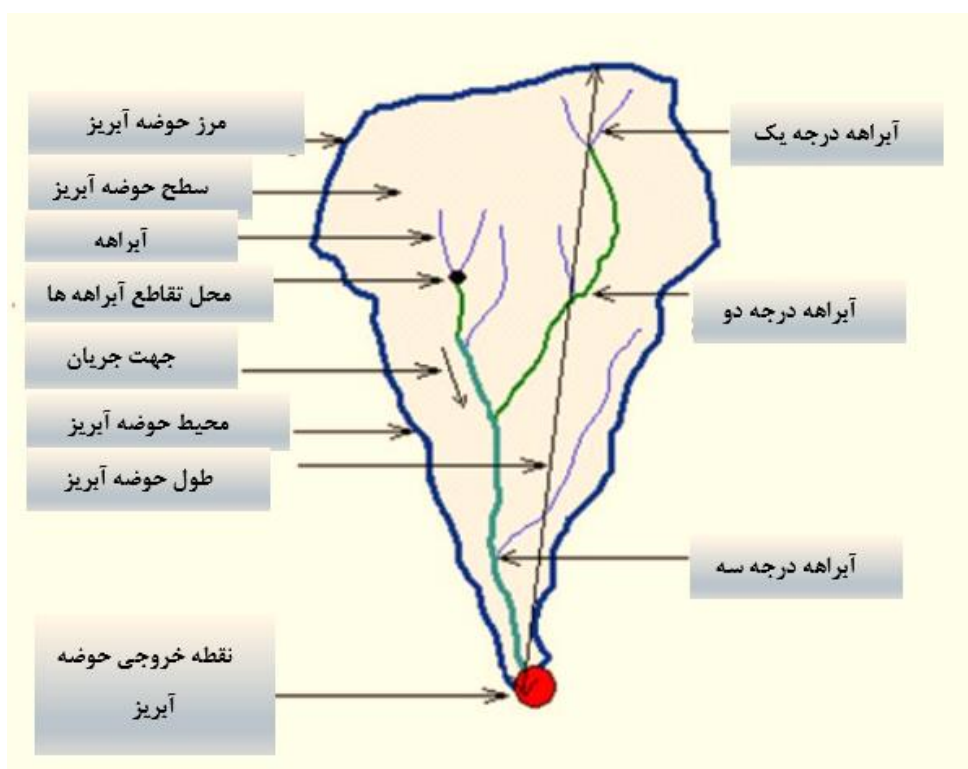
فصل سوم

حوضه آبریز

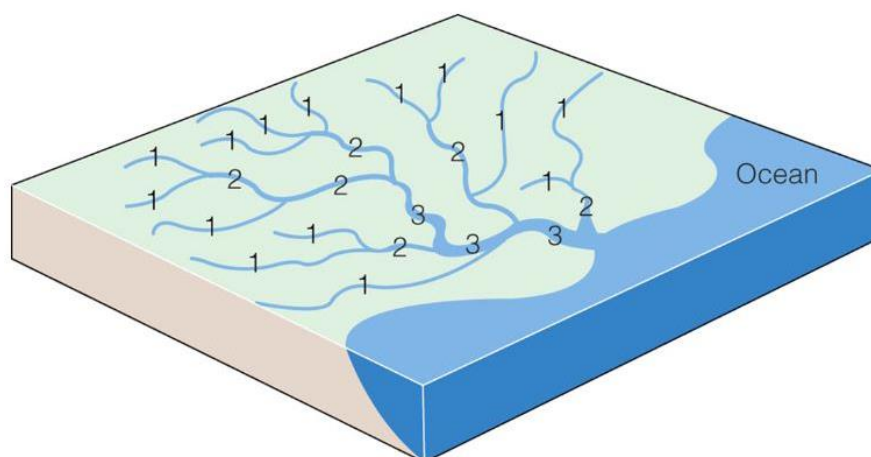
۳- فصل سوم: حوضه آبریز

۳-۱- مقدمه

در بسیاری از طراحی‌ها در زمینه هیدرولوژی و هیدرولیک پل‌ها یا آبروها در تقاطع با مسیر (شامل راه اصلی، فرعی، آزاد راه و بزرگراه) تعیین پارامترهای حوضه آبریز و انتخاب روش‌های مناسب برای تخمین و برآورد این پارامترها از چالش‌های اصلی طراحی می‌باشد. در برخی از این پارامترها مانند زمان تمرکز حوضه آبریز روش‌های مختلفی برای حوضه‌های آبریز با مشخصات یکسان توسط طراحان استفاده می‌شود و لذا نیاز است که یک سند واحد برای این موضوع ارائه گردد. در شکل زیر نمایی از یک حوضه آبریز و خصوصیات فیزیوگرافی آن ارائه شده است:



شکل ۳-۱- نمایش حوضه آبریز و برخی از پارامترهای آن



شکل ۳-۲- نمایش درجه بندی شبکه آبراهه حوضه های آبریز

۳-۲- سطح حوضه آبریز

یکی از مباحث اصلی در هیدرولوژی حوضه های آبریز و برآورد برخی از پارامترها (مانند زمان تمرکز و یا دبی) تقسیم بندی حوضه آبریز براساس مساحت آن به کوچک، متوسط و بزرگ می باشد. سینگ (۱۹۹۴- Singh^۱) تقسیم بندی مطابق با جدول ۳-۱ را برای این طبقه بندی ارائه کرده است:

جدول ۳-۱- تقسیم بندی حوضه ای آبریز بر اساس مساحت

دسته بندی	مساحت (هکتار)
حوضه آبریز	۵۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰
زیر حوضه آبریز	۵۰۰۰۰-۱۰۰۰۰
زیر حوضه آبریز	۱۰۰۰۰-۱۰۰۰
حوضه آبریز (Mili) کوچک	۱۰۰۰-۱۰۰
حوضه آبریز (Micro) خیلی کوچک	۱۰۰-۱۰

Singh نوعی دیگر از تقسیم بندی را به شکل زیر ارائه کرده است (فرم شماره ۲):

- ✓ سطح حوضه آبریز تا ۲۵۰ کیلومتر مربع، حوضه آبریز کوچک
 - ✓ سطح حوضه آبریز ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ کیلومتر مربع، حوضه آبریز متوسط
 - ✓ سطح حوضه آبریز بزرگتر از ۲۵۰۰ کیلومتر مربع، حوضه آبریز بزرگ
- در برخی از منابع اندازه حوضه آبریز کوچک در حدود ۱۰۰۰ ایگر ارائه گردیده است.

معیارهای زیر برای تقسیم‌بندی حوضه آبریز براساس اندازه و مساحت آن توسط S. Poulos (۲۰۱۱) ارائه شده است:

خیلی کوچک: کمتر از $۱۰^۲$ کیلومتر مربع

کوچک: بیشتر از $۱۰^۲$ کیلومتر مربع و کمتر از $۱۰^۳$

متوسط: بیشتر از $۱۰^۳$ کیلومتر مربع و کمتر از $۱۰^۴$

بزرگ: بیشتر از $۱۰^۴$ کیلومتر مربع و کمتر از $۱۰^۵$

خیلی بزرگ: بیشتر از $۱۰^۵$ کیلومتر مربع و کمتر از $۱۰^۶$

مگا: بیشتر از $۱۰^۶$ کیلومتر مربع

در حوضه‌های آبریز بزرگ شبکه رودخانه تکامل و گسترش بهتری دارد و حساسیت کمتری نسبت به بارندگی با شدت بالا و مدت کوتاه دارند. در حوضه‌های آبریز کوچک، جریان حاکم جریان روزمینی (overland flow) می‌باشد و نسبت به بارندگی با شدت‌های بالا و مدت کوتاه بسیار حساس می‌باشند و می‌توانند در اینگونه رویدادهای بارندگی به دبی اوج خود برسند. فرم شماره ۲ Poulos و Singh در زمینه آب‌های سطحی بیشتر مرسوم می‌باشند. پیشنهاد می‌گردد برای تعیین کلاس حوضه آبریز ابتدا توسط تمام معیارها تعیین شده و اگر توسط دو معیار در یک کلاس قرار گرفتند که همان بعنوان اندازه کیفی حوضه آبریز در نظر می‌شود. در غیر این صورت توصیه می‌گردد از فرم شماره ۲ ارائه شده توسط Singh استفاده گردد. برای دقیق‌تر کردن ضرایب مورد استفاده در روابط ارائه شده مختلف هیدرولوژی در صورت وجود اطلاعات و آمار می‌توان با استفاده از داده‌های بارندگی و سیل رخ داده شده آن حوضه آبریز با حوضه‌های مجاور که می‌تواند خصوصیات مشترکی داشته باشند ضرایب را بدست آورد و در آن صورت معیار بزرگ یا کوچک بودن حوضه‌های آبریز اهمیت خود را از دست می‌دهند.

۳-۳- شیب حوضه آبریز

در هیدرولوژی شیب حوضه آبریز یکی از پارامترهای تاثیرگذار در نفوذپذیری، رواناب سطحی، رطوبت خاک و آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین پارامتر شیب رابطه مستقیم با زمان تمرکز حوضه آبریز و بزرگی سیل دارد. پارامتر شیب در حوضه‌های آبریز دو نوع شیب عمومی و شیب متوسط را شامل می‌شوند.

شیب عمومی بیانگر شیب صفحه‌ای است که توسط یک خط ایجاد شده است که یک سمت آن در یک نقطه‌ای ثابت در بالای آبراهه قرار داشته و سمت دیگر آن در امتداد همین خط قرار دارد. شیب عمومی تغییرات ایجاد شده در شیب به دلیل

فرسایش را در نظر نمی‌گیرد. روش‌های مختلفی برای برآورد شیب عمومی و میانگین وجود دارد که تمامی آن‌ها شیب عمومی را مطابق با تعریف بالا ارائه نمی‌نمایند. در ادامه برخی از روش‌های برآورد شیب متوسط عمومی حوضه آبریز ارائه می‌گردد.

✓ روش جاستین (Justin)

در این روش با فرض مربع بودن حوضه آبریز، شیب از تقسیم اختلاف میان بالاترین و پایین‌ترین نقطه بر جذر سطح حوضه آبریز مطابق با (رابطه ۳ - ۱) بدست می‌آید:

$$S_g = \frac{H_g - H_L}{\sqrt{A}} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱})$$

در این رابطه:

H_g بیشترین ارتفاع حوضه آبریز بر حسب متر

H_L کمترین ارتفاع حوضه آبریز (نقطه تمرکز) بر حسب متر

A سطح حوضه آبریز بر حسب متر مربع

✓ روش لاندردج (The Landreth Method)

این روش برای زمین‌هایی که یک دریاچه را در بر می‌گیرند کارایی دارد. این روش شامل تراز متوسطی از حوضه آبریز است که این حوضه آبریز به چندین قسمت تقسیم شده و هر قسمت دارای یک تراز ارتفاعی متوسط و فاصله (d_i) از دریاچه می‌باشد. بعد از بدست آوردن مساحت هر زیر حوضه شیب عمومی حوضه آبریز از (رابطه ۳ - ۲) بدست می‌آید:

$$a_g = \left[(H_1 - H.) / d_1 \frac{m_1}{M} \right] + \left[(H_2 - H.) / d_2 \frac{m_2}{M} \right] + \dots \quad (\text{رابطه ۳ - ۲})$$

در این رابطه H تراز پایین‌ترین نقطه دریاچه یا بلندترین آبراهه می‌باشد که بعنوان مبنای ارتفاعی برای سایر زیر حوضه‌ها نیز به حساب می‌آید. H_1 و ... تراز ارتفاعی متوسط زیر حوضه‌های مختلف با مساحت‌های m_1 و ... و پارامتر M مساحت کل حوضه آبریز می‌باشد. در ادامه این بخش روش‌هایی برای برآورد شیب میانگین حوضه آبریز ارائه می‌گردد.

✓ روش میانگین‌گیری

شیب میانگین برابر است با اختلاف بین هر دو خط تراز تقسیم بر فاصله بین آن‌ها می‌باشد همچنین فاصله میان دو خط تراز برابر است با سطح میانگین بین دو خط تراز بر فاصله میانگین بین آن‌ها. در یک حوضه آبریز اگر طول کل خطوط تراز مشخص شده باشد آنگاه شیب میانگین برابر است با (رابطه ۳ - ۳):

$$s_g = \frac{D \sum l}{M} \quad (\text{رابطه ۳ - ۳})$$

در این رابطه:

D اختلاف ارتفاعی بین دو خط تراز بر حسب متر (فاصله میان هر دو خط تراز یکسان است).

M سطح کل حوضه آبریز بر حسب متر مربع

$\sum l$ طول کل خطوط تراز بر حسب متر

این روش به شرط آنکه اختلاف ارتفاعی خطوط تراز به صورت یکنواخت باشد مناسب می‌باشد و در مواردی که یک قسمت کوچک شیب تندی دارد به آن قسمت توسط این روش وزن زیادی داده می‌شود و به این ترتیب شیب بدست آمده دارای خطا بوده و نمی‌تواند بیانگر شیب میانگین حوضه آبریز باشد. به طور کلی هر مقدار طول، پیچ و انحنا بیشتر باشد شیب حوضه آبریز نیز تندتر خواهد بود. شیب حوضه‌های آبریز در بسیاری از موارد از نقشه‌های قدیمی‌ای بدست می‌آید که فرسایش و یا تغییرات ایجاد شده بعدی را در نظر نمی‌گیرند لذا در این موارد می‌توان با برداشت برخی از قسمت‌های مورد نیاز با ضرب نسبت بدست آمده که از تقسیم قسمت‌های مشابه نقشه‌برداری شده بر نقشه‌های قدیمی بدست می‌آید شیب را اصلاح کرد.

✓ روش خطوط کنتور - سطح (Contour-Area Method)

این روش به صورت (رابطه ۳ - ۴) بیان می‌گردد:

$$s_g = \frac{\sum aD}{ML} \quad (\text{رابطه ۳ - ۴})$$

L فاصله متوسط بین هر دو خط تراز

D اختلاف ارتفاعی بین دو خط تراز

a سطح بین هر دو خط تراز

M سطح کل حوضه آبریز

پارامترهای بالا را می‌توان با استفاده از نرم افزار GIS براحتی برآورد نمود و نیاز به اندازه‌گیری‌های دستی نمی‌باشد.

✓ روش خطوط متقاطع (The intersection-Line Method)

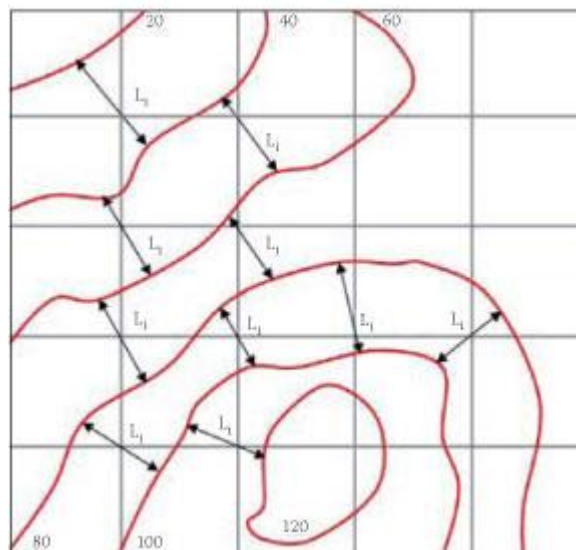
در این روش سطحی که قرار است شیب محاسبه شود با مربع‌هایی هم‌سایز پوشانده می‌شوند. تعداد تقاطع خطوط کنتور متقاطع با خطوط عمودی و افقی تشکیل شده توسط مرزهای مربع‌های ایجاد شده شمرده می‌شود و طولی از خطوط تقسیم‌کننده افقی و عمودی نیز محاسبه می‌گردد (شکل ۳-۲). نهایتاً شیب متوسط حوضه آبریز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$s_h = \frac{DN_h}{\sum l_h} \quad (\text{رابطه ۳-۵})$$

$$s_v = \frac{DN_v}{\sum l_v} \quad (\text{رابطه ۳-۶})$$

$$s_{avarge} = \sqrt{s_h^2 + s_v^2} \quad (\text{رابطه ۳-۷})$$

در این رابطه l_h و l_v طول کل خطوط تقسیم‌کننده افقی و عمودی و N_h و N_v تعداد برخورد خطوط جدا کننده افقی و عمودی با خطوط تراز می‌باشد.



شکل ۳-۲- نمایش شمای کلی روش خطوط متقاطع

✓ روش همسایگی

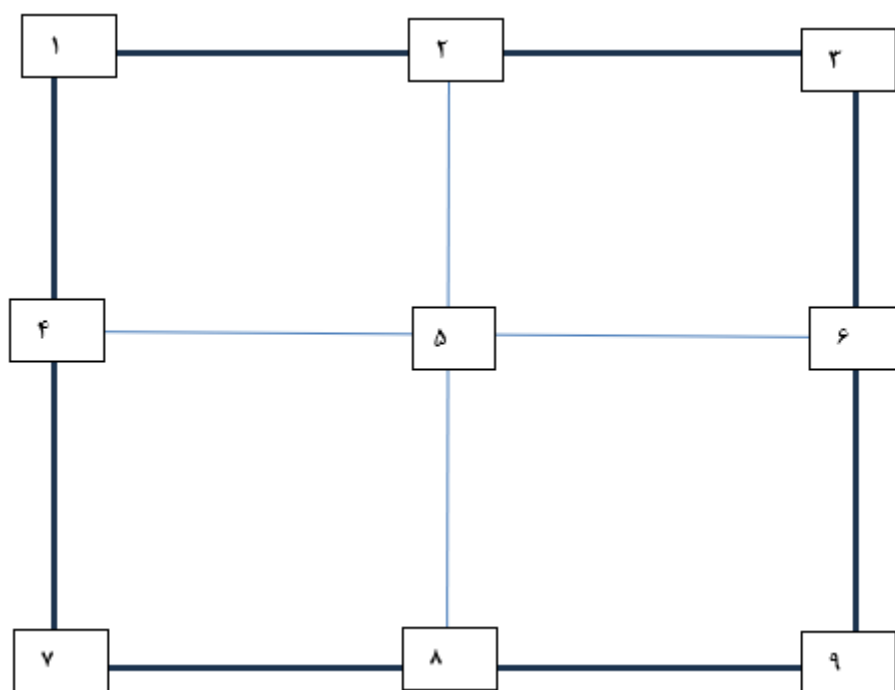
روش دیگر برای محاسبه شیب حوضه آبریز روش همسایگی است که این روش استاندارد مورد استفاده در نرم افزار ArcGis می‌باشد. برای محاسبه شیب ابتدا حوضه آبریز را مش‌بندی کرده سپس با استفاده از یک شبکه ۳*۳ هشت نقطه

اطراف نقطه مرکزی (۵) برای محاسبه شیب استفاده می گردد (شکل ۳-۴). برای محاسبه شیب برای هر محدوده (۳*۳) (از رابطه زیر استفاده می شود:

$$S_r = \sqrt{\left(\frac{\Delta Z}{\Delta X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Z}{\Delta Y}\right)^2} \quad (\text{رابطه ۳-۸})$$

$$\frac{\Delta Z}{\Delta X} = \left[\frac{(C_r + 2C_e + C_q) - (C_1 + 2C_f + C_v)}{NX_C} \right] \quad (\text{رابطه ۳-۹})$$

$$\frac{\Delta Z}{\Delta Y} = \left[\frac{(C_v + 2C_a + C_q) - (C_1 + 2C_r + C_r)}{NY_C} \right] \quad (\text{رابطه ۳-۱۰})$$



شکل ۳-۴- نمایش شمای کلی روش همسایگی

پس از محاسبه شیب در تمام شبکه مش بندی شده از مقادیر شیب های بدست آورده شده میانگین گرفته می شود. شیب بدست آمده همان شیب متوسط حوضه آبریز است.

تعریف پارامترها در (رابطه ۳-۸) الی (رابطه ۳-۱۱) به صورت زیر است:

N تعداد سلول ها

X_C اندازه افقی سلول

Y_C اندازه عمودی سلول

C_i سلول های اطراف سلول مرکزی

پیشنهاد می گردد جهت محاسبه شیب حوضه ابریز از روش همسایگی استفاده شود.

۳-۴- شیب آبراهه اصلی

به منظور بدست آوردن شیب رودخانه یا آبراهه اصلی می توان از یکی از روش های زیر استفاده نمود:

روش اول: ابتدا و انتهای رودخانه را با خطی به یکدیگر وصل می نماییم که شیب این خط همان شیب رودخانه است. از آنجایی که در بالای حوضه آبریز ارتفاع به طور ناگهانی افزایش می یابد لذا لازم است ضریب اصلاحی به صورت روابط زیر اعمال گردد:

$$C = \frac{A_p}{A_t} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۱})$$

$$C = \frac{2A_t - A_p}{A_t} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۲})$$

(رابطه ۳ - ۱۱) برای نیم رخ های مقعر و (رابطه ۳ - ۱۲) برای نیم رخ های محدب استفاده می گردد. در این رابطه ها :

A_p سطح واقعی در زیر نیم رخ طولی آبراهه اصلی

A_t سطح مثلثی که از وصل کردن ابتدا و انتهای آبراهه اصلی بدست می آید.

روش دوم: روی نیم رخ طولی رودخانه دو نقطه را که یکی مربوط به ۱۰ درصد و دیگری ۸۵ درصد طول رودخانه یا

آبراهه اصلی می باشد را مشخص کرده و بهم وصل می کنیم. شیب خط برابر با شیب رودخانه می باشد.

روش سوم: روی نیم رخ طولی خطی مستقیم طوری ترسیم گردد که اولاً نقطه انتهایی خط منطبق با نقطه انتهایی

رودخانه گردد و ثانیاً سطح مثلث ایجاد شده توسط آن با محورهای مختصات برابر با سطح زیر منحنی رودخانه با این

محورها گردد.

۳-۵- زمان تمرکز

تعیین زمان تمرکز و یا زمان تاخیر یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در تخمین دبی سیلاب می باشد.

(۲۰۱۴) Gericke and Smithers نشان دادند که ۷۵ درصد خطاهای کل در برآورد دبی سیلاب به دلیل خطا در بدست آوردن زمان تمرکز است. در بسیاری از منابع تاکید بر آن شده است که این پارامتر و ضرایب و پارامترهای معادلات تجربی یا نیمه تجربی ارائه شده بایستی برای آن منطقه مطالعاتی، تنظیم و کالیبره شوند. در ادامه پرکاربردین روابط مورد استفاده برای برآورد زمان تمرکز ارائه می‌گردد:

✓ رابطه USBR

$$T_c = \tau \left(\frac{0.87 L_{CH}}{1000 S_{CH}} \right)^{0.385} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۳})$$

این روش در کشور آمریکا و به منظور طراحی کالورت‌ها توسعه یافته است. در این رابطه پارامترها به صورت زیر تعریف می‌گردند:

L_{CH} طول بلندترین آبراهه (Km)

S_{CH} شیب متوسط آبراهه اصلی (m/m)

τ فاکتور تصحیح که برابر است با $\tau = 2 - 0.5 \log A$ که A مساحت حوضه بر حسب Km^2 می باشد.

T_c زمان تمرکز (ساعت)

✓ روش Snyder

$$T_L = C_T (L \cdot L_c)^{0.2} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۴})$$

هیدروگراف واحد اسنایدر (SUH) از روابط میان هیدروگراف واحد استاندارد و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی ۲۰ حوضه آبریز با مساحت‌های ۲۵ تا ۲۵۰۰۰ کیلومتر مربع در Appalachian Highland آمریکا استخراج شده است. در رابطه فوق:

T_L زمان تاخیر (h)

C_T ضریب ذخیره حوضه آبریز یا فاکتور ذخیره که مقادیر آن بین ۱.۳۵ تا ۱.۶۵ بسته به خصوصیات حوضه آبریز در

نظر گرفته می‌شود (شیب و ذخیره)

L طول حوضه کانال اصلی (Km)

L_c فاصله از مرکز ثقل (km)

✓ SCS Lag

$$T_L = \frac{L_{CH}^{\wedge} (S_{nat} + 1)^{0.7}}{1900 S^{0.5}} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۵})$$

این مدل برای ۱۴ حوضه آبریز با مساحت های کمتر از ۸ کیلومتر مربع توسعه یافته است.

در این رابطه تعریف پارامترها به شکل زیر می باشد:

T_L زمان تاخیر (h)

L_{CH} طول بلندترین آبراهه (ft)

S_{nat} ذخیره ماکزیمم بر حسب اینچ که برابر است با $10 - \frac{1000}{CN}$

S شیب متوسط حوضه آبریز (/)

CN شماره منحنی وزنی

FAA ✓

$$T_C = 1.8(1.1 - C)L^{0.5}S^{0.34} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۶})$$

این رابطه توسط مهندسان ارتش آمریکا با استفاده از داده های زهکشی فرودگاهی (حوضه های آبریز کوچک) بدست

آمده است. در این رابطه داریم:

T_C زمان تمرکز (h)

L طول آبراهه اصلی (ft)

S شیب متوسط حوضه آبریز (/)

C ضریب رواناب رابطه منطقی

Bansby Williams ✓

$$T_C = 0.605 \frac{L}{(100S)^{0.2} A^{0.1}} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۷})$$

در این رابطه:

T_C زمان تمرکز (h)

L طول آبراهه اصلی (km)

A مساحت حوضه آبریز (km^2)

S شیب آبراهه اصلی (m/m)

Kirpich ✓

$$T_C = 0.0663 L^{0.77} S^{-0.385} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۸})$$

این رابطه برای حوضه‌های آبریز کوچک با مساحت‌های کمتر از ۰.۴۳۳ کیلومتر مربع و شیب ۳ تا ۱۲ درصد در Tennessee آمریکا توسعه یافته است. پارامترها در این رابطه به شکل زیر تعریف می‌گردد:

T_C زمان تمرکز (h)

L طول آبراهه اصلی (km)

S شیب آبراهه اصلی (m/m)

Garter

$$T_C = 0.0977 \frac{L^{0.6}}{S^{0.2}} \quad (\text{رابطه ۳ - ۱۹})$$

این رابطه براساس داده‌های کانال‌های طبیعی و در آمریکا برای سطح حوضه‌های آبریز کمتر از ۲۰/۷ کیلومتر مربع بدست آمده است. پارامترها مورد استفاده در رابطه فوق به شرح زیر تعریف می‌گردند:

T_C زمان تمرکز (h)

L طول آبراهه اصلی (km)

S شیب آبراهه اصلی (m/m)

Ventura ✓

$$T_C = 4 A^{0.5} L^{0.5} H^{-0.5} \quad (\text{رابطه ۳ - ۲۰})$$

این رابطه با استفاده از داده‌های حوضه‌های روستایی و برای دره Po در ایتالیا بدست آمده و برای کانال‌های طبیعی مورد استفاده قرار گرفته است.

T_C زمان تمرکز (h)

L طول آبراهه اصلی (km)

A مساحت حوضه آبریز (km^2)

H اختلاف ارتفاع بین بالاترین نقطه و پایین‌ترین نقطه بر روی مسیر کانال اصلی (m)

Simas Hawkins ✓

$$T_L = 53.4 W^{0.594} S^{-0.15} S_{nat}^{0.313} \quad (\text{رابطه ۳ - ۲۱})$$

T_L زمان تاخیر (h)

S متوسط شیب حوضه آبریز (m/m)

S_{nat} ضریب ذخیره در رابطه شماره منحنی

W عرض (ft) حوضه آبریز که برابر است با نسبت مساحت حوضه آبریز (ایکر) به طول بزرگترین آبراهه (L_{CH})

SCS Velocity ✓

زمان تمرکز در این رابطه برابر با مجموع سه پارامتر زیر می باشد:

$$T_c = T_{sheet} + T_{shallow concentrated} + T_{open chanal} \quad (\text{رابطه ۳ - ۲۲})$$

رابطه فوق به صورت زیر گسترده می گردد:

$$T_c = \frac{5.48(n.L_s)^{0.8}}{P_y^{0.5} S^{0.4}} + \frac{L_{ac}}{60V} + \frac{nL_{oc}}{60R^{0.67} S^{0.5}} \quad (\text{رابطه ۳ - ۲۳})$$

T_{sheet} زمان حرکت جریان ورقه ای (دقیقه)

$T_{shallow concentrated}$ زمان حرکت جریان متمرکز کم عمق (دقیقه)

$T_{open chanal}$ زمان حرکت جریان در کانال روباز (دقیقه)

n ضریب زبری مانینگ برای جریان در کانال روباز

L_s طول جریان ورقه ای

L_{ac} طول جریان متمرکز کم عمق

L_{oc} طول جریان در کانال روباز

P_y میزان بارندگی ۲۴ ساعته برای دوره بازگشت ۲ سال (میلیمتر)

S شیب سطح زمین (m/m)

V سرعت جریان متمرکز کم عمق (m/s) که تابعی از شیب زمین می باشد و مقدار آن برابر با $V=4.9175\sqrt{S}$

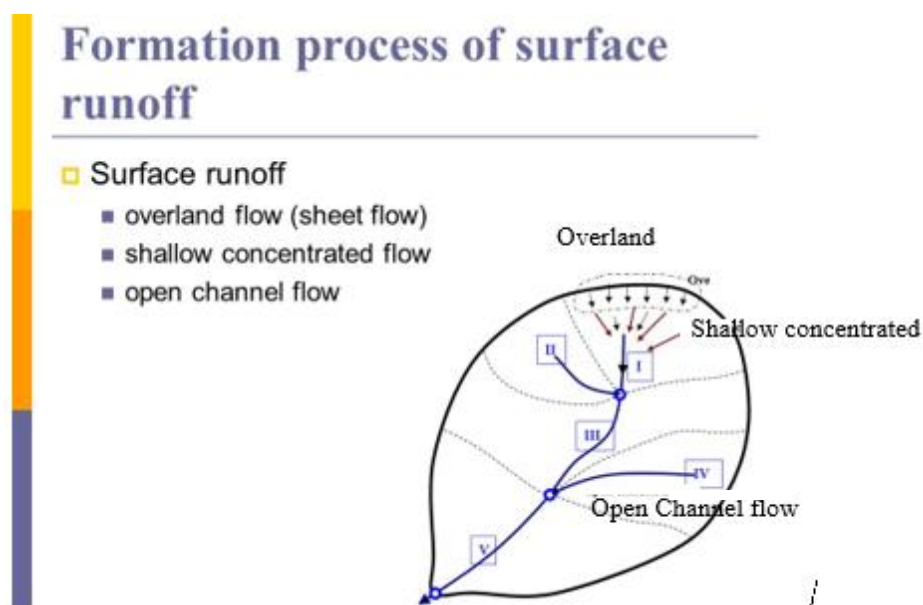
L_{oc} طول جریان در کانال های روباز (m)

n ضریب زبری مانینگ برای کانال روباز

S شیب کف کانال (m/m)

R شعاع هیدرولیکی جریان در کانال روباز (m)

یادآور می‌شود که جریان متمرکز شده حالتی است که عمق جریان در آن کمتر از ۳ سانتی‌متر است. که معمولاً بعد از طی مسافت ۳۰ متر از سرشاخه حوضه آبریز با این نوع جریان روبرو خواهیم بود. بیشترین طول این نوع از جریان در حدود ۱۰۰ متر ($TR^{0.5}$) می‌باشد.



شکل ۳-۵- نمایش پارامترهای روش SCS velocity

جدول ۳-۲- مقادیر ضریب زبری مانینگ برای استفاده در (رابطه ۳-۲۳)

توضیح سطح	ضریب مانینگ
سطح صاف	۰.۰۱۱
زمین آیش	۰.۰۵
زمین شخم خورده	
پوشش با بقایای گیاهی > ۲۰ درصد	۰.۰۶
پوشش با بقایای گیاهی < ۲۰ درصد	۰.۱۷
علف	
چمنزار کوتاه	۰.۱۵
چمنزار متراکم	۰.۲۴
سطوح جنگلی	
غیر متراکم	۰.۴
متراکم	۰.۸

✓ Dooge

این روش برای حوضه‌های آبریز روستایی با مساحت‌های ۱۴۵ تا ۹۴۸ کیلومتر مربع گسترش یافته است.

$$T_c = 0.365 A^{0.41} S^{-0.17} \quad (\text{رابطه ۳ - ۲۴})$$

A مساحت حوضه آبریز (km^2)

S شیب آبراهه (m/m)

T_c زمان تمرکز (h)

Johnstone ✓

این روش برای مساحت‌های حوضه آبریز با اندازه ۱۴۵-۴۲۰۶ کیلومتر مربع توسعه یافته است که با استفاده از رابطه زیر ارائه می‌شود:

$$T_c = 0.4623 L^{0.5} S^{-0.25} \quad (\text{رابطه ۳ - ۲۵})$$

S شیب آبراهه (m/m)

L طول آبراهه اصلی (km)

T_c زمان تمرکز (h)

Crop Engineers ✓

از این روش برای مساحت‌های کوچکتر از ۱۲ کیلومتر مربع توسط Linesly و Silveira استفاده شده است. این روش توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

$$T_c = 0.191 L^{0.76} S^{-0.19} \quad (\text{رابطه ۳ - ۲۶})$$

S شیب آبراهه (m/m)

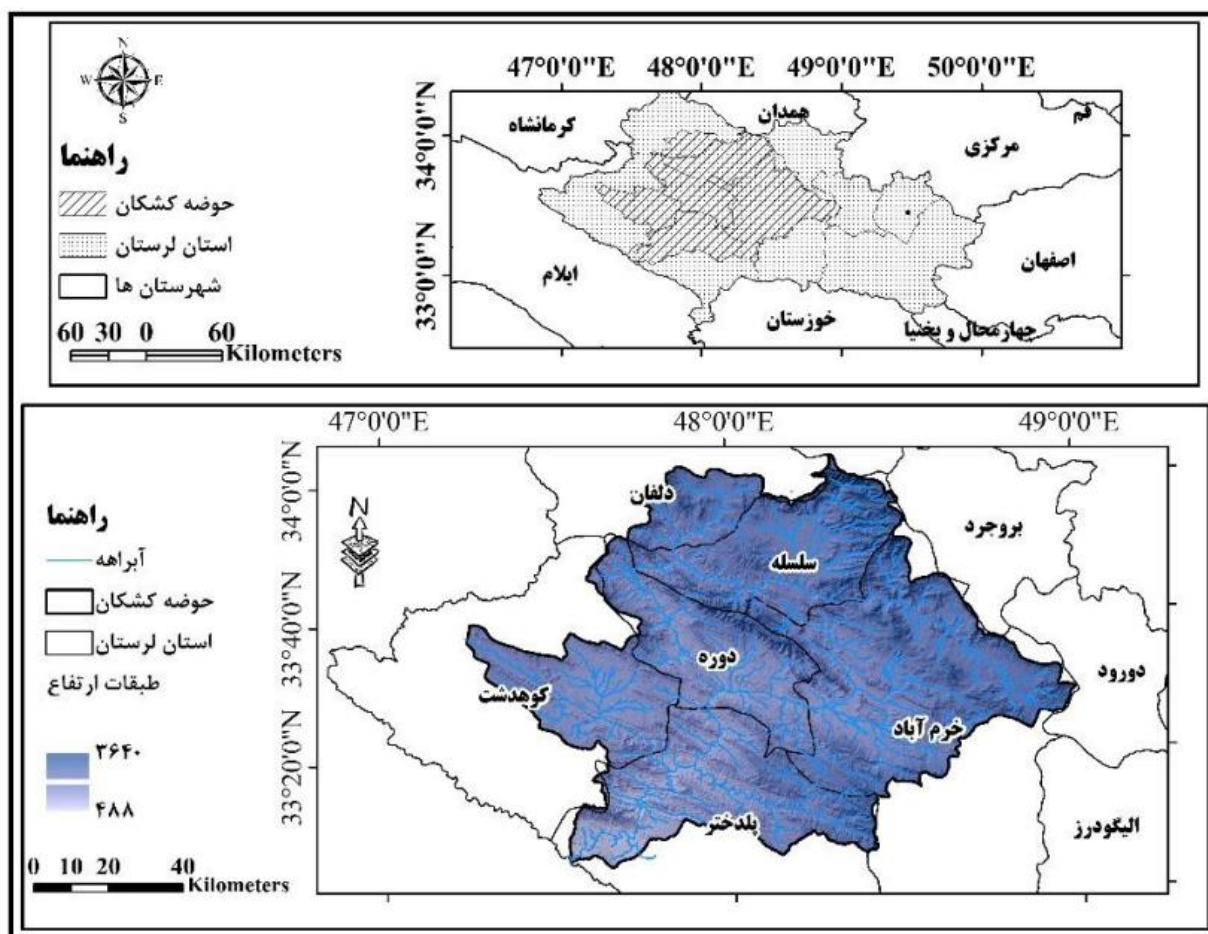
L طول آبراهه اصلی (km)

T_c زمان تمرکز (h)

*** پیشنهاد می‌گردد از روش کریچ برای حوضه های آبریز کوچک و از روش SCS برای حوضه های آبریز بزرگ به منظور محاسبه زمان تمرکز استفاده شود. در روش SCS در صورت در اختیار داشتن آمار دبی ایستگاه های هیدرومتری اطراف محل مورد مطالعه ضریب CN کالیبره گردد.

برای فهم بهتر روابط ارائه شده زمان تمرکز حوضه آبریز پل دختر به مساحت تقریبی ۹۵۰۰ کیلومتر مربع را با استفاده از روابط ارائه شده در این بخش برآورد نموده و با استفاده از این مقادیر دبی حوضه آبریز را برای سیل‌های رخ داده در سال‌های

۸۶ و ۹۸ (مطابق جدول ۳-۳ و جدول ۳-۴) محاسبه می‌نماییم. برای برآورد دبی حوضه آبریز از آمار ۴۱ ایستگاه بارندگی اطراف حوضه آبریز بهره گرفته شده و با استفاده از روش چند ضلعی‌های تیسن و روش بارش- رواناب (SCS) و با کمک نرم افزار HEC-HMS دبی‌های حوضه آبریز برآورد شده است. لازم به ذکر است که ماکزیمم دبی برای سیل‌های ۸۶ و ۹۸ که در فرودین ماه این سال‌ها بوقوع پیوسته‌اند به ترتیب برابر با ۸۷۱ و ۵۲۳۷ متر مکعب بر ثانیه می‌باشند. در شکل زیر حوضه آبریز پل دختر نمایش داده شده است.



شکل ۳-۶- نمایش حوضه آبریز پل دختر منتهی به رودخانه کشکان و موقعیت آن در نقشه ایران

جدول ۳-۳- محاسبه زمان تمرکز و دبی حوضه آبریز برای سیل ۸۶

CN	۴۰		۴۵		۵۰		۶۰		۷۰	
	TC	Q	TC(hr)	Q	TC(hr)	Q	TC(hr)	Q	TC(hr)	
USBR	۰.۴	۹۲۱	۰.۴	۱۱۳۵	۰.۴	۱۳۳۶	۰.۴	۱۶۸۹	۰.۴	۱۹۷۸
Snyder	۵۲.۴	۶۸۷	۵۲.۴	۸۷۲	۵۲.۴	۱۰۴۷	۵۲.۴	۱۳۶۸	۵۲.۴	۱۶۳۹
SCS	۷۸.۶	۵۸۹	۶۸.۸	۷۹۲	۶۰.۵	۱۰۰۰	۴۷.۰	۱۴۱۱	۳۶.۲	۱۷۹۱
FAA	۳.۱	۹۱۰	۳.۱	۱۱۳۵	۳.۱	۱۳۳۶	۳.۱	۱۶۸۲	۳.۱	۱۹۷۳
Bansby Williams	۸۴.۶	۵۷۰	۸۴.۶	۷۲۸	۸۴.۶	۸۷۸	۸۴.۶	۱۱۵۴	۸۴.۶	۱۳۹۰

جدول ۳-۳ - محاسبه زمان تمرکز و دبی حوضه آبریز برای سیل ۸۶

CN	۴۰		۴۵		۵۰		۶۰		۷۰	
Kirpich	۴۲.۹	۷۳۰	۴۲.۹	۹۲۵	۴۲.۹	۱۱۰۹	۴۲.۹	۱۴۴۴	۴۲.۹	۱۷۲۷
Garter	۸.۸	۷۶۱	۸.۸	۹۶۱	۸.۸	۱۳۰۵	۸.۸	۱۶۶۵	۸.۸	۱۹۶۱
simas Hwkins	۲۰.۲	۸۴۱	۱۸.۹	۱۰۶۱	۱۷.۸	۱۲۶۹	۱۵.۷	۱۶۴۱	۱۳.۶	۱۹۴۸
Giandotti	۳۰.۹	۷۹۰	۳۰.۹	۹۶۶	۳۰.۹	۱۱۹۱	۳۰.۹	۱۵۴۴	۳۰.۹	۱۸۴۱
Dooge	۳۹.۳	۷۴۸	۳۹.۳	۹۴۶	۳۹.۳	۱۱۳۳	۳۹.۳	۱۴۷۴	۳۹.۳	۱۷۶۲
Johnstone	۲۱.۴	۸۳۶	۲۱.۴	۱۰۴۹	۲۱.۴	۱۲۵۰	۲۱.۴	۱۶۱۲	۲۱.۴	۱۹۱۴
Crop engineering	۱۳.۵	۸۷۳	۱۳.۵	۱۰۸۸	۱۳.۵	۱۲۹۰	۱۳.۵	۱۶۵۲	۱۳.۵	۱۹۵۱

جدول ۳-۴ - محاسبه زمان تمرکز و دبی حوضه آبریز برای سیل ۹۸

CN	۴۰		۴۵		۵۰		۶۰		۷۰	
	TC(hr)	Q	TC(hr)	Q	TC(hr)	Q	TC(hr)	Q	TC(hr)	
USBR(TC)	۰.۴	۴۵۰۳	۰.۴	۵۰۹۷	۰.۴	۵۶۱۹	۰.۴	۶۴۵۱	۰.۴	۷۰۳۹
Snyder	۵۲.۴	۲۹۶۷	۵۲.۴	۳۴۵۳	۵۲.۴	۳۸۸۹	۵۲.۴	۴۶۱۷	۵۲.۴	۵۱۶۴
SCS	۷۸.۶	۲۴۳۳	۶۸.۸	۳۰۴۲	۶۰.۵	۳۶۴۶	۴۷.۰	۴۸۳۲	۳۶.۲	۵۹۱۷
FAA	۳.۱	۴۴۴۰	۳.۱	۵۰۴۶	۳.۱	۵۵۷۴	۳.۱	۶۳۹۱	۳.۱	۷۰۲۰
Bansby Williams	۸۴.۶	۲۳۳۵	۸۴.۶	۲۷۲۵	۸۴.۶	۳۰۷۶	۸۴.۶	۳۶۶۵	۸۴.۶	۴۱۱۳
Kirpich	۴۲.۹	۳۲۲۶	۴۲.۹	۳۷۵۲	۴۲.۹	۴۲۲۲	۴۲.۹	۵۰۰۴	۴۲.۹	۵۵۹۰
Garter	۸.۸	۴۳۰۷	۸.۸	۴۹۳۲	۸.۸	۵۴۶۴	۸.۸	۶۳۳۶	۸.۸	۶۹۷۰
simas Hwkins	۲۰.۲	۳۹۷۲	۱۸.۹	۴۶۲۷	۱۷.۸	۵۲۱۲	۱۵.۷	۶۱۷۷	۱۳.۶	۶۸۸۵
Giandotti	۳۰.۹	۳۶۰۶	۳۰.۹	۴۱۸۲	۳۰.۹	۴۶۹۵	۳۰.۹	۵۵۴۵	۳۰.۹	۶۱۷۸
Dooge	۳۹.۳	۳۳۳۵	۳۹.۳	۳۸۷۶	۳۹.۳	۴۳۵۹	۳۹.۳	۵۱۶۲	۳۹.۳	۵۷۶۳
Johnstone	۲۱.۴	۳۹۳۱	۲۱.۴	۴۵۳۹	۲۱.۴	۵۰۷۸	۲۱.۴	۵۹۶۶	۲۱.۴	۶۲۲۲
Crop engineering	۱۳.۵	۴۲۰۲	۱۳.۵	۴۸۰۰	۱۳.۵	۵۳۶۸	۱۳.۵	۶۲۵۸	۱۳.۵	۶۹۰۴

همانطور که ملاحظه می گردد با استفاده از روش های ذکر شده در بالا، در CN های مختلف دبی محاسباتی برابر با دبی مشاهده ای برای دو سیل ۸۶ و ۹۸ می گردد. همچنین مقدار CN در دو سیل ۸۶ و ۹۸ برای روش SCS یکسان نمی باشد.

برای فهم بهتر روش *SCS Velocity* مثالی برای حوضه آبریز با مشخصات مطابق با توضیحات زیر در نظر بگیرید:

قسمت AB (جریان ورقه ای):

طول جریان ۳۰ متر - شیب ۰.۰۱

قسمت BC (جریان متمرکز کم عمق):

شیب ۰.۱ طول ۴۲۰ متر - شیب ۰.۰۱

قسمت CD (جریان در کانال روباز):

ضریب زبری ۰.۰۵، سطح جریان ۲/۴۳ متر مربع- محیط خیس شده ۸/۴ متر- شیب کف کانال ۰/۰۰۵- طول ۲۱۰۰ متر.

با جایگذاری در (رابطه ۳ - ۲۳) مقدار زمان تمرکز به شکل زیر برآورد می‌گردد:

$$T_c = \frac{5.48 * (0.05 * 30)^{0.8}}{25^{0.5} * 0.0004} + \frac{420}{60 * 4.9175 \sqrt{0.01}} + \frac{0.05 * 2100}{60 * 0.28^{0.67} * 0.0005^{0.5}} = 81.8 \text{ min}$$

فصل چهارم

آزمون‌های آماری

۴- فصل چهارم: آزمون های آماری

۴-۱- آزمون تصادفی و همگنی

همگنی به معنی آن است که داده ها مربوط به یک جامعه آماری تصادفی باشند. برای این که بررسی شود که آیا داده ها و ارقامی که مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند، همگن هستند یا خیر روش های زیادی برای آزمون وجود دارد که می توان اصولاً آن ها را در دو گروه نموداری و غیرنموداری دسته بندی کرد. با توجه به اهمیتی که این روش ها در پردازش داده های هیدرولوژیکی دارند به شرح آن ها پرداخته خواهد شد. اگر یک سری از داده های هیدرولوژی را در اختیار داشته باشیم و هیچ گونه تغییرات دوره ای یا غیر دوره ای در آن ها وجود نداشته باشد به آن ها داده های ثابت گفته می شود. در این صورت مقدار میانگین و واریانس در آن ها ثابت است. به عبارت دیگر چنانچه داده های مشابه دیگری نیز به آن ها اضافه شود نباید در میانگین و واریانس تغییری ایجاد نماید.

۴-۱-۱- روش نموداری

معمول ترین روش نموداری که به منظور اطمینان از یکنواختی داده ها به کار برده می شود روش به اصطلاح جرم مضاعف (double mass) است. روش آزمونی همگنی به روش جرم مضاعف برای یک ایستگاه فرضی (مثلاً A) به صورت زیر است:

الف- داده های ایستگاه A را که قرار است مورد آزمون همگنی قرار گیرد به ترتیب سال وقوع ردیف می شوند.

ب- چند ایستگاه را اطراف ایستگاه A انتخاب شده و میانگین داده های آن ها نیز مشابه ایستگاه A ردیف می شوند. البته فرض می شود که آمار ایستگاه های B، C و D همگن و صحیح باشند.

پ- مقادیر تجمعی داده های ایستگاه A برای هر سال محاسبه گردد.

ج- مقادیر تجمعی میانگین ایستگاه های مجاور نیز برای هر سال محاسبه میشوند.

چ- در یک دستگاه محور مختصات، محور افقی به داده های تجمعی میانگین ایستگاه های B، C و D و محور عمودی به داده های تجمعی ایستگاه A اختصاص داده شده و موقعیت مختصاتی هر یک از سال ها را که بعنوان یک نقطه در نظر گرفته می شود، مشخص گردد.

ه- نقاط حاصله بهم متصل می شوند اگر از ابتدا تا انتها یک خط مستقیم حاصل شود در این صورت داده های ایستگاه A نسبت به ایستگاه های مجاور خود همگن است در غیر این صورت از هر زمان که تغییرات فاحشی در داده ها به وجود آمده باشد شیب خط تغییر کرده و دال بر عدم همگنی داده ها در طول دوره آماری است.

لذا در این صورت در نقطه شکست با دو شیب ایجاد خواهد شد اگر فرض بر این باشد که داده های سال های جدید صحیح باشد (خط بعد از نقطه تغییر شیب) آنگاه به منظور اصلاح داده های سال های قبل (خط قبل از نقطه تغییر شیب) (از رابطه ۴ - ۱) استفاده می گردد:

$$P_a = \left(\frac{M_a}{M_o}\right)P_o \quad (\text{رابطه ۴ - ۱})$$

در رابطه فوق M_o شیب خط بعد از نقطه تغییر شیب

M_a شیب خط قبل از نقطه تغییر شیب

P_o مقدار صحیح داده (مقدار داده بعد از نقطه تغییر شیب)

P_a مقدار نادرست داده (مقدار داده قبل از نقطه تغییر شیب)

۴-۱-۲- روش غیر نموداری

روش ساده غیر نموداری که برای این منظور استفاده می شود آزمون همگنی ران تست می باشد. در این روش به ترتیب زیر عمل می شود:

- ✓ داده ها بر طبق سال وقوع ردیف می شوند.
- ✓ میانگین داده ها محاسبه می گردد.
- ✓ از ابتدای لیست داده ها که بر حسب سال وقوعشان مرتب شده اند شروع کرده و هر یک از داده ها که از نظر مقدار بالاتر از میانگین باشد با a و هر کدام که پایین تر از میانگین باشد با b مشخص می شوند (به خود عدد میانگین اگر در میان داده ها وجود داشته باشد علامتی تعلق نمی گیرد).
- ✓ به ترتیب تعداد a ها و b ها را شمارش می گردد تا na و nb بدست آید. همچنین تعداد دنباله های a و b نیز شمارش شده و مجموع هر دو دنباله را با حرف U نمایش داده می شود. منظور از دنباله، یک a یا یک سری a های پشت سر هم و یا یک b یا یک سری b های پشت سر هم می باشد.

از جدول ۴- ۱ با توجه به تعداد na و nb اگر عدد U بین ارقام نوشته شده در جدول قرار بگیرد داده ها همگن می باشد. در این جدول هر یک از na یا nb که بزرگتر بودند در ردیف افقی بالای جدول و هر کدام کوچکتر بود در ستون عمودی سمت چپ آورده شده و دو خط عمودی و افقی از این نقاط اخراج می شود. در محل تلاقی این خطوط دو عدد نوشته شده است که شرط تصادفی بودن داده ها آن است که U بین این دو عدد قرار گیرد.

جدول ۴- ۱- جدول ران تست

	***	na یا nb مقادیر																			
										۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	
nb یا na مقادیر	۲																				
							۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	
					۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	
					۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	
					۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۵	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	
					۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	
					۱۰	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۷	۱۷	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	
	۱۰																				
					۱۰	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۶	۱۷	۱۷	۱۸	۱۸	۱۸	۱۹	۱۹	۱۹	۲۰	۲۰
	۱۱																				
					۱۰	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۷	۱۸	۱۹	۱۹	۱۹	۲۰	۲۰	۲۰	۲۱	۲۱
	۱۲																			۱۰	۱۰
					۱۰	۱۲	۱۳	۱۴	۱۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۱۹	۲۰	۲۰	۲۱	۲۱	۲۱	۲۲	۲۲
	۱۳																	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
					۱۰	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۱۹	۲۰	۲۰	۲۱	۲۱	۲۲	۲۲	۲۳	۲۳
	۱۴																۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱
					۱۰	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۰	۲۱	۲۲	۲۲	۲۳	۲۳	۲۳	۲۴
	۱۵															۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۱	۱۲
					۱۰	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	۱۸	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۲	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۲۵
	۱۶															۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۱	۱۲
					۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۱	۲۲	۲۳	۲۳	۲۴	۲۵	۲۵	۲۵

جدول ۴-۱- جدول ران تست

	***	na یا nb مقادیر																		
		۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۱۷																				
				۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۵	۲۶	۲۶	۲۶
۱۸																				
				۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۵	۲۶	۲۶	۲۷
۱۹																				
				۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۶	۲۷	۲۷
۲۰																				
				۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۵	۲۶	۲۷	۲۷	۲۸

در صورتی که هر کدام از تعداد a ها یا b ها بزرگتر از ۲۰ باشد از جدول حدود مجاز U دیگر نمی توان استفاده کرد بنابراین در این حالت آزمون را به روش استفاده از جدول آماری Z انجام می شود. پس از مشخص شدن تعداد a ها و b ها یعنی na و nb و تعداد کل دنباله ها (U) به ترتیب زیر عمل خواهد شد:

تعداد دنباله های قابل انتظار از (رابطه ۴ - ۲) محاسبه می گردد (E(U)). منظور از دنباله های قابل انتظار این است که هر چند در سری داده ها عملاً تعداد U دنباله مشاهده می شود ولی انتظار این بود که تعداد دنباله ها E(U) باشد.

$$E(U) = (na + nb + 2 \cdot na \cdot nb) / (na + nb) \quad (\text{رابطه ۴ - ۲})$$

✓ واریانس دنباله ها را از (رابطه ۴ - ۳) محاسبه می شود:

$$S2 = \frac{[(na + nb)^2(na + nb - 1)]}{[(na + nb)^2(na + nb - 1)]} \quad (\text{رابطه ۴ - ۳})$$

$$S2 = \frac{[(na + nb)^2(na + nb - 1)]}{[(na + nb)^2(na + nb - 1)]} \quad (\text{رابطه ۴ - ۳})$$

✓ واریانس دنباله ها SD را از (رابطه ۴ - ۴) بدست آورید:

$$SD = \frac{S2}{2} \quad (\text{رابطه ۴ - ۴})$$

✓ مقدار Z از (رابطه ۴ - ۵) محاسبه می گردد:

$$Z = \frac{U - E(U)}{SD} \quad (\text{رابطه ۴ - ۵})$$

با توجه به جدول Z زمانی داده ها فاقد روند می باشند که Z محاسباتی بین ۱.۹۶ و -۱.۹۶ باشد.

۴-۱-۳- آزمون والد

یکی دیگر از آزمون های مورد استفاده برای بررسی استقلال داده ها آزمون والد (Wald) می باشد. به منظور استفاده از این روش از روابط زیر استفاده می گردد:

$$R = \sum X_i X_{i+1} + X_1 X_N \quad (\text{رابطه ۴ - ۶})$$

$$\bar{R} = \frac{S_1^r - S_r}{N - 1} \quad (\text{رابطه ۴ - ۷})$$

$$Var = \frac{S_1^r - S_r}{N - 1} - \bar{R}^r + \frac{S_1^r - 4S_1^r S_r + 4S_1 S_r - 2S_r}{(N - 1)(N - 2)} \quad (\text{رابطه ۴ - ۸})$$

که در این روابط S_r مطابق با رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$S_r = N m_r' \quad (\text{رابطه ۴ - ۹})$$

پارامتر m_r' مقدار گشتاور می باشد که مطابق با رابطه زیر بدست می آید:

$$m_r' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^r \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۰})$$

بعد از بدست آوردن پارامتر های تشریح شده در سطور فوق پارامتر U مطابق با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$U = \frac{R - \bar{R}}{Var} \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۱})$$

این آماره برای آزمون استقلال با مقایسه آماره u با متغیر نرمال استاندارد $U_{\alpha/2}$ در ارتباط با احتمال تجاوز $\alpha/2$ انجام می پذیرد. بعنوان مثال برای سطح اعتماد ۵ درصد مقدار Z برابر با ۱.۹۶ می باشد که در صورتی که آماره u از این مقدار کمتر باشد مورد پذیرش می باشد.

۴-۲- سایر پارامترها و آزمون های آماری

۴-۲-۱- آزمون داده‌های پرت

داده‌های پرت که می‌تواند در دو انتهای یک سری وجود داشته باشد داده‌هایی هستند که به وقوع پیوسته اما به نظر می‌رسد که شاید متعلق به یک الگو با شکل و اندازه و مقدار متفاوت باشند که برای تشخیص ماهیت این نوع از داده‌ها و پلسخ به این سوال که آیا این داده جزو داده‌های پرت حساب می‌شوند بایستی تست‌هایی انجام گیرد. *Bulletin ۱۷B* معیاری برای تشخیص داده‌های پرت در سطح اعتماد ۱۰ درصد ارائه کرده است. اگر چولگی بدست آمده برای ایستگاه هواشناسی یا دبی سنجی بالای ۰.۴ باشد تست مذکور برای داده‌های پرت بالا به کار برده می‌شود و اگر چولگی کمتر از ۰.۴ باشد تست برای تشخیص داده‌های پرت پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور از معادلات زیر استفاده می‌شود:

$$Q_L = \overline{Q_L} + K_N S_L \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۲})$$

$$Q_L = \overline{Q_L} - K_N S_L \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۳})$$

در روابط فوق Q_L لگاریتم داده‌های پرت بالا یا پایین، $\overline{Q_L}$ میانگین لگاریتم سری داده‌ها، S_L انحراف از استاندارد داده‌ها و K_N ضریبی است که با توجه به جدول ۴-۲ بدست می‌آید و به انحراف بحرانی شناخته می‌شود. برای بدست آوردن مقدار داده پرت از مقادیر Q_L بدست آمده آنتی لوگ (۱۰ به توان اعداد بدست آمده) می‌گیریم.

جدول ۴-۲- مقادیر ضریب K_N

Sample size	K	Sample size	K	Sample size	K	Sample size	K
	value		value		value		value
۱۰	۲.۰۳۶	۴۵	۲.۷۲۷	۸۰	۲.۹۴	۱۱۵	۳.۰۶۴
۱۱	۲.۰۸۸	۴۶	۲.۷۳۶	۸۱	۲.۹۴۵	۱۱۶	۳.۰۶۷
۱۲	۲.۱۳۴	۴۷	۲.۷۴۴	۸۲	۲.۹۴۹	۱۱۷	۳.۰۷
۱۳	۲.۱۶۵	۴۸	۲.۷۵۳	۸۳	۲.۹۵۳	۱۱۸	۳.۰۷۳
۱۴	۲.۲۱۳	۴۹	۲.۷۶	۸۴	۲.۹۵۷	۱۱۹	۳.۰۷۵
۱۵	۲.۲۴۷	۵۰	۲.۷۶۸	۸۵	۲.۹۶۱	۱۲۰	۳.۰۷۸
۱۶	۲.۲۷۹	۵۱	۲.۷۷۵	۸۶	۲.۹۶۶	۱۲۱	۳.۰۸۱
۱۷	۲.۳۰۹	۵۲	۲.۷۸۳	۸۷	۲.۹۷	۱۲۲	۳.۰۸۳
۱۸	۲.۳۳۵	۵۳	۲.۷۹	۸۸	۲.۹۷۳	۱۲۳	۳.۰۸۶

جدول ۴-۲- مقادیر ضریب K_N

Sample size	K	Sample size	K	Sample size	K	Sample size	K
۱۹	۲.۳۶۱	۵۴	۲.۷۹۸	۸۹	۲.۹۷۷	۱۲۴	۳.۰۸۹
۲۰	۲.۳۸۵	۵۵	۲.۸۰۴	۹۰	۲.۹۸۱	۱۲۵	۳.۰۹۲
۲۱	۲.۴۰۸	۵۶	۲.۸۱۱	۹۱	۲.۹۸۴	۱۲۶	۳.۰۹۵
۲۲	۲.۴۲۹	۵۷	۲.۸۱۸	۹۲	۲.۹۸۹	۱۲۷	۳.۰۹۷
۲۳	۲.۴۴۸	۵۸	۲.۸۲۴	۹۳	۲.۹۹۳	۱۲۸	۳.۱ ..
۲۴	۲.۴۶۷	۵۹	۲.۸۳۱	۹۴	۲.۹۹۶	۱۲۹	۳.۱۰۲
۲۵	۲.۴۸۷	۶۰	۲.۸۳۷	۹۵	۳	۱۳۰	۳.۱۰۴
۲۶	۲.۵۰۲	۶۱	۲.۸۴۲	۹۶	۳.۰۰۳	۱۳۱	۳.۱۰۷
۲۷	۲.۵۱	۶۲	۲.۸۴۹	۹۷	۳.۰۰۶	۱۳۲	۳.۱۰۹
۲۸	۲.۵۳۴	۶۳	۲.۸۵۴	۹۸	۳.۰۱۱	۱۳۳	۳.۱۱۲
۲۹	۲.۵۴۹	۶۴	۲.۸۶	۹۹	۳.۰۱۴	۱۳۴	۳.۱۱۴
۳۰	۲.۵۶۳	۶۵	۲.۸۶۶	۱۰۰	۳.۰۱۷	۱۳۵	۳.۱۱۶
۳۱	۲.۵۷۷	۷۶	۲.۸۷۱	۱۰۱	۳.۰۲۱	۱۳۶	۳.۱۱۹
۳۲	۲.۵۹۱	۶۷	۲.۸۷۷	۱۰۲	۳.۰۲۴	۱۳۷	۳.۱۲۲
۳۳	۲.۶۰۴	۶۸	۲.۸۸۳	۱۰۳	۳.۰۲۷	۱۳۸	۳.۱۲۴
۳۴	۲.۶۱۶	۶۹	۲.۸۸۸	۱۰۴	۳.۰۳	۱۳۹	۳.۱۲۶
۳۵	۲.۶۲۸	۷۰	۲.۸۹۳	۱۰۵	۳.۰۳۳	۱۴۰	۳.۱۲۹
۳۶	۲.۶۳۹	۷۱	۲.۸۹۷	۱۰۶	۳.۰۳۷	۱۴۱	۳.۱۳۱
۳۷	۲.۶۵	۷۲	۲.۹۰۳	۱۰۷	۳.۰۴	۱۴۲	۳.۱ ۳۳
۳۸	۲.۶۶۱	۷۳	۲.۹۰۸	۱۰۸	۳.۰۴۳	۱۴۳	۳.۱۳۵
۳۹	۲.۶۷۱	۷۴	۲.۹۱۲	۱۰۹	۳.۰۴۶	۱۴۴	۳.۱۳۸
۴۰	۲.۶۸۲	۷۵	۲.۹۱۷	۱۱۰	۳.۰۴۹	۱۴۵	۳.۱۴
۴۱	۲.۶۹۲	۷۶	۲.۹۲۲	۱۱۱	۳.۰۵۲	۱۴۶	۳.۱۴۲
۴۲	۲.۷	۷۷	۲.۹۲۷	۱۱۲	۳.۰۵۵	۱۴۷	۳.۱۴۴
۴۳	۲.۷۱	۷۸	۲.۹۳۱	۱۱۳	۳.۰۵۸	۱۴۸	۳.۱۴۶
۴۴	۲.۷۱	۷۹	۲.۹۳۵	۱۱۴	۳.۰۶۱	۱۴۹	۳.۱۴۸

یکی دیگر از روش های بدست آوردن داده های پرت استفاده از روشی است که با آن نمودار باکسی را رسم می کنند. بدین منظور ابتدا چارک اول و سوم سری داده ها محاسبه می شود (چارک اول و سوم اعدادی هستند که به ترتیب یک چهارم و سه چهارم داده ها از این اعداد کوچکترند). در ادامه پارامتر های زیر را که حد بالا و پایین سری داده ها حساب می شوند با استفاده از روابط زیر محاسبه می گردند:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۴})$$

$$Lim_{low} = Q_1 - 1.5IQR \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۵})$$

$$Lim_{up} = Q_3 + 1.5IQR \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۶})$$

در معادلات فوق Q_1 و Q_3 به ترتیب چارک اول و سوم و Lim_{low} و Lim_{up} به ترتیب حد بالا و پایین نمودار باکسی می باشد. اعداد بیشتر از حد بالا (Upper Extreme) و کمتر از حد پایین (Lower Extreme) داده پرت به حساب می آیند. روش دیگر برای تست و شناسایی داد های پرت آزمون دیکسون می باشد. فرض کنید مجموعه مقادیری به صورت $x_1, x_2, \dots, x_n$ در اختیار شما قرار گرفته است. البته این مقادیر از کوچک به بزرگ مرتب شده اند. به این ترتیب مشخص است که x_1 کوچکترین و x_n بزرگترین مقدار خواهد بود. آماره آزمون دیکسون براساس داده های مرتب شده به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Q = \frac{gap}{range} \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۷})$$

که در آن gap فاصله یا قدر مطلق تفاضل بین مقدار مشکوک (بزرگترین یا کوچکترین مقدار) با نزدیکترین مقدار به آن است. همچنین range نیز دامنه تغییرات یا همان فاصله یا تفاضل بین بزرگترین و کوچکترین مقدار را نشان می دهد. اگر مقدار آماره Q از مقدار صدک توزیع Q بزرگتر باشد، فرض صفر رد شده و باید نقطه کوچکترین (یا بزرگترین) را به عنوان نقطه پرت در نظر گرفت. همانطور که مشاهده می کنید، نسبت فاصله نقطه مشکوک با نزدیکترین نقطه به آن، مبنای محاسبه در آماره آزمون قرار گرفته است که با تقسیم بر دامنه تغییرات به شکلی بدون مقیاس شده و توزیع آن توسط «دین» و «دیکسون»، تعیین شده است. معمولاً مقدار صدک توزیع دیکسون را به صورت Q_{table} نشان می دهند که به حجم نمونه و سطح اطمینان (یا خطای نوع اول) مرتبط است. برای مشخص کردن این مقدار، جدول ۴-۳ در اختیار

کاربران قرار گرفته است که براساس آن فرض صفر رد یا تایید می شود. در این آزمون اگر مقدار Q بدست آمده کمتر از Q بحرانی باشد آنگاه فرض صفر تایید شده و آن داده جزء داده ی پرت محسوب می گردد.

جدول ۴-۳- مقادیر بحرانی دیکسون (برای آزمون مقادیر پرت)

N	$\alpha=0,001$	$\alpha=0,002$	$\alpha=0,005$	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,02$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,2$
۳	۰.۹۹۹	۰.۹۹۸	۰.۹۹۴	۰.۹۸۸	۰.۹۷۶	۰.۹۴۱	۰.۸۸۶	۰.۷۸۲
۴	۰.۹۶۴	۰.۹۴۹	۰.۹۲۱	۰.۸۸۹	۰.۸۴۷	۰.۷۶۶	۰.۶۷۹	۰.۵۶۱
۵	۰.۸۹۵	۰.۸۶۹	۰.۸۲۴	۰.۷۸۲	۰.۷۲۹	۰.۶۴۳	۰.۵۵۹	۰.۴۵۲
۶	۰.۸۲۲	۰.۷۹۲	۰.۷۴۴	۰.۶۹۸	۰.۶۴۶	۰.۵۶۳	۰.۴۸۴	۰.۳۸۷
۷	۰.۷۶۳	۰.۷۳۱	۰.۶۸۱	۰.۶۳۶	۰.۵۸۷	۰.۵۰۷	۰.۴۳۳	۰.۳۴۴
۸	۰.۷۱۶	۰.۶۸۲	۰.۶۳۳	۰.۵۹۱	۰.۵۴۲	۰.۴۶۷	۰.۳۹۸	۰.۳۱۴
۹	۰.۶۷۵	۰.۶۴۴	۰.۵۹۶	۰.۵۵۵	۰.۵۰۸	۰.۴۳۶	۰.۳۷	۰.۲۹۱
۱۰	۰.۶۴۷	۰.۶۱۴	۰.۵۶۸	۰.۵۲۷	۰.۴۸۲	۰.۴۱۲	۰.۳۴۹	۰.۲۷۴
۱۵	۰.۵۴۴	۰.۵۱۵	۰.۴۷۳	۰.۴۳۸	۰.۳۹۸	۰.۳۳۸	۰.۲۸۴	۰.۲۲
۲۰	۰.۴۹۱	۰.۴۶۴	۰.۴۲۶	۰.۳۹۳	۰.۳۵۶	۰.۳	۰.۲۵۱	۰.۱۹۳
۲۵	۰.۴۵۵	۰.۴۳	۰.۳۹۵	۰.۳۶۴	۰.۳۲۹	۰.۲۷۷	۰.۲۳	۰.۱۷۶
۳۰	۰.۴۳	۰.۴۰۷	۰.۳۷۱	۰.۳۴۲	۰.۳۱	۰.۲۶	۰.۲۱۶	۰.۱۶

لازم به ذکر است که عده ای از محققان درباره حذف داده های دبی های اوج سیلاب های تاریخی با آزمون داده های پرت هشدار داده و معتقدند نباید آزمون مذکور را در مورد دبی های اوج سیلاب های تاریخی به کار برد.

۴-۲-۲- عدم قطعیت

پارامتر ریسک که در بخش قبلی در مورد آن توضیح داده شد به صورت ذاتی در طبیعت حتی اگر تعریف صحیح و کاملی از مفاهیم توزیع احتمال ارائه شود، وجود دارد. در برخی از مواقع از این پارامتر برای بیان احتمالات در تخمین دبی پیک سیلاب با استفاده از داده هایی محدود استفاده می گردد. خطا و عدم دقت در داده های مورد استفاده نیز از عوامل افزایش عدم قطعیت و اعتماد پذیری می باشد. نتیجه ترکیب پارامتر های ریسک و عدم قطعیت، ریسک کل می باشد که با استفاده از محاسبه احتمال تجاوز و یا عدم تجاوز این پارامتر بدست می آید. با توجه به این توضیحات این سوال پیش می آید که تخمین ها چقدر خوب هستند و چقدر باید خوب باشند؟ پاسخ به این سوال ها به چندین پارامتر بستگی دارد. اعتماد به تخمین ها بستگی به طول دوره آماری و فرضیات توزیع احتمالاتی دارد. منابع دیگری که میتواند عدم اعتماد را کاهش

دهد خطاها ی موجود در داده ها می باشد. با فرض اینکه خطا در داده ها به روش هایی قابل حذف باشند پارامتر اعتماد پذیری بستگی به طول دوره آماری خواهد داشت. در جدول زیر این پارامتر در مقابل دوره بازگشت طراحی و طول دوره آماری تخمین زده شده است:

جدول ۴-۴- تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری و دوره بازگشت طراحی (۱۰ سال آمار)

FOR LENGTH OF RECORD= ۱۰ years				
			Percent Error Allowed	
Tr		۱۰٪	۲۵٪	۵۰٪
۱	Yrs	۴۷	۸۸	۹۹
۱	Yrs	۴۸	۸۶	۹۸
۱۰	Yrs	۴۶	۷۷	۹۷
۵۰	Yrs	۳۷	۷۰	۹۱
۱۰۰	Yrs	۳۵	۶۶	۹۰

جدول ۴-۵- تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری و دوره بازگشت طراحی (۲۵ سال آمار)

FOR LENGTH OF RECORD= ۲۵ years				
			Percent Error Allowed	
Tr		۱۰٪	۲۵٪	۵۰٪
۱	Yrs	۶۸	۹۹	۱۰۰
۱	Yrs	۶۰	۹۹	۹۹
۱۰	Yrs	۵۸	۹۵	۹۹
۲۵	Yrs	۵۰	۹۳	۹۹
۵۰	Yrs	۴۶	۹۱	۹۷

جدول ۴- ۵- تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری
و دوره بازگشت طراحی (۲۵ سال آمار)

FOR LENGTH OF RECORD= ۲۵ years				
			Percent Error Allowed	
۱۰۰	Yrs	۴۵	۸۹	۹۸

جدول ۴- ۶- تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری و
دوره بازگشت طراحی (۵۰ سال آمار)

FOR LENGTH OF RECORD= ۵۰ years				
			Percent Error Allowed	
Tr		۱۰٪	۲۵٪	۵۰٪
۱	Yrs	۸۷	۱۰۰	۱۰۰
۱	Yrs	۷۵	۱۰۰	۱۰۰
۱۰	Yrs	۶۸	۹۶	۱۰۰
۲۵	Yrs	۵۸	۹۲	۱۰۰
۵۰	Yrs	۵۴	۹۰	۱۰۰
۱۰۰	Yrs	۵۲	۹۰	۱۰۰

جدول ۴-۷ - تخمین پارامتر اعتماد پذیری برآورد ها با توجه به طول دوره آماری و دوره بازگشت طراحی (۱۰۰ سال آمار)

FOR LENGTH OF RECORD= ۱۰۰ years				
			Percent Error Allowed	
Tr		۱۰٪	۲۵٪	۵۰٪
۲	Yrs	۹۶	۱۰۰	۱۰۰
۵	Yrs	۹۱	۱۰۰	۱۰۰
۱۰	Yrs	۸۵	۱۰۰	۱۰۰
۲۵	Yrs	۷۹	۱۰۰	۱۰۰
۵۰	Yrs	۷۳	۹۹	۱۰۰
۱۰۰	Yrs	۶۴	۹۹	۱۰۰

۴-۲-۳- ریسک

اگر یک سازه کنترل و هدایت سیلاب برای ۵۰ سال (بعنوان مثال) طراحی شده باشد این سوال پیش می آید که خطر سیل با دوره بازگشت طراحی و در سال مثلاً دوم پس از احداث چقدر خواهد بود. افزایش دوره بازگشت باعث کاهش ریسک در طول عمر سازه خواهد شد. از طرف دیگر هر چه سازه مد نظر بیشتر در معرض رگبارهای طراحی قرار بگیرد مقدار ریسک در طول عمر سازه افزایش می یابد. این پارامتر را میتوان بوسیله رابطه زیر بیان نمود:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^m \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۸})$$

در این معادله:

R ریسک ناشی از دبی طراحی برای حداقل یکبار در طول عمر سازه

T_r دوره بازگشت طراحی

m مقدار ریسک در m سال بعد از ساخت

۴-۳- روند

به منظور بررسی وجود یا عدم وجود روند در داده های آماری از دو آزمون Mann-Kendal (MK) و نقاط عطف استفاده می گردد. که در ادامه به تشریح آن پرداخته می شود.

۴-۳-۱- Mann-Kendal (MK)

چنانچه سری زمانی به صورت تصادفی نباشد آنگاه می گویند داده ها دارای روند می باشد. یکی از روش های بسیار پر کاربرد در مطالعات، استفاده از روش Mann-Kendal (MK) می باشد. این روش یک آزمون غیر پارامتری می باشد که برای تشخیص روند در سری های زمانی داده های هیدرولوژیکی کاربرد بسیار دارد. آزمون آماری MK توسط (رابطه ۴ - ۱۹) تعریف می گردد:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(X_k - X_i) \quad (\text{رابطه ۴ - ۱۹})$$

در رابطه فوق X_k ، X_i ، i امین مشاهده، k امین مشاهده، n تعداد مشاهدات و $\text{sgn}(\theta) = \text{sign}(\text{sgn})$ که از (رابطه ۴ - ۲۰) تبعیت می نماید:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۰})$$

با فرض اینکه سری هایی با اندازه نمونه $n \geq 8$ از آزمون آماری S تبعیت می کنند پس اگر H_0 معتبر باشد و S به طور تقریبی به صورت نرمال توزیع شده باشد آنگاه برای واریانس S مطابق با (رابطه ۴ - ۲۱) خواهیم داشت:

$$\text{Var}(s) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^P t_i(t_i-1)(2t_i+5)]}{18} \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۱})$$

P نشان دهنده تعداد $tied\ group$ ها یا گره ها هستند. $tied\ group$ به گروه هایی اطلاق می شوند که اعضای آن مقادیر یکسانی دارند (تعداد سری هایی که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد). t_i تعداد اعضای i امین $tied\ group$ (گره) می باشد. بعد از محاسبه $\text{Var}(s)$ از سری داده ها، پارامتر Z_c استاندارد شده با استفاده از (رابطه ۴ - ۲۲) بدست می آید:

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & S > 1 \\ 0 & S = 1 \\ \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & S < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۲})$$

استاندارد شده Z_c از توزیع نرمال (Z) با واریانس یک و میانگین صفر پیروی می کند.

فرض صفر (H_0) این مفهوم را می رساند که مشاهدات رواناب رودخانه دارای روند نمی باشد. در حالی که فرض جایگزین (H_1) فرض میکند سری داده های رواناب دارای روند می باشد بنابراین تحت این دو فرض جانبی روند داده ها تحت سطح معناداری α تست می شوند. اگر $|Z| < 2.58$ باشد روند در سطح احتمالی ۹۹ درصد وجود دارد. اگر $|Z| < 1.96$ باشد در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد داده ها دارای روند می باشد. اگر $|Z| < |Z_{\alpha/2}|$ باشد، سپس فرض H_0 قبول و فرض H_1 رد می گردد و به این صورت داده ها دارای روند نمی باشند. مقدار منفی Z_c نشاندهنده روند نزولی و Z_c مثبت نشاندهنده روند صعودی می باشد.

۴-۳-۲- آزمون نقاط عطف

به منظور بررسی روند با استفاده از این روش به ترتیب زیر عمل می نماییم:

الف- کلیه داده ها را به ترتیب زمان وقوع مرتب می کنیم.

ب- تعداد نقاط عطف را در سری داده ها بدست آورید. نقطه عطف به حالتی گفته می شود که هر عدد هم از عدد ماقبل و هم از ما بعد خود بزرگتر باشد یا هر عدد از عدد قبل و بعد خود کوچکتر باشد.

ج- فرض کنید تعداد نقاط عطف P باشد.

د- تعداد نقاط عطف مورد انتظار $E(P)$ را از (رابطه ۴ - ۲۳) بدست آورید:

$$E(P) = \frac{2(N - 2)}{3} \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۳})$$

ه- واریانس P را از (رابطه ۴ - ۲۴) بدست آورید:

$$V(P) = \frac{16N - 29}{90} \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۴})$$

و- مقدار Z را از (رابطه ۴ - ۲۵) محاسبه کنید. Z توصیف کننده P بر حسب استاندارد نرمال است.

$$Z = \frac{|P - E(P)|}{\sqrt{V(P)}} \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۵})$$

مقدار Z را در سطح معنی دار ۵ درصد آزمایش کنید. چنانچه Z کوچکتر از ۱.۹۶ و بزرگتر از ۱.۹۶- باشد خواهیم گفت داده ها تصادفی و فاقد روند می باشند.

۴-۴- آزمون های نکوئی برازش

به منظور انتخاب توزیع آماری مناسب و برآورد بارندگی و یا دبی سیلاب با یک دوره بازگشت مشخص نیاز است که از یک توزیع آماری مناسب استفاده شود و برای این انتخاب از آزمون های آماری استفاده می گردد. همچنین میتوان این انتخاب را به صورت گرافیکی انجام داد. از آزمون های پر استفاده در آنالیز های هیدرولوژی آزمون کا اسکوئر و کلوموگراف اسمیرنوف می باشد که در ادامه به تشریح آن ها پرداخته می شود.

۴-۴-۱- کا اسکوئر

در این آزمون ابتدا داده ها به K دسته تقسیم می شوند. مقدار کا اسکوئر (χ^2) مطابق با (رابطه ۴ - ۲۶) می باشد:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۶})$$

در این معادله O_j تعداد رویداد های مشاهده شده و E_j تعداد رویداد های تخمین زده شده با یکی از توزیع های آماری در کلاس j می باشد. اگر فاصله کلاس ها با یکدیگر برابر در نظر گرفته شود (رابطه ۴ - ۲۶) به صورت زیر ساده خواهد شد:

$$\chi^2 = \frac{K}{n} \sum_{j=1}^k \frac{O_j^2}{n} - n \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۷})$$

به منظور پذیرش یا عدم پذیرش توزیع آماری مقدار χ^2 بدست آمده از روابط بالا با χ^2 جدول کا اسکوئر جدول ۴-۸ مقایسه می شود اگر مقدار تخمین زده شده از (رابطه ۴ - ۲۷)، کوچکتر از مقدار بدست آمده از جدول بود آنگاه توزیع مورد قبول است. در این جدول df درجه آزادی می باشد که برابر با تعداد داده ها منهای یک است.

جدول ۴- ۸- مقادیر جدول χ^2

χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	df
۰.۰۰۵	۰.۰۱	۰.۰۲۵	۰.۰۵	۰.۱	۰.۹	۰.۹۵	۰.۹۷۵	۰.۹۹	۰.۹۹۵	
۷.۸۷۹	۶.۶۳۵	۵.۰۲۴	۳.۸۴۱	۲.۷۰۶	۰.۰۱۶	۰.۰۰۴	۰.۰۰۱	۰	۰	۱
۱۰.۵۹۷	۹.۲۱	۷.۳۷۸	۵.۹۹۱	۴.۶۰۵	۰.۰۲۱۱	۰.۰۱۳	۰.۰۵۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۲
۱۲.۸۳۸	۱۱.۳۴۵	۹.۳۴۸	۷.۸۱۵	۶.۲۵۱	۰.۰۵۸۴	۰.۰۳۵۲	۰.۰۲۱۶	۰.۰۱۱۵	۰.۰۰۷۲	۳
۱۴.۸۶	۱۳.۲۷۷	۱۱.۱۴۳	۹.۴۸۸	۷.۷۷۹	۰.۰۶۴	۰.۰۷۱۱	۰.۰۴۸۴	۰.۰۲۹۷	۰.۰۲۰۷	۴
۱۶.۷۵	۱۵.۰۸۶	۱۲.۸۳۳	۱۱.۰۷	۹.۲۳۶	۰.۱۶۱	۰.۱۱۴۵	۰.۰۸۳۱	۰.۰۵۵۴	۰.۰۴۱۲	۵
۱۸.۵۴۸	۱۶.۸۱۲	۱۴.۴۴۹	۱۲.۵۹۲	۱۰.۶۴۵	۰.۲۰۴	۰.۱۶۳۵	۰.۱۲۳۷	۰.۰۸۷۲	۰.۰۶۷۶	۶
۲۰.۲۷۸	۱۸.۴۷۵	۱۶.۰۱۳	۱۴.۰۶۷	۱۲.۰۱۷	۰.۲۸۳۳	۰.۲۱۶۷	۰.۱۶۹	۰.۱۲۳۹	۰.۰۹۸۹	۷
۲۱.۹۵۵	۲۰.۰۰۹	۱۷.۵۳۵	۱۵.۵۰۷	۱۳.۳۶۲	۰.۳۴۹	۰.۲۷۳۳	۰.۲۱۸	۰.۱۶۴۶	۰.۱۳۴۴	۸
۲۳.۵۸۹	۲۱.۶۶۶	۱۹.۰۲۳	۱۶.۹۱۹	۱۴.۶۸۴	۰.۴۱۶۸	۰.۳۳۲۵	۰.۲۷	۰.۲۰۸۸	۰.۱۷۳۵	۹
۲۵.۱۸۸	۲۳.۲۰۹	۲۰.۴۸۳	۱۸.۳۰۷	۱۵.۹۸۷	۰.۴۸۶۵	۰.۳۹۴	۰.۳۲۴۷	۰.۲۵۵۸	۰.۲۱۵۶	۱۰
۲۶.۷۵۷	۲۴.۷۲۵	۲۱.۹۲	۱۹.۶۷۵	۱۷.۲۷۵	۰.۵۵۷۸	۰.۴۵۷۵	۰.۳۸۱۶	۰.۳۰۵۳	۰.۲۶۰۳	۱۱
۲۸.۳	۲۶.۲۱۷	۲۳.۳۳۷	۲۱.۰۲۶	۱۸.۵۴۹	۰.۶۳۰۴	۰.۵۲۲۶	۰.۴۴۰۴	۰.۳۵۷۱	۰.۳۰۷۴	۱۲
۲۹.۸۱۹	۲۷.۶۸۸	۲۴.۷۳۶	۲۲.۳۶۲	۱۹.۸۱۲	۰.۷۰۴۲	۰.۵۸۹۲	۰.۵۰۰۹	۰.۴۱۰۷	۰.۳۵۶۵	۱۳
۳۱.۳۱۹	۲۹.۱۴۱	۲۶.۱۱۹	۲۳.۶۸۵	۲۱.۰۶۴	۰.۷۷۹	۰.۶۵۷۱	۰.۵۶۲۹	۰.۴۶۶	۰.۴۰۷۵	۱۴
۳۲.۸۰۱	۳۰.۵۷۸	۲۷.۴۸۸	۲۴.۹۹۶	۲۲.۳۰۷	۰.۸۵۴۷	۰.۷۲۶۱	۰.۶۲۶۲	۰.۵۲۲۹	۰.۴۶۰۱	۱۵
۳۴.۲۶۷	۳۲	۲۸.۸۴۵	۲۶.۲۹۶	۲۳.۵۴۲	۰.۹۳۱۲	۰.۷۹۶۲	۰.۶۹۰۸	۰.۵۸۱۲	۰.۵۱۴۲	۱۶
۳۵.۷۱۸	۳۳.۴۰۹	۳۰.۱۹۱	۲۷.۵۸۷	۲۴.۷۶۹	۱.۰۰۸۵	۰.۸۶۷۲	۰.۷۵۶۴	۰.۶۴۰۸	۰.۵۶۹۷	۱۷
۳۷.۱۵۶	۳۴.۸۰۵	۳۱.۵۲۶	۲۸.۸۶۹	۲۵.۹۸۹	۱.۰۸۶۵	۰.۹۳۹	۰.۸۲۳۱	۰.۷۰۱۵	۰.۶۲۶۵	۱۸
۳۸.۵۸۲	۳۶.۱۹۱	۳۲.۸۵۲	۳۰.۱۴۴	۲۷.۲۰۴	۱.۱۶۵۱	۱.۰۱۱۷	۰.۸۹۰۷	۰.۷۶۳۳	۰.۶۸۴۴	۱۹
۳۹.۹۹۷	۳۷.۵۶۶	۳۴.۱۷	۳۱.۴۱	۲۸.۴۱۲	۱.۲۴۴۳	۱.۰۸۵۱	۰.۹۵۹۱	۰.۸۲۶	۰.۷۴۳۴	۲۰
۴۱.۴۰۱	۳۸.۹۳۲	۳۵.۴۷۹	۳۲.۶۷۱	۲۹.۶۱۵	۱.۳۲۴	۱.۱۵۹۱	۱.۰۲۸۳	۰.۸۸۹۷	۰.۸۰۳۴	۲۱
۴۲.۷۹۶	۴۰.۲۸۹	۳۶.۷۸۱	۳۳.۹۲۴	۳۰.۸۱۳	۱.۴۰۴۱	۱.۲۳۳۸	۱.۰۹۸۲	۰.۹۵۴۲	۰.۸۶۴۳	۲۲
۴۴.۱۸۱	۴۱.۶۳۸	۳۸.۰۷۶	۳۵.۱۷۲	۳۲.۰۰۷	۱.۴۸۴۸	۱.۳۰۹۱	۱.۱۶۸۹	۱.۰۱۹۶	۰.۹۲۶	۲۳
۴۵.۵۵۹	۴۲.۹۸	۳۹.۳۶۴	۳۶.۴۱۵	۳۳.۱۹۶	۱.۵۶۵۹	۱.۳۸۴۸	۱.۲۴۰۱	۱.۰۸۵۶	۰.۹۸۸۶	۲۴
۴۶.۹۲۸	۴۴.۳۱۴	۴۰.۶۴۶	۳۷.۶۵۲	۳۴.۳۸۲	۱.۶۴۷۳	۱.۴۶۱۱	۱.۳۱۲	۱.۱۵۲۴	۱.۰۵۲	۲۵
۴۸.۲۹	۴۵.۶۴۲	۴۱.۹۲۳	۳۸.۸۸۵	۳۵.۵۶۳	۱.۷۲۹۲	۱.۵۳۷۹	۱.۳۸۴۴	۱.۲۱۹۸	۱.۱۱۶	۲۶
۴۹.۶۴۵	۴۶.۹۶۳	۴۳.۱۹۵	۴۰.۱۱۳	۳۶.۷۴۱	۱.۸۱۱۴	۱.۶۱۵۱	۱.۴۵۷۳	۱.۲۸۷۹	۱.۱۸۰۸	۲۷
۵۰.۹۹۳	۴۸.۲۷۸	۴۴.۴۶۱	۴۱.۳۳۷	۳۷.۹۱۶	۱.۸۹۳۹	۱.۶۹۲۸	۱.۵۳۰۸	۱.۳۵۶۵	۱.۲۴۶۱	۲۸
۵۲.۳۳۶	۴۹.۵۸۸	۴۵.۷۲۲	۴۲.۵۵۷	۳۹.۰۸۷	۱.۹۷۶۸	۱.۷۷۰۸	۱.۶۰۴۷	۱.۴۲۵۶	۱.۳۱۲۱	۲۹
۵۳.۶۷۲	۵۰.۸۹۲	۴۶.۹۷۹	۴۳.۷۷۳	۴۰.۲۵۶	۲.۰۵۹۹	۱.۸۴۹۳	۱.۶۷۹۱	۱.۴۹۵۳	۱.۳۷۸۷	۳۰
۵۵.۰۰۰	۵۲.۲۰۰	۴۸.۲۹۲	۴۵.۰۰۰	۴۲.۰۰۰	۲.۱۴۰۰	۱.۹۳۰۰	۱.۷۵۰۰	۱.۵۷۰۰	۱.۴۵۰۰	۳۱
۵۶.۳۰۰	۵۳.۵۰۰	۴۹.۶۰۰	۴۶.۵۰۰	۴۳.۵۰۰	۲.۲۲۰۰	۲.۰۱۰۰	۱.۸۳۰۰	۱.۶۵۰۰	۱.۵۵۰۰	۳۲
۵۷.۶۰۰	۵۴.۸۰۰	۵۰.۹۰۰	۴۸.۰۰۰	۴۵.۰۰۰	۲.۳۰۰۰	۲.۰۹۰۰	۱.۹۱۰۰	۱.۷۳۰۰	۱.۶۳۰۰	۳۳
۵۸.۹۰۰	۵۶.۱۰۰	۵۲.۲۰۰	۴۹.۵۰۰	۴۶.۵۰۰	۲.۳۸۰۰	۲.۱۷۰۰	۱.۹۹۰۰	۱.۸۱۰۰	۱.۷۱۰۰	۳۴
۶۰.۲۰۰	۵۷.۴۰۰	۵۳.۵۰۰	۵۰.۸۰۰	۴۸.۰۰۰	۲.۴۶۰۰	۲.۲۵۰۰	۲.۰۷۰۰	۱.۸۹۰۰	۱.۷۹۰۰	۳۵
۶۱.۵۰۰	۵۸.۷۰۰	۵۴.۸۰۰	۵۱.۱۰۰	۴۹.۵۰۰	۲.۵۴۰۰	۲.۳۳۰۰	۲.۱۵۰۰	۱.۹۷۰۰	۱.۸۷۰۰	۳۶
۶۲.۸۰۰	۶۰.۰۰۰	۵۶.۱۰۰	۵۲.۴۰۰	۵۰.۸۰۰	۲.۶۲۰۰	۲.۴۱۰۰	۲.۲۳۰۰	۲.۰۵۰۰	۱.۹۵۰۰	۳۷
۶۴.۱۰۰	۶۱.۳۰۰	۵۷.۴۰۰	۵۳.۷۰۰	۵۱.۱۰۰	۲.۷۰۰۰	۲.۴۹۰۰	۲.۳۱۰۰	۲.۱۳۰۰	۲.۰۳۰۰	۳۸
۶۵.۴۰۰	۶۲.۶۰۰	۵۸.۷۰۰	۵۴.۰۰۰	۵۲.۴۰۰	۲.۷۸۰۰	۲.۵۷۰۰	۲.۳۹۰۰	۲.۲۱۰۰	۲.۱۱۰۰	۳۹
۶۶.۷۰۰	۶۳.۹۰۰	۵۹.۰۰۰	۵۳.۷۰۰	۵۳.۰۰۰	۲.۸۶۰۰	۲.۶۵۰۰	۲.۴۷۰۰	۲.۲۹۰۰	۲.۱۹۰۰	۴۰
۶۸.۰۰۰	۶۵.۲۰۰	۶۰.۳۰۰	۵۵.۰۰۰	۵۴.۳۰۰	۲.۹۴۰۰	۲.۷۳۰۰	۲.۵۵۰۰	۲.۳۷۰۰	۲.۲۷۰۰	۴۱
۶۹.۳۰۰	۶۶.۵۰۰	۶۱.۶۰۰	۵۶.۳۰۰	۵۵.۶۰۰	۳.۰۲۰۰	۲.۸۱۰۰	۲.۶۳۰۰	۲.۴۵۰۰	۲.۳۵۰۰	۴۲
۷۰.۶۰۰	۶۷.۸۰۰	۶۲.۹۰۰	۵۷.۶۰۰	۵۶.۹۰۰	۳.۱۰۰۰	۲.۸۹۰۰	۲.۷۱۰۰	۲.۵۳۰۰	۲.۴۳۰۰	۴۳
۷۱.۹۰۰	۶۹.۱۰۰	۶۴.۲۰۰	۵۸.۹۰۰	۵۸.۲۰۰	۳.۱۸۰۰	۲.۹۷۰۰	۲.۷۹۰۰	۲.۶۱۰۰	۲.۵۱۰۰	۴۴
۷۳.۲۰۰	۷۰.۴۰۰	۶۵.۵۰۰	۶۰.۲۰۰	۶۰.۵۰۰	۳.۲۶۰۰	۳.۰۵۰۰	۲.۸۷۰۰	۲.۶۹۰۰	۲.۵۹۰۰	۴۵
۷۴.۵۰۰	۷۱.۷۰۰	۶۶.۸۰۰	۶۱.۵۰۰	۶۱.۸۰۰	۳.۳۴۰۰	۳.۱۳۰۰	۲.۹۵۰۰	۲.۷۷۰۰	۲.۶۷۰۰	۴۶
۷۵.۸۰۰	۷۳.۰۰۰	۶۸.۱۰۰	۶۲.۸۰۰	۶۲.۸۰۰	۳.۴۲۰۰	۳.۲۱۰۰	۳.۰۳۰۰	۲.۸۵۰۰	۲.۷۵۰۰	۴۷
۷۷.۱۰۰	۷۴.۳۰۰	۶۹.۴۰۰	۶۳.۱۰۰	۶۳.۱۰۰	۳.۵۰۰۰	۳.۲۹۰۰	۳.۱۱۰۰	۲.۹۳۰۰	۲.۸۳۰۰	۴۸
۷۸.۴۰۰	۷۵.۶۰۰	۷۰.۷۰۰	۶۴.۴۰۰	۶۴.۴۰۰	۳.۵۸۰۰	۳.۳۷۰۰	۳.۱۹۰۰	۳.۰۱۰۰	۲.۹۱۰۰	۴۹
۷۹.۷۰۰	۷۶.۹۰۰	۷۲.۰۰۰	۶۵.۷۰۰	۶۵.۷۰۰	۳.۶۶۰۰	۳.۴۵۰۰	۳.۲۷۰۰	۳.۰۹۰۰	۳.۰۰۰۰	۵۰

جدول ۴- ۸- مقادیر جدول χ^2

χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	χ^2	df
۰.۰۰۵	۰.۰۱	۰.۰۲۵	۰.۰۵	۰.۱	۰.۹	۰.۹۵	۰.۹۷۵	۰.۹۹	۰.۹۹۵	
۹۱.۹۵۲	۸۸.۳۷۹	۸۳.۲۹۸	۷۹.۰۸۲	۷۴.۳۹۷	۴۶.۴۵۹	۴۳.۱۸۸	۴۰.۴۸۲	۳۷.۴۸۵	۳۵.۵۳۴	۶۰
۱۰۴.۲۱۵	۱۰۰.۴۲۵	۹۵.۰۲۳	۹۰.۵۳۱	۸۵.۵۲۷	۵۵.۳۲۹	۵۱.۷۳۹	۴۸.۷۵۸	۴۵.۴۴۲	۴۳.۲۷۵	۷۰
۱۱۶.۳۲۱	۱۱۲.۳۲۹	۱۰۶.۶۲۹	۱۰۱.۸۷۹	۹۶.۵۷۸	۶۴.۲۷۸	۶۰.۳۹۱	۵۷.۱۵۳	۵۳.۵۴	۵۱.۱۷۲	۸۰
۱۲۸.۲۹۹	۱۲۴.۱۱۶	۱۱۸.۱۳۶	۱۱۳.۱۴۵	۱۰۷.۵۶۵	۷۳.۲۹۱	۶۹.۱۲۶	۶۵.۶۴۷	۶۱.۷۵۴	۵۹.۱۹۶	۹۰
۱۴۰.۱۶۹	۱۳۵.۸۰۷	۱۲۹.۵۶۱	۱۲۴.۳۴۲	۱۱۸.۴۹۸	۸۲.۳۵۸	۷۷.۹۲۹	۷۴.۲۲۲	۷۰.۰۶۵	۶۷.۳۲۸	۱۰۰

۴-۴-۲- آزمون کلموگراف اسمیرنوف

این روش از اختلاف تابع توزیع نمونه $F_N(x)$ از تابع توزیع فرضی پیوسته $F(x)$ استفاده می نماید. مشخصه آزمون D با استفاده از (رابطه ۴ - ۲۸) بدست می آید:

$$D_N = \max |F_N(x) - F(x)| \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۸})$$

مقادیر $F_N(x)$ با استفاده از رابطه $\frac{N_j}{N}$ که در آن N تعداد کل نمونه ها و N_j تعداد تجمعی نمونه اتفاق افتاده در کلاس j م است بدست می آید. $F(x)$ برابر است با $\frac{1}{K}$ ، $\frac{2}{K}$ و ... که K برابر با تعداد کلاس ها می باشد. مقدار K میتواند با استفاده از (رابطه ۴ - ۲۹) بدست آید:

$$K = [1 + 3.33 \log(N)] \quad (\text{رابطه ۴ - ۲۹})$$

که در این رابطه N تعداد کل نمونه ها می باشد. الگوریتم حل به شکل زیر می باشد:

✓ تعداد کلاس ها مشخص میگردند.

✓ با استفاده از شماره ردیف هر کلاس احتمال هر دسته را محاسبه می نماییم ($F(x)$)

✓ در قدم بعدی با استفاده از توابع توزیع احتمال محدوده دسته ها را با کمک اعداد بدست آمده از گام دوم برآورد می نماییم.

✓ در این مرحله تعداد داده هایی که در هر دسته قرار می گیرند شمارش کرده و مقدار $\frac{N_j}{N}$ برای هر دسته محاسبه می شود.

✓ در ادامه داده های بدست آمده را به صورت تجمعی برای هر دسته محاسبه می کنیم به طوری که عدد بدست آمده در این ستون برای هر دسته برابر با تعداد داده های هر دسته به اضافه داده های دسته های ماقبل خود است.

- ✓ اعداد بدست آمده در مرحله ۵ را بر کل داده ها تقسیم می کنیم $(F_N(x))$.
- ✓ در مرحله آخر مقدار $|F_N(x) - F(x)|$ برای هر دسته محاسبه می نماییم.
- ✓ بیشترین مقدار بدست آمده در مرحله ۵ را از میان دسته ها استخراج می کنیم.
- ✓ این مقدار را با مقدار D بحرانی بدست آمده از جدول ۴-۹ مقایسه و اگر کمتر بود آن توزیع مورد پذیرش قرار می گیرد.

جدول ۴-۹ - مقادیر D بحرانی روش کلموگراف اسمیرنوف

سطح اعتماد ۱ درصد	سطح اعتماد ۵ درصد	سطح اعتماد ۱۰ درصد	سطح اعتماد ۱۵ درصد	تعداد نمونه
۰/۴۱۷	۰/۳۸۱	۰/۳۵۲	۰/۳۱۹	۴
۰/۴۰۵	۰/۳۳۷	۰/۳۱۵	۰/۲۹۹	۵
۰/۳۶۴	۰/۳۱۹	۰/۲۹۴	۰/۲۷۷	۶
۰/۳۴۸	۰/۳	۰/۲۷۶	۰/۲۵۸	۷
۰/۳۳۱	۰/۲۵۸	۰/۲۶۱	۰/۲۴۴	۸
۰/۳۱۱	۰/۲۷۱	۰/۲۴۹	۰/۲۳۳	۹
۰/۲۹۴	۰/۲۵۸	۰/۲۳۹	۰/۲۲۴	۱۰
۰/۲۸۴	۰/۲۴۹	۰/۲۳۰	۰/۲۱۷	۱۱
۰/۲۷۵	۰/۲۴۲	۰/۲۲۳	۰/۲۱۲	۱۲
۰/۲۶۸	۰/۲۳۴	۰/۲۱۴	۰/۲۰۲	۱۳
۰/۲۶۱	۰/۲۲۷	۰/۲۰۷	۰/۱۹۴	۱۴
۰/۲۵۷	۰/۲۲۰	۰/۲۰۱	۰/۱۸۷	۱۵
۰/۲۵۰	۰/۲۱۳	۰/۱۹۵	۰/۱۸۲	۱۶
۰/۲۴۵	۰/۲۰۶	۰/۱۸۹	۰/۱۷۷	۱۷
۰/۲۳۹	۰/۲۰۰	۰/۱۸۴	۰/۱۷۳	۱۸
۰/۲۳۵	۰/۱۹۵	۰/۱۷۹	۰/۱۶۹	۱۹
۰/۲۳۱	۰/۱۹۰	۰/۱۷۴	۰/۱۶۶	۲۰
۰/۲۰۳	۰/۱۸۰	۰/۱۶۵	۰/۱۵۳	۲۵
۰/۱۸۷	۰/۱۶۱	۰/۱۴۴	۰/۱۳۶	۳۰
۱/۰۳۱ / $N^{۰.۵}$	۰/۸۸۶ / $N^{۰.۵}$	۰/۸۰۵ / $N^{۰.۵}$	۰/۷۶۸ / $N^{۰.۵}$	بالتر از ۳۰

به منظور انتخاب توزیع آماری به روش دیداری و گرافیکی نیز میتوان عمل نمود. در این روش پس از ترسیم داده ها بر روی کاغذهای مخصوص هر توزیع اگر بتوان یک خط مستقیم از میان داده ها عبور داد نشان از آن دارد که داده ها با توزیع مورد نظر برازش دارند.

فصل پنجم

بازسازی داده‌های هواشناسی و

هیدرولوژیکی

۵- فصل پنجم: بازسازی داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی

۵-۱- مقدمه

تکنیک های درون یابی به طور گسترده برای بازسازی و پر کردن داده های از دست رفته سری های روزانه، با استفاده از داده های ایستگاه مجاور به کار گرفته می شود. Kohler و Dauhus دو روش درون یابی نسبت نرمال و متوسط را به منظور پر کردن مقادیر مفقودی سری های روزانه و ماهانه گسترش دادند. همچنین روش هایی با استفاده از ترم فاصله ایستگاه مبدا (مجهول) تا ایستگاه های اطراف، برای محاسبه مقدار از دست رفته یک سری زمانی ارائه شده است. در برخی از روابط به جای استفاده از پارامتر فاصله از ضریب همبستگی استفاده گردیده است. یکی دیگر از روش های مورد استفاده برای بازسازی داده های از دست رفته رگرسیون می باشد که داده های اقلیمی، تراز ارتفاعی، توپوگرافی را در بدست آوردن روابط، مورد استفاده قرار می دهد. با استفاده از شبکه های عصبی نیز میتوان مقادیر مفقودی را محاسبه نمود. در ادامه برخی از روش های پر استفاده و معتبر در زمینه بازسازی داده ها ارائه می گردد که روش مورد استفاده بایستی با توجه به شرایط ایستگاه های اندازه گیری پارامتر هیدرولوژیکی نسبت به هم و با توجه به وضعیت داده ها، انتخاب گردد.

۵-۲- روش میانگین گیری ساده

این روش مطابق با (رابطه ۵ - ۱) زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که بارندگی سالیانه ایستگاه های اطراف در حدود ۱۰ درصد و کمتر با بارندگی سالیانه ایستگاه مجهول اختلاف داشته باشد. این فرض باعث می گردد که وزن همه ی ایستگاه ها یکسان در نظر گرفته شود.

$$P_x = \frac{1}{m} [P_1 + P_2 + \dots + P_m] \quad (\text{رابطه ۵ - ۱})$$

در این رابطه P_x ، مقدار تخمینی از داده از دست رفته، P مقدار داده هیدرولوژیکی معلوم در i امین ایستگاه و m تعداد ایستگاه ها می باشد. این روش برای مناطقی مناسب است که باران سنج ها به طور یکنواخت در سطح توزیع شده باشند.

۵-۳- روش نسبت نرمال

این روش زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که میزان بارندگی سالیانه ایستگاه های اطراف بیش از ۱.۱ برابر بارندگی سالیانه ایستگاه مبدا باشد. در این روش به ایستگاه ها وزن اختصاص داده می شود. این وزن ها تحت تاثیر میزان بارندگی سالیانه ایستگاه ها می باشند. داده مفقود شده با استفاده از (رابطه ۵ - ۲) بدست می آید:

$$P_x = \frac{N_x}{m} \left[\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \dots + \frac{P_N}{N_m} \right] \quad (\text{رابطه ۵ - ۲})$$

در این رابطه:

P_x مقدار بارندگی ایستگاه مجهول

N_x بارندگی سالانه نرمال ایستگاه مجهول

N_i میزان بارندگی سالانه نرمال ایستگاه های اطراف

P_i میزان بارندگی i امین ایستگاه های اطراف

۵-۴- روش نرمال تصحیح شده

در این روش با استفاده از دخالت دادن پارامتر فاصله ایستگاه های اطراف از ایستگاه مبدا (مجهول)، مقدار داده مفقودی با استفاده از (رابطه ۵ - ۳) بدست می آید. این کار بوسیله Young در سال ۱۹۹۲ انجام شده است. این روش زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که بارندگی سالیانه نرمال ایستگاه های اطراف بیش از ۱۰ درصد با بارندگی سالیانه نرمال ایستگاه مجهول اختلاف داشته باشد. این وزن ها از هر ایستگاه تاثیر می پذیرد. داده های تخمین زده شده شامل یک ترکیبی از پارامتر ها با وزن های مختلف هستند.

$$V_i = \frac{\sum_{i=1}^n W_i V_i}{W_i} \quad (\text{رابطه ۵ - ۳})$$

در این رابطه:

V_i مقدار تخمین زده شده داده هیدرولوژیکی مفقودی

V_i مقادیر داده هیدرولوژیکی در ایستگاه های معلوم

W_i وزن متعلق به هر ایستگاه که از (رابطه ۵ - ۴) بدست می آید:

$$W_i = R_i^2 \left(\frac{N_i - 2}{1 - R_i^2} \right) \quad (\text{رابطه ۵ - ۴})$$

که در این رابطه:

R_i در این رابطه ضریب همبستگی بین ایستگاه مجهول و i امین ایستگاه می باشد.
 N_i تعداد نقاط و ایستگاه های به کار گرفته شده برای استخراج ضریب همبستگی است.

۵-۵- روش معکوس فاصله

در این روش وزن ها برای هر نمونه، متناسب با فاصله از مقدار مجهول می باشد. این روش نسبت به سایر روش ها دارای دقت بیشتری بوده و لذا توصیه می گردد تا از این روش برای تخمین مقدار مجهول استفاده شود. روش فاصله معکوس (IDWM) با استفاده از (رابطه ۵ - ۵) مقدار پارامتر هیدرولوژیکی در نقطه مجهول بدست می آید:

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i d_{mi}^{-\gamma}}{\sum_{i=1}^n d_{mi}^{-\gamma}} \quad (\text{رابطه ۵ - ۵})$$

X_m مقدار داده هیدرولوژیکی در ایستگاه مجهول

X_i مقدار داده هیدرولوژیکی در ایستگاه i ام

d_{mi} فاصله ایستگاه i ام از ایستگاه با داده مجهول

۵-۶- روش وزنی ضریب همبستگی

این روش همان روش فاصله معکوس (IDWM) است با این تفاوت که به جای استفاده از ترم فاصله از ضریب همبستگی مطابق با (رابطه ۵ - ۶) استفاده شده است:

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i R_{mi}^{-\gamma}}{\sum_{i=1}^n R_{mi}^{-\gamma}} \quad (\text{رابطه ۵ - ۶})$$

که در آن R_{mi} ضریب همبستگی می باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

$$R_{mi} = \frac{Cov(X_x, X_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (\text{رابطه ۵ - ۷})$$

که در آن $Cov(X_x, X_y)$ کوواریانس بین ایستگاه معلوم و مجهول و σ_x انحراف از معیار داده ایستگاه معلوم و σ_y انحراف از معیار ایستگاه مجهول می باشد.

۵-۷- روش نسبت بارندگی - سطح

در این روش بعد از ترسیم چند ضلعی های تیسن با استفاده از (رابطه ۵ - ۸) مقدار بارندگی در ایستگاه مجهول بدست می آید:

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n P_i (A_j - A_i)}{\sum_{i=1}^n (A_j - A_i)} \quad (\text{رابطه ۵ - ۸})$$

در این رابطه:

A_j سطحی از پلی گون ایستگاه های مجاور مجهول

A_i سطحی از پلی گون ایستگاه های معلوم

P_i میزان داده هیدرولوژیکی ایستگاه های اطراف

P_x میزان داده هیدرولوژیکی ایستگاه مجهول

فصل ششم

برآورد شدت بارندگی و اثرات تغییر

اقلیم

۶- فصل ششم: برآورد شدت بارندگی و اثرات تغییر اقلیم

مشخصات منحنی های شدت - مدت - فراوانی (IDF) برای ۱۰ ایستگاه کشور توسط آقای وزیری و برای ۵۸ ایستگاه توسط سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است. همچنین برای کلیه ایستگاه های مورد نظر سازمان هواشناسی پارامترهای a , b و c در رابطه $i = \frac{a}{(t+b)^c}$ برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در جدول ۶-۱ ارائه شده است. در این رابطه i شدت بارش (میلیمتر بر ساعت) و t زمان بارندگی (دقیقه) می باشد.

جدول ۶-۱- ضرایب a, b, c به منظور برآورد شدت بارندگی

شهر	ضرایب	دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
آبادان	a	۹۰.۲۳۲	۴۹۱.۳۵۳	۱۰۳۰.۴۳	۱۶۱۹.۴۳	۲۷۱۲.۱۸	۳۷۰۷.۷
	b	۰.۰۱۳	۳.۲۳۶	۴.۸۵۴	۴.۸۵۴	۵.۷	۶.۲۱۵
	c	۰.۳۳۵	۰.۷۶۷	۰.۸۶۳	۰.۹۲	۰.۹۸۵	۱.۰۲۳
آباده	a	۹۸.۸۱۵	۷۰.۰۹	۸۰.۷۴۴	۹۲.۹۲۰	۱۱۸.۱۲۹	۱۲۳.۵۴۱
	b	۹.۳۸۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰
	c	۰.۶۵۵	۰.۵۲۷	۰.۵۱۴	۰.۵۱۲	۰.۵۳۵	۰.۵۱۹
آبعلی	a	۱۵۴.۰۴۷	۲۵۸.۲۹۶	۳۲۴.۹۶۵	۳۴۹.۶۹۱	۴۴۷۹.۵۱۳	۵۴۸۸.۴۸
	b	۶.۸۵۶	۴.۵۸۴	۳.۵۹۷	۳.۲۳۶	۲.۷۳۱	۲.۶۳۱
	c	۰.۶۱۶	۰.۶۵۲	۰.۶۶۸	۰.۶۸۲	۰.۶۹۴	۰.۷۰۴
اراک	a	۴۵.۰۴۲	۳۹.۵۰۷	۴۲.۰۴۵	۴۵.۷۹۱	۵۱.۶۴۶	۵۷.۳۹۳
	b	۳۲.۲۷۱	۷.۹۴۴	۳.۲۷۱	۱.۲۱۶	۰.۰۰۰	۰.۰۱۳
	c	۰.۴۵۵	۰.۳۷۹	۰.۳۶۹	۰.۳۶۳	۰.۳۶۳	۰.۳۶۹
اردبیل	a	۸۲.۸۵۶	۱۵۲.۳۰۲	۲۲۰.۳۳	۲۵۴.۵۰۴	۳۲۲.۳۳۳	۳۷۵.۸۱۵
	b	۱.۴۵۸	۰.۶۴۱	۰.۳۶۱	۰.۳۸۲	۰.۳۶۱	۰.۳۶۱
	c	۰.۶۳۳	۰.۶۹۶	۰.۷۲۴	۰.۷۳۷	۰.۷۷۱	۰.۷۸۵
ارومیه	a	۳۱۹.۰۰۱	۴۴۹.۷۵۶	۵۳۲.۱۲۶	۶۴۱.۶۴۸	۷۸۰.۷۸۱	۹۰۲.۰۶۵
	b	۲۸.۱۸۰	۱۶.۹۴۴	۱۳.۱۸۰	۱۱.۷۰۶	۱۰.۴۶۷	۹.۸۵۴
	c	۰.۷۷۹	۰.۸۰۵	۰.۸۱۷	۰.۸۳۵	۰.۸۵۳	۰.۸۶۷
اصفهان	a	۷۰.۸۱۱	۸۸.۸۱۱	۱۰۲.۵۰۴	۱۱۹.۸۰۴	۱۴۱.۳۵۵	۱۵۶.۸۸۸
	b	۴.۸۵۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
	c	۰.۵۹۹	۰.۵۸۲	۰.۵۸۰	۰.۵۸۶	۰.۵۹۱	۰.۵۹۵
اهواز	a	۳۶۴.۳۹۱	۳۵۹.۸۲۳	۳۹۵.۹۴۷	۰.۵۸۴۸	۴۳۴.۹۹۴	۴۳۵.۵۸۴
	b	۵۳.۴۵۰	۴۲.۱۸۰	۴۰.۰۶۴	۳۶.۸۸۹	۳۴.۸۵۴	۳۲.۲۷۱
	c	۰.۷۹۷	۰.۷۴۴	۰.۷۳۴	۰.۷۱۹	۰.۷۰۹	۰.۶۹۵

جدول ۶- ۱- ضرایب a,b,c به منظور برآورد شدت بارندگی

شهر	ضرایب	دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
ایران شهر	a	۲۳۵.۵۰۰	۴۵۲.۳۳۹	۶۰۷.۱۰۰	۷۶۴.۳۳۰	۹۶۵.۹۹۷	۱۱۱۹.۸۱۲
	b	۱۲.۷۰۸	۱۲.۰۳۴	۱۱.۸۵۱	۱۱.۸۵۱	۱۱.۷۹۸	۱۱.۷۹۸
	c	۰.۷۹۶	۰.۸۳۳	۰.۸۴۸	۰.۸۶	۰.۸۷۲	۰.۸۷۹
ایلام	a	۱۶۴.۳۱۴	۲۸۶.۶۹۰	۳۵۶.۲۰۶	۴۳۹.۸۴۵	۵۳۲.۸۶۵	۶۰۵.۶۸۶
	b	۴.۸۵۵	۶.۸۵۴	۶.۸۵۴	۷.۶۹۵	۷.۹۴۴	۸.۲۲۸
	c	۰.۵۷۸	۰.۶۲۷	۰.۶۴۱	۰.۶۵۹	۰.۶۷۲	۰.۶۸۲
یجنورد	a	۲۶۸.۴۷۰	۱۳۱۰.۵۲۴	۲۵۹۸.۷۲	۳۹۴۴	۶۵۸۴.۳۳	۸۸۸۴.۲۸
	b	۱۱۷۳۰	۲۰۰.۹۵	۲۳.۵۰۶	۲۴.۴۳۸	۲۶.۸۸۹	۲۸.۱۸۰
	c	۰.۷۷۷۷	۰.۹۶۵	۱.۰۴۳	۱.۰۸۶	۱.۱۴۲	۱.۱۷۳
بم	a	۱۴۱۳.۶۹	۱۴۴.۷۱۰	۹۵.۳۴۸	۸۱.۷۲۰	۸۰.۰۷۳	۸۳.۳۶۸
	b	۱۶۴.۷۳۵	۴۷.۵۹۴	۲۳.۹۴۴	۱۳.۰۹۰	۶.۸۲۲	۴.۵۸۴
	c	۱.۰۹۷	۰.۶۸۳	۰.۵۸۱	۰.۵۲۸	۰.۴۹۵	۰.۴۸۳
بندر انزلی	a	۱۰۴.۸۱۱	۱۹۵.۳۷۰	۳۲۱.۴۵۹	۳۴۴.۷۳۹	۴۴۹.۴۷۱	۵۴۳.۴۷۱
	b	۶.۰۹۰	۱.۶۱۸	۳.۲۳۷	۰.۵۴۹	۰.۳۲۱	۰.۳۲۱
	c	۰.۴۴۴	۰.۵۱۴	۰.۵۸۱	۰.۵۷۹	۰.۶۰۸	۰.۶۲۸
بندر عباس	a	۲۴۸.۳۲۴	۳۳۵.۴۹۹	۳۸۹.۶۸۵	۴۳۸.۶۳۰	۴۹۸.۸۹۲	۵۶۶.۲۷۲
	b	۱۷.۳۲۶	۱۷.۳۲۶	۱۷.۳۲۶	۱۷.۳۲۸	۱۷.۳۲۶	۱۸.۵۵۷
	c	۰.۶۷۶	۰.۶۴۰	۰.۶۲۵	۰.۶۱۵	۰.۶۰۴	۰.۶۰۵
بندر لنگه	a	۹۳.۲۳۱	۲۰۴.۵۴۳	۲۸۷.۱۳۶	۳۷۵.۵۵۷	۴۸۶.۰۴۱	۵۶۴.۵۳۹
	b	۴.۴۷۸	۵.۶۲۰	۶.۰۳۵	۶.۵۸۴	۶.۸۲۰	۶.۷۹۸
	c	۰.۶۴۵	۰.۶۸۶	۰.۷۰۱	۰.۷۱۵	۰.۷۲۵	۰.۷۳
بوشهر	a	۲۵۱.۶۱۱	۱۷۹.۸۰۲	۱۹۸.۷۱۳	۲۲۰.۷۲۹	۲۵۲.۵۷۰	۲۷۵.۸۳۵
	b	۱۴.۷۰۸	۱.۵۲۸	۰.۰۱۳	۰.۰۰۳	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
	c	۰.۷۱۸	۰.۵۹۸	۰.۵۶۸	۰.۵۶۴	۰.۵۵۹	۰.۵۶۶
بیرجند	a	۹۵.۴۸۰	۹۳.۳۵۴	۹۲.۸۲۶	۹۹.۷۰۸	۱۱۰.۳۵۹	۱۱۷.۸۸۲
	b	۷.۷۰۸	۲.۶۲۱	۰.۴۰۳	۰.۰۱۳	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
	c	۰.۶۳۳	۰.۵۸۲	۰.۵۵۸	۰.۵۵۲	۰.۵۵	۰.۵۴۸
تربت حیدریه	a	۱۲۸۷.۶۸۸	۲۰۵۱.۶۰۲	۲۹۷۸.۵۱۵	۳۴۳۶.۸۵۱	۴۶۳۸.۹۰۲	۴۷۳۲.۷۳
	b	۱۰۸.۹۰۲	۹۲.۸۵۹	۹۱.۹۵۷	۸۷.۱۰۸	۸۷.۱۰۸	۸۲.۱۹۴
	c	۱.۰۲۰	۱.۰۳۸	۱.۰۶۹	۱.۰۷۰	۱.۰۹۴	۱.۰۸۳
تبریز	a	۱۲۵.۶۵۵	۱۴۶.۹۰۷	۱۶۳.۹۸۹	۱۸۲.۰۶۱	۲۰۳.۳۸۸	۲۲۶.۹۹۴
	b	۱۰.۴۶۴	۴.۰۰۵	۲.۰۹	۱.۰۴۳	۰.۰۱۳	۰.۰۰۶
	c	۰.۶۳۹	۰.۶۱۵	۰.۶۱	۰.۶۰۸	۰.۶۰۶	۰.۶۱۱
جاسک	a	۵۵۰.۳۲۶	۱۰۱۴.۱۲۹	۱۳۳۷.۲۸۱	۱۶۵۶.۵۲۷	۲۰۸۸.۸۰۶	۲۳۵۷.۲۵۱
	b	۶.۰۳۵	۸.۷۰۶	۹.۸۴۶	۱۰.۷۰۳	۱۱.۶۹۵	۱۱.۰۹۴۴

جدول ۶- ۱- ضرایب a,b,c به منظور برآورد شدت بارندگی

شهر	ضرایب	دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
	c	۰.۹۱۱	۰.۹۵۷	۰.۹۷۷	۰.۹۹۱	۱.۰۰۷	۱.۰۱۳
جزیره ابوموسی	a	۲۵۶.۷۰۵	۲۵۵.۰۶۱	۲۸۵.۶۳۸	۳۱۴.۷۵۴	۳۸۱.۲۲۴	۴۳۳.۱۴۵
	b	۱۳.۳۸۲	۳.۶۳۹	۱.۴۷۲	۰.۰۳۴	۰.۰۱۳	۰.۰۰۳
	c	۰.۷۵۷	۰.۶۴۹	۰.۶۲۰	۰.۶۰۰	۰.۵۹۶	۰.۵۹۴
کیش	a	۱۲۹.۳۴۴	۴۲۰.۴۰۵	۶۸۲.۵۴۶	۹۷۹.۵۰۸	۱۳۸۵.۷۴	۱۷۷۵.۴۸
	b	۱۰.۴۴۹	۱۰.۴۸۰	۱۰.۴۷۹	۱۰.۷۰۳	۱۰.۶۶۶	۱۱.۳۲۵
	c	۰.۵۹۸	۰.۷۰۹	۰.۷۵۰	۰.۷۸۰	۰.۸۰۶	۰.۸۲۷
چابهار	a	۱۱۸۷.۶۵	۷۲۴.۶۹۳	۸۱۸.۴۴۵	۹۲۵.۴۲۶	۱۱۰.۵۵۷	۱۱۷۱.۵۴
	b	۵۴.۲۵۰	۱۷.۳۲۶	۱۱.۷۵۴	۸.۷۰۸	۶.۷۹۸	۴.۸۵۵
	c	۰.۹۵۰	۰.۷۸۰	۰.۷۵۷	۰.۷۴۴	۰.۷۳۹	۰.۷۲۷
خرم آباد	a	۹۰.۲۰۸	۱۶۷.۸۱۳	۲۲۶.۵۸۳	۴۲۹.۱۴۵	۳۸۱.۹۱۲	۴۳۹.۴۵۷
	b	۴.۵۸۴	۶.۸۵۷	۷.۹۴۹	۹.۳۸۱	۱۰.۴۷۳	۱۰.۶۵۳
	C	۰.۵۲۱	۰.۵۸۹	۰.۶۲۱	۰.۶۵	۰.۶۷۹	۰.۶۹۳
خوی	a	۲۰۹.۴۹۲	۵۵۰.۰۵۹	۹۲۰.۱۴۸	۱۳۰۹.۳۵۰	۱۸۵۶.۹۶۱	۲۲۰۴.۵۳
	B	۱۲.۴۶۴	۱۷.۳۲۶	۲۰.۷۹	۲۲.۵۶۱	۲۳.۹۴۴	۲۳.۹۴۴
	C	۰.۷۱۴	۰.۸۳	۰.۸۹۴	۰.۹۳۵	۰.۹۷۴	۰.۹۹۱
دزفول	a	۷۹۹.۵۴۰	۱۴۹۳.۰۲	۱۹۳۳.۳۷۵	۲۵۳۱.۱۴	۳۲۷۸.۷۰	۳۹۳۷.۳۲
	b	۵۸.۶۸۶	۵۳.۶۳۱	۵۰.۸۳۳	۵۰.۸۳۳	۵۰.۲۱۳	۵۰.۲۳۳
	c	۰.۸۱۴	۰.۸۸	۰.۹۰۴	۰.۹۳۳	۰.۹۵۹	۰.۹۷۸
دوشان تپه	a	۴۴۵.۱۸۷	۱۵۹۲.۶۴۱	۳۱۴۸.۹۹۸	۴۸۶۳.۸۳۵	۹۲۱۳.۷۵۲	۱۱۴۷۹.۱۹۰
	b	۷۵.۲۵۲	۵۰.۲۳۳	۴۷.۶۱۸	۴۴.۹۷۹	۴۶.۹۸۱	۴۴.۸۹۴
	c	۰.۸۴۱	۰.۹۶	۱.۰۷۹	۱.۱۲۹	۱.۲۰۹	۱.۲۳
دو گنبدان	a	۲۶۰.۴۹۸	۲۱۵.۲۱۶	۲۱۱.۵۲۷	۲۱۴.۶۶۲	۲۱۷.۳۱۶	۰.۲۲۲.۵۳۸
	b	۱۷.۳۱۵	۷.۶۹۶	۴.۸۵۵	۳.۲۳۶	۱.۴۵۹	۰.۶۳۹
	c	۰.۶۹۸	۰.۶۱۶	۰.۸۵۹	۰.۵۷۲	۰.۵۴۴	۰.۵۴۴
رامسر	a	۲۵۹.۸۲۰	۳۲۸.۴۰۰	۳۷۸.۵۷۵	۴۲۸.۱۳۷	۵۰۵.۴۲۱	۵۴۶.۸۲۸
	b	۱۰.۷۰۳	۱۱.۸۵۴	۱۲.۴۶۴	۱۳.۰۹۰	۱۴.۷۰۸	۱۴.۷۰۸
	c	۰.۶۴۹	۰.۵۳۷	۰.۴۹۸	۰.۴۷۲	۰.۴۵۳	۰.۴۳۸
رشت	a	۱۲۸.۱۸۴	۱۹۶.۴۱۱	۲۲۲.۷۵۲	۲۵۵.۹۴۳	۲۹۶.۷۴۸	۳۲۶.۲۳۳
	b	۰.۰۱۳	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۵
	c	۰.۵۱۳	۰.۵۲۵	۰.۵۱۸	۰.۵۱۹	۰.۵۲۱	۰.۵۲۱
زابل	a	۴۱.۷۵۵	۴۸.۰۳۴	۶۰.۹۸۳	۷۷.۰۱۷	۸۸.۸۳۶	۱۰۰.۱۷۴
	b	۷.۷۶۵	۰.۰۱۳	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
	c	۰.۵۸۸	۰.۵۰۸	۰.۵۰۲	۰.۵۰۶	۰.۴۹۴	۰.۴۹۲

جدول ۶-۱- ضرایب a, b, c به منظور برآورد شدت بارندگی

شهر	ضرایب	دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
زنجان	a	۲۶۵۴.۶۲۸	۱۹۷۷.۲۱۴	۲۱۱۱.۹۴۸	۲۴۷۳.۷۳۷	۲۸۸۴.۰۵۷	۳۳۷۰.۸۲۹
	b	۱۶۴.۷۳۵	۸۷.۱۰۸	۶۹.۲۱۵	۶۰.۹۱۵	۵۳.۴۵۰	۵۰.۸۳۳
	c	۱.۰۹۳	۱.۰۱۷	۱.۰۰۱۷	۱.۰۱۶	۱.۰۲۱	۱.۰۳۳
سبزوار	a	۱۰۹.۸۲۳	۱۱۵.۶۸۳	۱۱۶.۸۸۷	۱۱۶.۶۷۵	۱۲۱.۲۷۹	۱۲۷.۲۲۲
	b	۲۸.۶۶۳	۱۶.۹۴۴	۱۱.۷۳۰	۷.۷۶۴	۴.۸۵۵	۳.۶۳۹
	c	۰.۶۱۸	۰.۵۷۹	۰.۵۵۸	۰.۵۳۹	۰.۵۲۵	۰.۵۲
سد درود زن	a	۵۹.۳۱۱	۷۵.۱۹۷	۸۴.۶۷۱	۹۳.۲۸۵	۱۰۷.۱۷۰	۱۱۴.۵۸۴
	b	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
	c	۰.۴۵۴	۰.۴۲	۰.۴۰۶	۰.۳۹۶	۰.۳۹	۰.۳۸۴
سقز	a	۶۶.۵۲۹	۶۵.۴۸۰	۶۶.۸۷۱	۶۸.۵۷۱	۷۱.۹۹۳	۷۵.۶۸۶
	b	۲۵.۱۸۰	۱۴.۷۰۸	۱۰.۷۲۹	۷.۹۴۹	۵.۷۱۶	۴.۸۵۴
	c	۰.۵۱۵	۰.۴۵۴	۰.۴۳۰	۰.۴۱۴	۰.۳۹۶	۰.۳۸۹
سمنان	a	۱۰۱.۷۱۰	۶۹.۱۶۵	۷۸.۹۶۱	۹۳.۸۱۷	۱۱۴.۳۸۸	۱۳۲.۶۶
	b	۷۵.۷۷۷	۱۶.۹۴۴	۹.۲۴۱	۶.۲۱۵	۳.۹۹۵	۳.۲۳۶
	c	۰.۶۶۱	۰.۵۷۴	۰.۵۸	۰.۵۹۵	۰.۶۱۲	۰.۶۲۷
سنندج	a	۱۴۱.۹۰۸	۲۰۹.۲۷۱	۲۵۵.۴۹۰	۳۳۳.۳۹۲	۳۹۷.۲۶۷	۴۲۷.۸۸۴
	b	۴۹.۱۵۹	۳۲.۲۷۱	۲۷.۰۳۳	۲۶.۸۸۹	۲۳.۹۴۴	۲۳.۹۴۴
	c	۰.۶۰۰	۰.۶۲۸	۰.۶۴۲	۰.۶۷۱	۰.۶۸۴	۰.۷۰۲
سیرجان	a	۳۷.۸۸۲	۴۷.۹۷۱	۵۷.۳۸۵	۶۸.۹۴۳	۷۶.۶۲۵	۸۴.۲۳۹
	b	۳.۲۳۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
	c	۰.۴۷۵	۰.۴۴۶	۰.۴۴۴	۰.۴۵	۰.۴۴۱	۰.۴۴
شاهرود	a	۱۱۸۳.۷۴	۲۰۹۸.۱۹	۲۶۵۳.۱۲	۳۱۸۶.۷۰	۴۳۲۹.۷۱	۴۹۰۲.۱۵
	b	۱۰۱.۸۱۲	۸۷.۱۰۳	۸۱.۶۳۱	۷۷.۷۷۷	۷۷.۷۲۱	۷۵.۷۷۷
	c	۰.۹۹	۱.۰۱۸	۱.۰۲۵	۱.۰۳۱	۱.۰۵۴	۱.۰۵۷
شرق اصفهان	a	۸۷.۷۲۷	۱۵۰.۳۵۱	۱۹۳.۳۵۸	۲۳۷.۲۴۹	۳۴۸.۴۰۷	۳۳۷.۲۷۴
	b	۰.۰۱۳	۰.۰۳	۰.۰۱۳	۰.۱۴	۲.۷۶۶	۰.۳۶۱
	c	۰.۶۴۹	۰.۷۰۳	۰.۷۲۷	۰.۷۴۷	۰.۷۸۶	۰.۷۸
شهرکرد	a	۵۹.۵۷۴	۴۴.۱۴۹	۴۷.۴۷۸	۵۳.۵۳۱	۶۰.۸۶۳	۶۶.۰۳۱
	b	۲۳.۷۹۸ ش	۲.۲۰۲	۰.۰۱۳	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
	c	۰.۴۷۰	۰.۳۷۷	۰.۳۶۷	۰.۳۷۰	۰.۳۷۳	۰.۳۷۵
ضرغان فارس	a	۱۰۵.۵۹۵	۱۹۲.۰۴۱	۲۵۱.۹۴۰	۳۰۹.۶۳۷	۳۸۳.۹۱۳	۴۳۹.۱۴۰
	b	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
	c	۰.۵۶۴	۰.۶۰۶	۰.۶۲۴	۰.۶۳۶	۰.۶۴۹	۰.۶۵۷
طیس	a	۱۲۴.۲۲۳	۸۹.۹۶۷	۱۱۸.۸۹۸	۱۶۲.۴۵۰	۲۲۲.۱۱۴	۲۸۸.۶۱
	b	۴۰.۰۶۴	۲.۵۲۳	۰.۰۰۶	.	.	.

جدول ۶- ۱- ضرایب a,b,c به منظور برآورد شدت بارندگی

شهر	ضرایب	دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
	c	۰.۷۱۶	۰.۶۰۸	۰.۶۲۶	۰.۶۵۷	۰.۶۸۵	۰.۷۱۴
فرودگاه همدان	a	۱۱۷۰.۰۰	۴۱۹۰۹۲	۰	۰	۰	۰
	b	۱۷۸.۴۰۸	۴۷۸.۲۵۹	۱۸۸۲.۴۱	۱۸۸۲.۴۱	۱۸۸۲.۳۸	۳۸۵۰.۲۶
	c	۰.۹۶۶	۱.۴۲۰	۴.۸۲۶	۴.۸۴۷	۴.۵۳۰	۸.۸۰۷
فسا	a	۴۹.۷۳۲	۶۰.۹۴۲	۶۷.۴۷۴	۷۳.۲۲۹	۸۰.۱۷۸	۸۸.۹۱
	b	۰.۰۱۳	۰	۰	۰	۰	۰
	c	۰.۴۴۶	۰.۴۲۳	۰.۴۱۲	۰.۴۰۴	۰.۳۹۷	۰.۳۹۸
قراخیل	a	۱۷۹.۷۱۴	۲۱۰.۵۴۹	۲۶۳.۶۱۶	۲۹۹.۶۵۸	۳۶۲.۲۶۶	۴۰۷.۸۸۲
	b	۱۱.۷۲۹	۰.۰۱۳	۰	۰	۰	۰
	c	۰.۵۹۲	۰.۵۴	۰.۵۵۱	۰.۵۵	۰.۰۵۵۸	۰.۵۶۳
قزوین	a	۱۱۴.۰۸۸	۱۱۸.۵۸۵	۱۲۲.۳۴۵	۱۲۷.۳۶۹	۱۲۹.۸۵۳	۱۲۵.۸۵۱
	b	۴۰.۰۶۹	۲۸.۶۶۳	۲۳.۹۴۴	۲۰.۸۲۲	۱۶.۹۴۴	۱۳.۱۸۰
	c	۰.۶۱۳	۰.۵۶۸	۰.۵۴۸	۰.۵۳۵	۰.۵۱۷	۰.۴۹۸
کاخ سعد آباد	a	۱۳۴.۵۷۶	۱۴۱.۰۱۴	۱۴۱.۷۹۵	۱۵۴.۲۰۵	۱۵۴.۶۸۰	۱۶۸.۲۴۵
	b	۳۷.۸۶۲	۲۸.۶۶۳	۲۳.۷۹۸	۲۲.۵۶۱	۱۸.۵۵۱	۱۸.۵۳۸
	c	۰.۶۵۶	۰.۶۱۰	۰.۵۸۵	۰.۵۷۹	۰.۵۵۷	۰.۵۵۷
کاشان	a	۱۱۶.۸۲۸	۶۵.۵۹۸	۶۱.۷۴۰	۶۱.۷۸۳	۶۴.۲۹۹	۶۵.۳۵۰
	b	۶۷.۵۴۱	۳۲.۲۷۱	۲۳.۹۴۴	۱۹.۲۷۱	۱۵.۷۰۸	۱۳.۱۸
	c	۰.۷۲۹	۰.۵۷۱	۰.۵۲۹	۰.۵۰۴	۰.۴۸۴	۰.۴۶۹
کرج	a	۱۵۱.۱۲۵	۲۰۷.۵۳۶	۲۷۶.۵۳۷	۳۴۴.۹۸۹	۴۳۴.۹۸۱	۵۰۳.۷۲۴
	b	۴.۴۶۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۳	۰	۰	۰
	c	۰.۷۲۵	۰.۷۵۵	۰.۷۹۲	۰.۸۲۰	۰.۸۴۸	۰.۸۶۶
کرمانشاه	a	۲۹۲.۷۳۹	۹۱۱.۱۷۷	۱۴۷۶.۷۵۴	۲۳۲۱.۲۹۱	۳۲۳۲.۱۹۸	۴۰۱۶.۳۵۲
	b	۱۷.۳۲۶	۲۰.۹۵۳	۲۱.۵۶۹	۲۳.۹۴۴	۲۳.۷۹۸	۲۳.۹۴۴
	c	۰.۷۳۲	۰.۸۶۹	۰.۹۲۴	۰.۹۸	۱.۰۱۴	۱.۰۳۶
گلمکان	a	۷۹.۳۲۱	۱۵۲.۶۳۴	۲۲۱.۱۲۰	۲۹۱.۷۶۱	۳۸۷.۸۵۷	۴۶۲.۵۹۷
	b	۳.۲۳۶	۰.۰۱۳	۰.۰۰۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
	c	۰.۶۲۸	۰.۶۹۰	۰.۷۳۰	۰.۷۵۸	۰.۷۸۶	۰.۸۰۳
مراغه	a	۲۲۹.۴۹۴	۲۴۱.۱۸۸	۲۶۶.۳۱۱	۳۰۵.۴۴۳	۳۵۹.۹۴۶	۳۹۳.۷۵۹
	b	۲۳.۷۹۸	۸.۷۰	۴.۸۵۴	۳.۲۷۱	۲.۰۹	۱.۲۱۴
	c	۰.۷۵۸	۰.۷۲۷	۰.۷۲۳	۰.۷۳۶	۰.۷۴۰	۰.۷۴۴
مشهد	a	۱۳۱۹.۰۰	۳۰۰۷.۰۳	۴۶۶۵.۱۹	۵۸۵۴.۸۸	۷۶۲۲.۳۸	۹۴۴۱.۳۲
	b	۴۶.۵۶	۴۲.۸۴	۴۲.۹۴	۴۰.۹۸	۳۹.۷۵	۳۹.۸۹
	c	۱.۰۳۵	۱.۱۲۵	۱.۱۷۵	۱.۱۹۵	۱.۲۱۹	۱.۲۴۲

جدول ۶-۱- ضرایب a, b, c به منظور برآورد شدت بارندگی

شهر	ضرایب	دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
میناب	a	۲۵۴.۲۶۲	۶۲۹.۵۹۱	۹۴۱.۲۴۷	۱۲۲۳.۰۴	۱۶۹۵.۴۸	۲۱۹۵.۰۱
	b	۴.۸۵۴	۱۱.۶۹۵	۱۴.۵۲۶	۱۵.۸۵۴	۱۸.۲۷۱	۲۰.۸۸۹
	c	۰.۶۸۰	۰.۷۶۰	۰.۷۹۵	۰.۸۱۳	۰.۸۴۱	۰.۸۶۶
مهراباد	a	۱۶۱.۳۸۲	۲۱۳.۴۵۵	۲۶۴.۷۸۸	۳۲۴.۷۴۱	۳۹۷.۸۵۵	۴۴۸.۴۱۳
	b	۲۳.۷۹۸	۱۰.۷۰۳	۷.۹۴۴	۶.۷۹۸	۵.۶۲۰	۴.۸۵۴
	c	۰.۷۴۳	۰.۷۴۳	۰.۷۵۶	۰.۷۷۲	۰.۷۸۶	۰.۸۹۳
همدان	a	۲۰۸.۴۶۱	۳۶۷.۹۹۱	۴۷۹.۰۰۷	۶۰۰.۳۹۴	۷۶۵.۲۹۸	۸۵۴.۵۲۶
	b	۴.۸۵۴	۶.۸۲۰	۷.۶۹۵	۸.۷۰۶	۹.۸۵۴	۹.۸۵۴
	c	۰.۷۳۳	۰.۷۳۳	۰.۷۹۰	۰.۸۰۸	۰.۸۲۶	۰.۸۳۰
نوشهر	a	۳۱۵.۳۴۱	۶۵۳.۱۸۵	۹۲۵.۱۸۵	۱۲۴۴.۴۰	۱۶۰۷.۶۲	۱۸۵۷.۴۹
	b	۳۰.۲۴۹	۳۶.۸۸۹	۴۰.۰۶۴	۴۳.۳۰۸	۴۴.۸۹۴	۴۵.۳۶۱
	c	۰.۶۲۹	۰.۷۰۱	۰.۷۳۵	۰.۷۶۵	۰.۷۸۷	۰.۷۹۹
همدان نوژه	a	۱۲۴۹۴۲.۸۰۰	۱۰۳۱.۳۴۵	۱۴۰۶.۲۱۱	۱۹۰۴.۲۸۸	۲۸۳۴.۲۶۲	۳۷۰۳.۵۰۲
	b	۴۷۸.۲۵۹	۷۷.۱۰۳	۵۸.۰۶۹	۴۹.۶۴۴	۴۵.۰۵۶	۴۳.۳۶۰
	c	۱.۶۱۰	۰.۹۳۴	۰.۹۶۳	۰.۹۴۴	۱.۰۳۸	۱.۰۶۷
یزد	a	۸۳.۹۴۹	۱۲۶۲.۰۰	۳۳۷۵.۴۴	۶۴۲۵.۸۴	۱۲۴۶۴.۰	۱۶۰۸۷.۰
	b	۵۳.۴۵۱	۹۳.۰۴۲	۱۰۳.۴۳۲	۱۰۸.۹۰۰	۱۱۵.۱۳۷	۱۱۴.۴۹۸
	c	۰.۷۰۰	۱.۰۱۷	۱.۱۲۳	۱.۱۸۸	۱.۲۵۴	۱.۲۷۲

ضرایب ارائه شده در جداول فوق مربوط به تحقیقات ارائه شده توسط سازمان هواشناسی در سال ۱۳۷۴ می باشد که با توجه به گذشت حدود ۳۰ سال نسبت به زمان نگارش این نشریه لزوم بروزرسانی این ضرایب احساس می گردد. همچنین مبحث تغییر اقلیم که اخیرا مطرح شده است و بسیاری از صاحب نظران این زمینه اعتقاد به اثرگذاری این پدیده بر روند بارندگی ها دارد نیز از مباحثی است که بایستی در مورد آن تحقیقات مجزایی انجام شود. لذا طی نامه ای نیاز به پژوهش هایی در این زمینه به سازمان برنامه و بودجه اعلام شده است و امید است با در نظر گرفتن تدابیری این موارد صورت پذیرد. در صورتی که نداشتن ضرایب در جدول بالا برای یک شهر یا نداشتن آمار میتوان از روش بل مطابق با (رابطه ۶-۱) استفاده کرد:

$$P_T^t = [0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6)] \times [0.371 + 0.6184 t^{0.4484}] \times P_{T^0}^t \quad (\text{رابطه ۶-۱})$$

$$P_{T^0}^t = 1.34(P_{24h})^{0.694} \quad (\text{رابطه ۶-۲})$$

T: دوره بازگشت بارندگی (سال)

t: مدت زمان بارندگی (ساعت)

$P_{T^0}^t$: مقدار بارندگی ۶۰ دقیقه ای با دوره بازگشت ۱۰ ساله بر حسب میلیمتر

P_T^t : مقدار بارندگی t دقیقه ای با دوره بازگشت T سال بر حسب میلیمتر

P_{24h} : متوسط حداکثر بارش های ۲۴ ساعته بر حسب میلیمتر برای دوره آماری

فتحیان (۱۴۰۱) در پژوهشی با عنوان "ارزیابی روندها و تغییرات مقادیر حدی متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت تاثیر تغییر اقلیم با استفاده از داده های پروژه CORDEX و روش جدید ریزمقیاس نمایی" اثرات تغییر اقلیم را بر بارش ها مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، تغییرات نمایه های حدی آب و هوایی برای آینده (۲۰۲۵-۲۰۵۴) پیش بینی و با مقادیر متناظر در دوره مشاهداتی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) مقایسه شده اند. بر این اساس، داده های دما و بارش پروژه CORDEX از سه مدل اقلیمی ناحیه ای (RCM) شامل NORESMRCP، EPIESMRCP و CCSMRCP تحت سناریوهای RCP۴,۵ و RCP۸,۵ (۴.۵ و ۸.۵ نشان دهنده میزان واتابش ناشی از گازهای گلخانه ای بر حسب وات بر متر مربع) با استفاده از یک روش جدید تصحیح آریبی و بسته نرم افزاری musica در نرم افزار R برای ۵۴ ایستگاه همدیدی کشور ریز مقیاس شده اند. سپس، با استفاده از بسته نرم افزاری climdex.pcic در نرم افزار R، ۲۶ نمایه حدی بارش و دما برای دو دوره مشاهداتی و آینده محاسبه و با استفاده از روش های تحلیل روند من-کندال و شیب شن، تغییرات آنها بررسی شد. در این نشریه صرفا به منظور بهره گیری از نتایج حاصل از تحلیل تغییر اقلیم به منظور بروز رسانی ضرایب مورد استفاده در فصل برآورد شدت بارندگی، مقادیر بدست آمده حاصل از اجرای مدل ها برای نمایه بارش یک روزه (RX' day) و پنج روزه (day5RX) براساس جدول ۶-۲ و جدول ۶-۳ ارائه گردیده است. این نمایه ها به ترتیب حداکثر بارش یک روزه و حداکثر بارش ۵ روزه متوالی هستند.

جدول ۶-۲- مقایسه روند تغییرات نمایه RX1day در دوره آتی با دوره مشاهداتی (بر حسب mm)

ایستگاه	طول جغرافیای ی	عرض جغرافیایی	NORESMRCP ^۸ . °	NORESMRCP ^۴ . °	MPIESMRCP ^۸ . °	MPIESMRCP ^۴ . °	CCSM ^۴ . - RCP ^۸ , °	CCSM ^۴ . - RCP ^۴ , °	Observation
آبادان	۴۸/۲۵	۳۰/۳۶	۰/۶۳۴	-۰/۰۴۸	۰/۱۴۷	۰/۲۳۵	-۰/۱۰۹	۰/۶۴۶	۰/۵۳۳
آبعلی	۵۱/۸۸	۳۵/۷۵	۰/۹۹۵	-۰/۸۵۷	۰/۰۰۷	۰/۲۹۱	-۱/۲۲	۰/۶۵۹	۰/۴۱۷
اهر	۴۷/۰۶۶	۳۸/۴۳	۰/۸۳۶	۰/۵۱۲	۰/۰۴۷	-۰/۴۹۳	-۰/۰۹	-۰/۷۲۹	۰/۰۹
اهواز	۴۸/۶۶	۳۱/۳۳	۰/۸۷۲	-۰/۰۸	۲/۵۰۵	۰/۴۰۲	-۰/۱۴۳	-۰/۲۱	-۰/۲۶۳
الیگودرز	۴۹/۷	۳۳/۴	۰/۸۵۲	-۲/۲۳۹	۱/۷۱۴	۰/۰۰۳	۰/۲۵۵	۱/۷۲۹	۰/۸
انار	۵۵/۲۵	۳۰/۸۸	۰/۱۷۸	-۰/۰۰۱	۰/۱۹۶	۰/۰۹۹	-۰/۳۲۷	۰/۷۴۴	-۰/۰۳۶
اراک	۴۹/۷۶	۳۴/۱	۰/۴۷۱	۰/۲۰۸	-۰/۲۳۳	۰/۴۲۳	-۰/۰۰۷	۰/۹۶۵	۰/۲۷۸
اردبیل	۴۸/۲۸	۳۸/۲۵	۰/۳۵۲	۱/۳۱۵	۰/۰۰۴	-۰/۴۴۴	-۰/۳۶۵	۰/۸۲۴	-۰/۰۱۶
آستارا	۴۸/۸۵	۳۸/۳۷	۱/۳۹۶	۳/۷۳۱	۱/۱۸۴	-۱/۸۳	-۰/۸۵۹	۲/۸۰۵	-۰/۲۸۵
بابلسر	۵۲/۶۵	۳۶/۷۱	۰/۰۵۸	۰/۹۶۸	-۰/۳۵۳	-۲/۶۸۹	۰/۲۱۸	۱/۴۱۸	۰
بندر لنگه	۵۴/۸۳	۲۶/۷۵	۰/۵۵	-۰/۰۹۴	-۱/۴	-۱/۱۴۸	۰/۱۵	۰/۲۵۶	-۰/۱۵۴
بیرجند	۵۹/۲	۳۲/۸۶	-۰/۰۶۸	-۰/۲۲۹	-۰/۲۳۶	-۰/۳۹۸	-۰/۱۶۵	۰/۱۷۷	-۰/۲۰۹
بجورد	۵۷/۲۶	۳۷/۴۶	-۰/۰۸	۰/۳۸۶	۰/۴۳۲	۰/۰۹۵	-۰/۰۱	-۰/۶۰۳	۰/۰۶۳
بوشهر	۵۰/۸۱۶	۲۸/۹	۰/۰۵۹	-۰/۴۶۶	۱/۷۴۴	-۱/۶۴	-۲/۷۵۶	۱/۰۷۳	۱/۲۸۴
چابهار	۶۰/۶۱	۲۵/۷۵	۲/۰۵۸	۰/۳۳۹	۲/۲۵۵	-۰/۲۳۹	-۰/۲۶۹	۰/۳۸۹	-۰/۴۴۴

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	NORESMRCP ^۸ . °	NORESMRCP ^۴ . °	MPIESMRCP ^۸ . °	MPIESMRCP ^۴ . °	CCSM ^۴ - RCP ^۸ ,°	CCSM ^۴ - RCP ^۴ ,°	Observation
فسا	۵۳/۶۸	۲۸/۹۶	۰/۶۶۹	۰/۵۴۵	۱/۳۲۳	-۰/۰۲۴	-۱/۴۹۸	۰/۸۶۹	-۰/۰۵
قزوین	۵۹/۱۶۶	۳۳/۷۱۶	-۰/۲۳	۰/۱۹۲	-۰/۱۰۷	.	۰/۲۵۹	-۰/۰۱۷	۰/۰۵۶
قم	۵۰/۸۵	۳۴/۷	۰/۲۸	-۰/۲۳۸	-۰/۳	۰/۸۰۷	۰/۸۱۸	۰/۱۳۶	۰/۶۴۳
گرگان	۵۴/۴	۳۶/۹	۰/۵۳۲	۰/۲۹۹	۰/۰۸۱	-۰/۸۶۸	-۰/۱۱۵	۱/۲۲۱	۰/۲۶۷
همدان	۴۸/۷۱	۳۵/۲	۰/۱۵۸	۰/۵۹۴	-۰/۶۷۹	۰/۰۷۳	-۰/۰۰۱	۰/۳۷۹	۰/۲۸۶
ایلام	۴۶/۴۳	۳۳/۶۳	۱/۶۲	۰/۹۳۲	۰/۹۳۵	۰/۰۱۲	-۱/۴۸۸	-۰/۱۷۷	-۰/۵۸۳
اصفهان	۵۱/۶۶	۳۲/۶۲	-۰/۱۱۸	-۰/۱۱	-۰/۰۴۳	۰/۲۵۱	-۰/۳۷۶	۰/۶۲۵	.
جلفا	۴۵/۶۶	۳۸/۷۵	-۰/۱۷۷	۰/۱۳۶	-۰/۱۰۸	۰/۵۵	-۰/۰۲۱	-۰/۳۷۹	۰/۲۱۱
کرج	۵۰/۹۵	۳۵/۸	۰/۵۲۲	-۰/۴	-۰/۰۴۱	۰/۲۴	-۰/۵۱۳	۰/۴۹۸	-۰/۱۶۲
کاشان	۵۱/۴۵	۳۳/۹۸	۰/۰۶۳	۰/۳۹	-۰/۰۷۸	۰/۳۹۳	-۰/۲۸۸	۰/۴۳۴	-۰/۰۸۳
کرمانشاه	۴۷/۱۵	۳۴/۳۵	۲/۳۸۱	۰/۰۷	-۰/۰۰۱	-۰/۱۵۱	-۰/۲۶۸	۰/۳۷۹	۰/۳۸۱
خاش	۶۱/۲	۲۸/۲۱۶	-۰/۱۸۵	۰/۲۸۴	۰/۵۳۶	۰/۳۷۸	-۰/۷۵۹	۰/۱۳۹	۰/۶۵۴
خرم آباد	۴۸/۲۸	۳۳/۴۳	۰/۸۰۲	-۱/۲۵۶	-۰/۳۱۹	-۰/۳۰۹	۱/۶۴۲	۰/۷۷۱	۰/۴۹۸
خرمدره	۴۹/۱۸	۳۶/۱۸	۰/۶۰۳	-۰/۸۷۹	-۰/۰۴۲	۰/۹۰۲	-۱/۲۷۴	۰/۶۵۲	۰/۱۴۶
خو	۴۴/۹۶	۳۸/۵۵	۰/۷۴۵	-۰/۴۰۳	۰/۰۸۵	۰/۲۸۹	-۰/۰۷۴	-۰/۰۵۹	-۰/۲۲۲
کوهرننگ	۵۰/۱۱	۳۲/۴۳	۱/۲۲۳	-۱/۲۰۷	۲/۱۲۸	-۱/۰۰۱	۱/۵۸۴	۲/۰۳۵	-۰/۱۱۱
مهاباد	۴۵/۷۱۶	۳۶/۷۵	-۰/۱۲۵	۰/۲۷۷	-۱/۰۱۲	۰/۳۷	-۰/۴۷۷	۰/۹۳۹	-۰/۱۲۱
ماکو	۴۴/۴۳	۳۹/۳۳	-۰/۲۲۲	-۰/۱۸۶	۰/۷۵۳	۰/۳۷	۰/۶۵۷	۰/۵۴۷	۰/۰۳۹
مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۶	۰/۵۵۶	۰/۲۶۹	۰/۴۲۷	۰/۲۴۹	۰/۰۷۵	-۰/۱۲۷	-۰/۲۷۸
نوشهر	۵۱/۵	۳۶/۶۵	۲/۹۸۷	-۲/۶۲۴	۰/۲۳۷	-۲/۷۲۹	-۳/۳۸	۴/۶۸۸	۲/۳۵۴

ایستگاه	طول جغرافیای ی	عرض جغرافیایی	NORESMRCP ^۸ . °	NORESMRCP ^۴ . °	MPIESMRCP ^۸ . °	MPIESMRCP ^۴ . °	CCSM ^۴ . - RCP ^۸ , °	CCSM ^۴ . - RCP ^۴ , °	Observation
ارومیه	۴۵/۰۵	۳۷/۶۶	۰/۳۱	-۰/۰۵۶	۰/۶۲۲	-۰/۱۸۶	۰/۱۶۳	۰/۴۱۷	-۰/۱۵
رامسر	۵۰/۶۶	۳۶/۹	-۴/۳۲۶	-۱/۴۱۹	۰/۶۴۸	-۰/۲۲۸	-۴/۵۸۴	۰/۲۷۱	۱/۰۶۲
رشت	۴۹/۶۱	۳۷/۳۱	۰/۴۵۵	-۰/۲۸۵	۰/۷۴۶	-۱/۸۵۲	۰/۶۰۶	۲/۰۲۱	۰
سبزوار	۵۷/۶۵	۳۶/۲	۰/۵۶۷	۰/۴۲۵	-۰/۰۴۲	۰/۲۰۹	۰/۱۱۲	-۰/۲۵۵	-۰/۳۳۳
سقز	۴۶/۲۶	۳۶/۲۵	۰/۳۴۳	-۰/۲۲۲	-۰/۰۲۷	-۰/۴۰۶	۰/۴۰۷	۰/۶۷۴	-۰/۱۴۳
سنندج	۴۷	۳۵/۳۳	۰/۸۲۹	-۰/۱۵۹	-۰/۵۱۸	۰/۷۵۶	-۰/۹۶	۰/۲۹۳	۰/۲۳۸
سرخ	۶۱/۱۶	۳۶/۵۳	۰/۸۱۹	-۰/۱۲۲	۰/۱۶۶	۰/۱۳۹	-۰/۰۶۳	-۰/۵۳۸	۰/۵۴۱
سمنان	۵۳/۴۱	۳۵/۵۸	۰/۵۳۸	-۰/۰۰۱	-۰/۴۴۵	۰/۳۸۱	۰/۲۳۴	-۰/۰۲۱	۰
شهرکرد	۵۰/۸۵	۳۲/۲۸	۰/۲۷۷	-۰/۱۴۴	۰/۵۶۹	-۰/۰۱۸	۰	۱/۵۸۲	۰/۰۵۶
شاهرود	۵۴/۹۵	۳۶/۴۱	۰/۶۱۵	۰/۱۱۸	-۰/۲۹۲	۰/۲۹۱	۰/۴۰۴	-۰/۹۰۳	۰
شیراز	۵۲/۶	۲۹/۵۳	-۰/۳۱۶	-۰/۳۸۶	۲/۵۰۸	۰/۰۵۱	۰/۵۰۵	۲/۹۷۴	۰/۳۸۶
سیرجان	۵۵/۶۸	۲۹/۴۶	-۰/۶۳۳	۰/۱۵۸	۰/۰۵۹	۰/۳۵۶	-۰/۷۶۶	۱/۰۹۱	-۰/۲۴۳
طبس	۵۶/۹۱	۳۳/۶	-۰/۰۱۳	-۰/۲۹۵	-۰/۰۷۵	-۰/۰۵۷	۰/۲۶۷	-۰/۵۶۱	-۰/۰۵۵
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸۳	۰/۱۲۸	۰/۱۸۸	-۰/۰۴۸	-۰/۱۶۸	-۰/۳۷۳	-۱/۷۵۲	-۰/۰۵۵
تکاب	۴۷/۱	۳۶/۴	۱/۱۲۷	-۱/۱۸۳	۱/۴۹۵	-۰/۰۱۲	-۰/۴۲۱	۰/۷۱۷	-۰/۳۹۳
تهران	۵۱/۳۱	۳۵/۶۸	۰/۰۲۲	-۰/۱۶۴	-۰/۰۱۷	۰/۲۰۳	۰/۰۶۷	۰/۳۱۶	۰/۱
زابل	۶۱/۴۸	۳۱/۰۲	۰/۴۴۳	۰/۰۱۴	-۰/۲۶۲	۰/۳۳۶	-۰/۷۱۹	-۰/۱۱۹	۰/۰۴۳
زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۶	۰/۰۶۳	۰/۰۰۲	-۰/۲۷۲	-۰/۱۱۴	-۰/۳۱۷	۰/۶۶۶	۰/۰۸
زنجان	۴۸/۵	۳۶/۶۸	-۰/۲۱۷	۰/۰۴۵	-۰/۲۱۸	۰/۲۵۴	-۰/۳۶۷	-۱/۱۷۳	-۰/۰۱۸

ایستگاه	طول جغرافیای ی	عرض جغرافیای ی	NORESMRCP ^۸ . °	NORESMRCP ^۴ . °	MPIESMRCP ^۸ . °	MPIESMRCP ^۴ . °	CCSM ^۴ - RCP ^۸ , °	CCSM ^۴ - RCP ^۴ , °	Observation
		میانگی ن	۰/۴۱	۰	۰/۳۰	۰	۰	۰/۵۴	۰/۱۳
		روند منفی	۱۳	۲۹	۲۶	۲۳	۳۵	۱۶	۲۳
		بدون روند	۰	۰	۱	۱	۰	۵	۰
		روند مثبت	۴۱	۲۵	۲۸	۳۰	۱۸	۳۸	۲۶
		معیندار منفی	۰	۱	۳	۴	۴	۱	۰
		معیندار مثبت	۲	۳	۰	۰	۹	۲	۵
		غیرمعن ی دار	۴۹	۵۲	۵۰	۵۱	۵۰	۴۱	۵۱

جدول ۶-۳- مقایسه روند تغییرات نمایه day^۵RX در دوره آتی با دوره مشاهداتی (بر حسب mm)

ایستگاه	طول جغرافیای ی	عرض جغرافیای ی	NORESMRCP ^۸ . °	NORESMRCP ^۴ . °	MPIESMRCP ^۸ . °	MPIESMRCP ^۴ . °	CCSM ^۴ - RCP ^۸ , °	CCSM ^۴ - RCP ^۴ , °	Observation
---------	-------------------	-------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---	---	-------------

آبادان	۴۸/۲۵	۳۰/۳۶	۱/۱۰۴	۰/۰۶۲	۱/۴۹۷	۰/۰۲۴	-۰/۴۷۱	-۰/۴۶۲	۰/۵
آبعلی	۵۱/۸۸	۳۵/۷۵	۲/۵۹۴	-۱/۰۶	-۰/۲۰۳	۰/۶۰۴	-۱/۴۸۷	۰/۳۵	۰/۰۷۳
اهر	۴۷/۰۶۶	۳۸/۴۳	۱/۹۵۸	۰/۶۸۳	۰/۵۴۶	-۰/۵۷۹	-۰/۶۶۲	-۰/۷۶۶	۰/۰۵۷
اهواز	۴۸/۶۶	۳۱/۳۳	۱/۴۲۱	-۰/۸	۳/۲۸۸	۱/۲۴۶	-۰/۱۰۲	-۲/۷۹۶	۰
الیگودرز	۴۹/۷	۳۳/۴	۲/۷۴۵	-۴/۳۴۵	۱/۲۱۹	-۰/۰۵۲	-۰/۷۸۲	۲/۰۰	۱/۱۲۲
انار	۵۵/۲۵	۳۰/۸۸	۰/۰۶۸	-۰/۷۵۱	۰/۵۶۹	-۰/۲۷۶	-۰/۴۷۶	۱/۱۷	-۰/۱۸۵
اراک	۴۹/۷۶	۳۴/۱	۰/۸۵۵	۰/۵۹۴	-۰/۵۱۹	۱/۰۳۶	-۰/۲۶۳	۱/۳۶	۰/۲۴
اردبیل	۴۸/۲۸	۳۸/۲۵	۰/۷۳۲	۲/۰۸۴	۰/۳۲۷	-۰/۰۳۶	-۰/۰۸۶	۰/۲۲	۰/۰۴۲
آستارا	۴۸/۸۵	۳۸/۳۷	۰/۹۹۸	۸/۴۴۱	-۱/۱۴۷	۰/۳۶۴	۱/۹۸۵	۶/۵۱۱	-۰/۲۹۶
بابلسر	۵۲/۶۵	۳۶/۷۱	۰/۵۵۵	۲/۴۲۹	-۰/۵۴۶	-۲/۹۶	۰/۸۷	۰/۹۶	۰/۰۳۵
بندر لنگه	۵۴/۸۳	۲۶/۷۵	۱/۳۲۶	-۰/۵۹۱	-۱/۶۱۷	-۳/۳۷	-۰/۶۳	۱/۲۴	-۰/۴۴۴
بیرجند	۵۹/۲	۳۲/۸۶	-۰/۴۱۷	-۰/۷۹۹	-۱/۵۷۷	۰/۱۵۴	۰/۰۵	۰/۵۵	۰/۲
بجنورد	۵۷/۲۶	۳۷/۴۶	۰/۰۶۲	۱/۱۳۴	۰/۰۹	۰/۱۴۹	-۰/۰۴۵	-۰/۹۳۲	۰/۰۱۸
بوشهر	۵۰/۸۱۶	۲۸/۹	۰/۴۱۵	۰/۵۱۶	۳/۳۹۱	-۲/۴۷	-۳/۰۸۱	۰/۲۷	۲/۷۱۴
چابهار	۶۰/۶۱	۲۵/۷۵	۲/۵۵۸	۱/۳۱۶	۲/۹۵۵	-۱/۶۴۱	-۰/۸۱۱	۱/۴۸	۰/۲۷۱
فسا	۵۳/۶۸	۲۸/۹۶	۱/۱۳۳	-۰/۲۲۸	۳/۷۱۳	۰/۳۹۹	-۲/۳۴۵	۱/۶۰	۰/۸
قزوین	۵۹/۱۶۶	۳۳/۷۱۶	-۰/۰۷۴	۰/۴۹۶	-۰/۴۹۵	۰/۴۲۹	-۰/۴۲۷	-۰/۶۸	-۰/۱۷
قم	۵۰/۸۵	۳۴/۷	۰/۱۷۹	-۰/۴۸۵	-۰/۵۳۸	۱/۳۵۴	۱/۱۵	-۰/۰۶۴	۱/۱۳
گرگان	۵۴/۴	۳۶/۹	۰/۱۹۲	-۰/۰۸۳	۰/۱۱۶	-۱/۷۱	-۰/۴۱۵	۱/۳۷	۰/۱
همدان	۴۸/۷۱	۳۵/۲	۰/۳۶۵	۰/۴۱۴	-۱/۰۷۷	۰/۳۲۷	-۰/۲۹۱	۰/۴۶	۰/۳۱۱
ایلام	۴۶/۴۳	۳۳/۶۳	۲/۰۸۵	۰/۳۰۱	۱/۷۴۵	-۰/۹۷۷	-۱/۹۴۱	-۱/۸۵	-۰/۹۲۴
اصفهان	۵۱/۶۶	۳۲/۶۲	۰/۱۳۳	-۰/۱۰۳	-۰/۰۷۷	۰/۵۰۱	-۰/۶۷	۰/۶۱	-۰/۱۴

۰/۴۶۴	-۰/۲۵۶	-۰/۶۷۲	۱/۱۲۴	-۰/۰۸۱	۰/۲۶۹	-۰/۴۱۵	۳۸/۷۵	۴۵/۶۶	جلفا
۰/۰۸۳	۰/۱۲	-۰/۹۱۲	۰/۵۰۶	-۰/۴۹۵	-۱/۰۹۷	۰/۷۶	۳۵/۸	۵۰/۹۵	کرج
۰/۱۳۳	۰/۶۲	-۰/۵۲۲	۰/۶۲۱	-۰/۲۲۴	۰/۳۷۷	۰/۱۷۴	۳۳/۹۸	۵۱/۴۵	کاشان
-۰/۱۷۷	۰/۴۳	-۰/۰۳	-۰/۴۲۳	۰/۳۰۵	-۰/۳۳۵	۲	۳۴/۳۵	۴۷/۱۵	کرمانشاه
۰/۵۶۱	۰/۱۶	-۱/۱۷۷	-۰/۶۲۹	۰/۵۳۸	۰/۷۷۴	۰/۰۲۷	۲۸/۲۱۶	۶۱/۲	خاش
۰/۳۹۴	-۱/۷۹۶	۱/۴۸	-۰/۵۶۲	-۰/۶۹۹	-۱/۹۲	۲/۲۷	۳۳/۴۳	۴۸/۲۸	خرم آباد
-۰/۲۵۹	۱/۸۱	-۱/۰۸	۱/۷۲	۰/۴۴۵	-۰/۹۲۴	۱/۴۰۲	۳۶/۱۸	۴۹/۱۸	خرمدره
-۰/۱۶۳	۰/۰۱	-۰/۳۰۷	۰/۶۰۷	۰/۱۸۹	-۰/۳۰۱	۰/۹۷۸	۳۸/۵۵	۴۴/۹۶	خوی
-۱/۳۶۴	۳/۳۱	۰/۹۰۶	-۳/۱۶۷	۴/۵۴	-۷/۰۴۹	۷/۳۳۴	۳۲/۴۳	۵۰/۱۱	کوهرنگ
-۱/۰۶۱	۲/۱۸	-۰/۰۹۴	۰/۰۲۲	-۰/۱۷۲	-۰/۱۱۶	-۰/۳۰۶	۳۶/۷۵	۴۵/۷۱۶	مهاباد
-۰/۲۱۲	۱/۰۶	۰/۴۷۳	۰/۶۰۹	۰/۸۲۷	-۰/۶۸۵	۰/۰۷۵	۳۹/۳۳	۴۴/۴۳	ماکو
-۰/۵	-۰/۲۶۷	-۰/۱۷۷	-۰/۲۰۳	۰/۲۷۱	۰/۱۷۲	۰/۴۵۴	۳۶/۲۶	۵۹/۶۳	مشهد
۳/۳	۷/۶۳	-۴/۸۲۶	-۶/۷۹۶	-۰/۷۹۷	-۷/۶۴۲	۰/۸۷۹	۳۶/۶۵	۵۱/۵	نوشهر
-۰/۵۷۶	۰/۰۵	-۰/۲۷۴	۰/۲۳۵	۱/۳۸۲	-۰/۵۳۵	۰/۴۵۵	۳۷/۶۶	۴۵/۰۵	ارومیه
۱/۸۶	-۱/۵۷۷	-۷/۹۵۶	-۵/۹۲۸	۳/۵۱۶	-۲/۲۵۴	-۲/۰۷۳	۳۶/۹	۵۰/۶۶	رامسر
-۱/۱	۳/۲۰	۰/۵۷۲	-۵/۱	۰/۴۴۵	-۰/۴۶۱	-۰/۳۳۷	۳۷/۳۱	۴۹/۶۱	رشت
-۰/۱۸۹	-۱/۲۲۶	۰/۱۲۵	۰/۲۴۳	-۰/۰۸۶	۰/۴۰۴	۰/۹۷۲	۳۶/۲	۵۷/۶۵	سبزوار
-۰/۹۳۴	۰/۹۷	۰/۹۰۶	-۰/۷۵۴	۰/۷۹۴	-۰/۵۵۷	۰/۴۹۷	۳۶/۲۵	۴۶/۲۶	سقز
-۰/۳۶۶	۰/۴۹	-۱/۰۵۲	-۰/۳۵۸	-۰/۰۱۴	-۰/۴۸۷	۰/۴۸	۳۵/۳۳	۴۷	سنندج
۰/۵۵	-۰/۴۳۴	-۰/۳۵۵	-۰/۱۰۵	-۰/۵۹۴	۰/۲۹	۱/۰۷۱	۳۶/۵۳	۶۱/۱۶	سرخ
۰/۰۱۹	-۰/۰۴۶	-۰/۳۱۷	۰/۸۴۱	-۰/۹۱۶	۰/۲۱	۰/۹۳۸	۳۵/۵۸	۵۳/۴۱	سمنان

شهرکرد	۵۰/۸۵	۳۲/۲۸	۱/۰۲۶	۰/۲۶۳	۰/۶۴۱	۰/۴۱	-۰/۴۳	۲/۳۱	-۰/۱۳۱
شاهرود	۵۴/۹۵	۳۶/۴۱	۱/۴۳۴	-۰/۴۳۱	-۰/۴۹	۰/۷۵	۰/۰۵۴	-۲/۲۲۳	۰/۰۱۴
شیراز	۵۲/۶	۲۹/۵۳	-۱/۱۲۵	-۰/۷۴۵	۳/۶۳۱	۱/۹۰۳	-۰/۴۱۱	۵/۱۱	۰/۵۷۸
سیرجان	۵۵/۶۸	۲۹/۴۶	-۱/۵۱۲	۰/۱۵۱	۰/۴۶۲	-۰/۱۹۱	-۱/۲۳۶	۲/۸۴	-۰/۹۵۳
طبرس	۵۶/۹۱	۳۳/۶	-۰/۲۴۷	-۰/۸۲۲	-۰/۵۸۸	-۰/۳۹۲	۰/۲۶۷	-۰/۷۱۲	۰/۱۹
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸۳	۰/۳۲۹	-۰/۲۱۲	۰/۱۱۳	۰/۱۴۵	-۰/۴۹۵	-۱/۹۳۱	۰/۱۹
تکاب	۴۷/۱	۳۶/۴	۰/۹۴۲	-۱/۶۰۱	۱/۱۶۳	۰/۲۹۲	-۰/۴۲	۰/۹۹۸	-۱/۴۰۲
تهران	۵۱/۳۱	۳۵/۶۸	۰/۱۴	-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۷	۰/۴	-۰/۶۱۹	۰/۰۵	۰/۱۷۸
زابل	۶۱/۴۸	۳۱/۰۲	۰/۳۳۵	۰/۱۵۴	-۰/۷۷	۰/۸۳۶	-۰/۹۶۳	-۰/۲۴۷	-۰/۰۳۶
زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۶	۰/۱۷۶	۰/۰۵۷	-۰/۵۸۵	۰/۰۱۴	-۱/۰۸۲	۰/۶۵	۰/۱۷۴
زنجان	۴۸/۵	۳۶/۶۸	-۰/۳۵۴	۰/۲۳۹	-۰/۲۲۲	۰/۳۳	-۰/۶۴۶	-۱/۶۴	-۰/۱۸۵
		روند منفی	۱۰	۳۰	۲۶	۲۳	۴۲	۱۹	۲۳
		بدون روند	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰
		روند مثبت	۴۴	۲۴	۲۸	۳۱	۱۲	۳۵	۳۰
		معنی دار منفی	۰	۱	۲	۴	۶	۰	۰
		معنی دار مثبت	۱	۲	۱	۰	۹	۲	۶
		غیرمعنی دار	۴۸	۵۳	۵۱	۵۱	۵۰	۳۹	۵۲

آنچه که باعث ایجاد تمایز میان کارشناسان و متخصصان هواشناسی و طراحان هیدرولیکی می شود عدم وجود زیان مشترک در میان آن ها می باشد. نتایج این تحقیق از جانب یکی از متخصصین هواشناسی و منابع آب ارائه شده است که برخی از این اعداد را تغییر معناداری دانسته در حالی که این تغییرات برای طراحان هیدرولیکی پل ها مقادیر قابل توجهی نبوده و تاثیری در پارامترهای محاسباتی نخواهد داشت. با این تفاسیر این تغییرات می تواند در حوضه مدیریت منابع آب موثر باشد و تنها میتوان به این نکته اشاره نمود که زمان ذوب برف ها نسبت به سال های گذشته در زمان های کوتاهتر و زودتری اتفاق خواهد افتاد.

فصل هفتم

برآورد دبی و بارندگی طرح

۷- فصل هفتم: برآورد دبی و بارندگی طرح

۷-۱- مقدمه

تخمین دبی با استفاده از روش‌های آماری یا تجربی صورت می‌پذیرد. در صورتی که منطقه مطالعاتی دارای ایستگاه هیدرومتری باشد می‌توان از روش‌های تحلیل فراوانی برای برآورد دبی طرح استفاده کرد در غیر این صورت روش‌های مبتنی بر بارش-رواناب یا استفاده از روش‌های تجربی مانند روش دایکن که از آمار ایستگاه‌های مجاور استفاده می‌نماید نیز با توجه به شرایط پروژه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این بخش به معرفی این روش‌ها و شرایط استفاده از آن‌ها پرداخته می‌شود.

۷-۲- تحلیل فراوانی

استفاده از آمار ثبت شده دبی‌های تاریخی و البته بلندمدت و با به کارگیری توزیع‌های آماری، برآورد احتمال وقوع پدیده‌های هیدرولوژی را ممکن می‌سازد. این روش زمانی کارایی لازم را دارد که طول آماری که برای آنالیز مورد استفاده قرار می‌گیرد کافی باشد. توزیع مورد استفاده برای تحلیل فراوانی می‌تواند تجربی و نیمه تجربی باشد. پرکاربردترین توزیع‌های آماری برای تحلیل فراوانی رخداد سیل شامل توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳، پیرسون تیپ ۳، گامبل تیپ ۱ و لوگ نرمال دو پارامتری می‌باشد. توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ بعنوان روش مبنا از طرف کنسولگری مرکز منابع آب ایالت متحده آمریکا بدین منظور پیشنهاد شده است چرا که تحلیل‌ها نشان داده است که این توزیع بیشترین هم‌خوانی و تناسب را بر روی داده‌های بسیاری از ایستگاه‌های هیدرومتری دارد. طول دوره آماری مورد نیاز براساس نظریه ۱۹۸۱-Bullet، بایستی حداقل برابر با ۱۰ سال باشد. USGS در سال ۱۹۷۳ به منظور تحلیل فراوانی پدیده‌های هیدرولوژیکی دسته‌بندی زیر را ارائه نموده است:

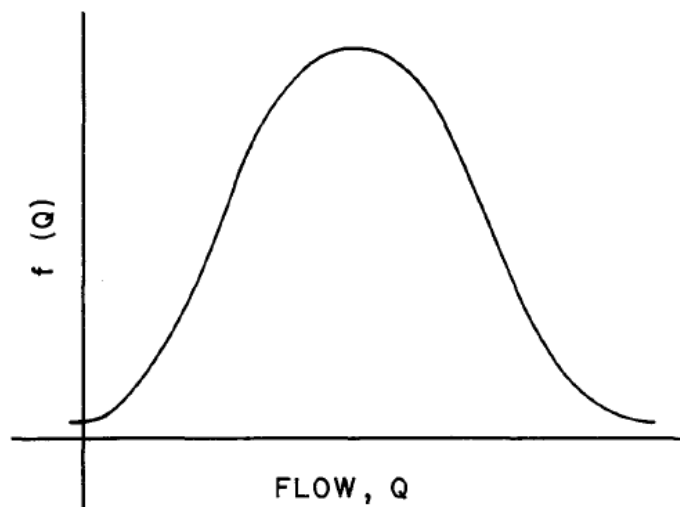
- ✓ برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال: نیاز به حداقل ۵ سال دوره آماری می‌باشد.
- ✓ برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال: نیاز به حداقل ۱۵ سال دوره آماری می‌باشد.
- ✓ برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال: نیاز به حداقل ۲۰ سال دوره آماری می‌باشد.

✓ برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال: نیاز به حداقل ۲۵ سال دوره آماری می‌باشد.

هر چند امروزه با استفاده از نرم افزارهایی همچون Hyfran Plus و یا Smada استفاده از توابع توزیع احتمال بسیار ساده شده است اما بدلیل فهم نحوه کارکرد آن‌ها در ادامه تئوری حاکم بر برخی از این توزیع‌ها که کاربرد فراوانی در بحث‌های هیدرولوژیکی دارند تشریح می‌گردد.

۷-۲-۱- توزیع نرمال

توزیع نرمال یا توزیع گوسین یک توزیع ریاضی کلاسیک می‌باشد که برای آنالیز پدیده‌های طبیعی استفاده می‌گردد. توزیع نرمال یک توزیع متقارن، زنگوله‌ای شکل با بیشترین مقدار در نقطه مرکزی و از $-\infty$ تا ∞ گسترش یافته است. یک فرم کلی از این توزیع در شکل ۷-۱ نشان داده شده است.



شکل ۷-۱- توزیع نرمال

برای توزیع نرمال حداکثر مقدار مرکزی در جریان میانگین رخ می‌دهد. به دلیل تقارن نیمی از جریان بالای میانگین و نیم دیگر در پایین میانگین قرار دارد بنابراین میانه بر میانگین منطبق است. در این توزیع ۶۸.۳ رویدادها در بازه $\pm S$ (انحراف استاندارد)، ۹۵ درصد بین $\pm 2S$ و ۹۹.۷ درصد در بازه $\pm 3S$ اتفاق می‌افتد. چولگی در این توزیع صفر می‌باشد. (رابطه ۷-۱) این توزیع را تشریح می‌نماید:

$$f(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(Q-\bar{Q})^2}{2S^2}} \quad (\text{رابطه ۷-۱})$$

برای محاسبه این توزیع تنها به دو پارامتر مقدار میانگین و انحراف از استاندارد نیاز می‌باشد. استفاده از توزیع فراوانی تجمعی و یا انتگرال معادله فوق به منظور آنالیز داده‌های هیدرولوژیکی به دلیل ارتباط مستقیم با جریان راحت‌تر می‌باشد. مقادیر احتمال تجمعی برای توزیع نرمال با چولگی صفر به صورت جدول ۷-۱ ارائه شده است:

جدول ۷-۱- احتمال تجمعی توزیع نرمال

چولگی صفر	احتمال تجمعی (درصد)	۵۰	۲۰	۱۰	۴	۲	۱	۰.۲
	دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
	K	۰	۰.۸۴۱۶	۱.۲۸۱۶	۱.۷۵۰۷	۲.۰۵۳۸	۲.۳۲۶۴	۲.۸۷۸۲

اگر یک سری داده‌های سیلاب در اختیار باشد که به صورت نرمال توزیع شده باشد آنگاه خط مطابق با (رابطه ۷-۲) بر این داده‌ها منطبق خواهد بود:

$$Q = \bar{Q} + KS \quad (\text{رابطه ۷-۲})$$

مقادیر میانگین، واریانس و انحراف از معیار از رابطه محاسبه می‌گردد:

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i \quad (\text{رابطه ۷-۳})$$

$$QS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 \quad (\text{رابطه ۷-۴})$$

$$QSS = \sqrt{QS} \quad (\text{رابطه ۷-۵})$$

در رابطه فوق l_7 گشتاور مرتبه دوم می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$l_7 = 7b_7 - b_1 \quad (\text{رابطه ۷-۶})$$

در رابطه فوق b_1 برابر با پارامتر میانگین مطابق با (رابطه ۷-۳) و مقدار b_7 از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$b_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{i-1}{n-1} \right) Q_i \quad (\text{رابطه ۷-۷})$$

مقادیر K از جدول ۷-۳ بدست می آید. همچنین می توان مقدار دبی را بدون استفاده از جدول و با توجه به روشی موسوم به PWM و با استفاده از (رابطه ۷-۸) بدست آورد:

$$u = W - \frac{C_1 + C_2 W + C_3 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (\text{رابطه ۷-۸})$$

که در این رابطه $C_1 = ۰.۸۰۲۸۵۳$ ، $C_2 = ۰.۰۱۰۳۲۸$ ، $C_3 = ۱.۴۳۲۷۸۸$ ، $d_1 = ۰.۱۸۹۲۶۹$ ، $d_2 = ۰.۰۰۱۳۰۸$ می باشد. مقدار W برای مقادیر احتمال (P) کوچکتر از ۰.۵ از (رابطه ۷-۹) بدست می آید:

$$W = \sqrt{-2 \log(P)} \quad (\text{رابطه ۷-۹})$$

که مقدار P برابر با $1-F$ می باشد که F احتمال هر کلاس می باشد. برای مقادیر P بیش از ۰.۵ مقدار P در رابطه فوق با $1-P$ جایگزین شده و مقدار u در یک منفی ضرب می گردد و نهایتاً مقدار دبی یا بارندگی و یا هر پارامتر دیگر از (رابطه ۷-۱۰) حاصل می شود:

$$\hat{x}_T = M + Su \quad (\text{رابطه ۷-۱۰})$$

که در رابطه فوق M میانگین و S واریانس داده ها می باشد.

مثال: داده های دبی سیلاب رودخانه *Near Delphi* مطابق با جدول زیر می باشد مقدار دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله را تخمین بزنید.

جدول ۷-۲- مقادیر دبی ثبت شده رودخانه *Near Delphi*

ردیف	سال	جریان (فوت مکعب بر ثانیه)
۱	۱۹۴۰	۶۲۹۰
۲	۱۹۴۱	۲۷۰۰
۳	۱۹۴۲	۱۳۱۰۰
۴	۱۹۴۳	۱۶۹۰۰
۵	۱۹۴۴	۱۴۶۰۰
۶	۱۹۴۵	۹۶۰۰
۷	۱۹۴۶	۷۷۴۰

جدول ۷-۲- مقادیر دبی ثبت شده رودخانه Near Delphi

ردیف	سال	جریان (فوت مکعب بر ثانیه)
۸	۱۹۴۷	۸۴۹۰
۹	۱۹۴۸	۸۱۳۰
۱۰	۱۹۴۹	۱۲۰۰۰
۱۱	۱۹۵۰	۱۷۲۰۰
۱۲	۱۹۵۱	۱۵۰۰۰
۱۳	۱۹۵۲	۱۲۴۰۰
۱۴	۱۹۵۳	۶۹۶۰
۱۵	۱۹۵۴	۶۵۰۰
۱۶	۱۹۵۵	۵۸۴۰
۱۷	۱۹۵۶	۱۰۴۰۰
۱۸	۱۹۵۷	۱۸۸۰۰
۱۹	۱۹۵۸	۲۱۴۰۰
۲۰	۱۹۵۹	۲۲۶۰۰
۲۱	۱۹۶۰	۱۴۲۰۰
۲۲	۱۹۶۱	۱۱۰۰۰
۲۳	۱۹۶۲	۱۲۸۰۰
۲۴	۱۹۶۳	۱۵۷۰۰
۲۵	۱۹۶۴	۴۷۴۰
۲۶	۱۹۶۵	۶۹۵۰
۲۷	۱۹۶۶	۱۱۸۰۰
۲۸	۱۹۶۷	۱۲۱۰۰
۲۹	۱۹۶۸	۲۰۶۰۰
۳۰	۱۹۶۹	۱۴۶۰۰
۳۱	۱۹۷۰	۱۴۶۰۰
۳۲	۱۹۷۱	۸۹۰۰
۳۳	۱۹۷۲	۱۰۶۰۰
۳۴	۱۹۷۳	۱۴۲۰۰
۳۵	۱۹۷۴	۱۴۱۰۰
۳۶	۱۹۷۵	۱۴۱۰۰
۳۷	۱۹۷۶	۱۲۵۰۰
۳۸	۱۹۷۷	۷۵۳۰
۳۹	۱۹۷۸	۱۳۴۰۰

جدول ۷-۲- مقادیر دبی ثبت شده رودخانه Near Delphi

ردیف	سال	جریان (فوت مکعب بر ثانیه)
۴۰	۱۹۷۹	۱۷۶۰۰
۴۱	۱۹۸۰	۱۳۴۰۰
۴۲	۱۹۸۱	۱۹۲۰۰
۴۳	۱۹۸۲	۱۶۹۰۰
۴۴	۱۹۸۳	۱۵۵۰۰
۴۵	۱۹۸۴	۱۴۵۰۰
۴۶	۱۹۸۵	۲۱۹۰۰
۴۷	۱۹۸۶	۱۰۴۰۰
۴۸	۱۹۸۷	۷۴۶۰

مقادیر میانگین و واریانس برای داده‌ها با استفاده از (رابطه ۷ - ۳) و (رابطه ۷ - ۴) به ترتیب برابر با ۱۲۶۶۵ و ۴۶۶۰ می‌باشد.

$$Q_T = 12665 + 4660.QSS \quad (\text{رابطه ۷ - ۱۱})$$

برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله احتمال برابر با ۰.۰۱ بوده و مقادیر پارامترهای U و W با استفاده از (رابطه ۷ - ۸) و (رابطه ۷ - ۹) به ترتیب برابر با ۳.۰۳۴۸۵۴ و ۲.۳۶۷۸۵ می‌باشد. با جایگذاری مقادیر فوق در (رابطه ۷ - ۱۰) و در نتیجه (رابطه ۷ - ۱۱) مقدار دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برابر با ۲۳۷۰۰ فوت مکعب بر ثانیه خواهد بود.

۷-۲-۲- توزیع لوگ نرمال

این توزیع پارامترهای یکسانی با توزیع نرمال به عنوان ورودی می‌پذیرد به جز آنکه متغیر وابسته با لگاریتمش جایگزین می‌شود. شاخص اصلی توزیع لوگ نرمال این است که از سمت چپ به عدد صفر محدود شده و دارای چولگی مثبت می‌باشد. اگر یک تبدیل لگاریتمی بر روی تابع توزیع نرمال انجام شود خروجی تابع لوگ نرمال اغلب به صورت نرمال توزیع می‌شود. با توجه به این موضع می‌توان از مقادیر ارائه شده در جدول مربوط به توزیع نرمال و ضریب K که برای توزیع

نرمال استفاده می‌شود، برای توزیع لوگ نرمال زمانی که از داده‌ها لگاریتم گرفته می‌شود و ضریب چولگی صفر است بهره برد. برای توزیع‌های لوگ نرمال دارای چولگی می‌توان برای بدست آوردن ضریب K از جدول ۷-۳ استفاده کرد.

جدول ۷-۳- مقادیر ضریب K

احتمال %							ضریب چولگی
۰.۲	۱	۴	۲	۱۰	۲۰	۵۰	
دوره بازگشت							
۵۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	
۲.۹۹۱۳	۲.۳۹۹۸	۲.۱۰۷	۱.۷۸۴۷	۱.۲۹۱۶	۰.۸۳۶۴	-۰.۰۱۶۵	۰.۱
۳.۱۲۰۱	۲۴,۷۵۷	۲.۱۶۱۱	۱.۸۱۸۲	۱.۳۰۰۳	۰.۸۲۹۶	-۰.۰۳۳۴	۰.۲
۳.۲۴۸۶	۲.۵۴۹۷	۲.۲۱۳	۱۸,۴۹۵	۱.۳۰۷۴	۰.۸۲۲	-۰.۰۴۹۶	۰.۳
۳.۳۹۲۴	۲.۶۳۰۴	۲.۲۶۸۶	۱.۸۸۲	۱.۳۱۳۴	۰.۸۱۲۴	-۰.۰۶۷۱	۰.۴
۳.۵۱۴۶	۲.۶۹۷۳	۲.۳۱۳۹	۱.۹۰۷۸	۱.۳۱۷	۰.۸۰۳۴	-۰.۰۸۱۳	۰.۵
۳.۶۴۳۱	۲.۷۶۶	۲.۳۵۹۷	۱.۹۳۲۹	۱.۳۱۹۴	۰.۷۹۳۴	-۰.۰۹۵۷	۰.۶
۳.۷۸۱۸	۲.۸۳۸۳	۲.۴۰۶۹	۱.۹۵۸	۱.۳۲۰۵	۰.۷۸۱۷	-۰.۱۱۰۶	۰.۷
۳.۹۱۷۹	۲.۹۰۷۴	۲.۴۵۱۲	۱.۹۸۰۶	۱.۳۲۰۱	۰.۷۶۹۷	-۰.۱۲۴۶	۰.۸
۴.۰۴۶۵	۲۹,۷۱۰	۲.۴۹۱۲	۲.۰۰۰۲	۱.۳۱۸۵	۰.۷۵۷۷	-۰.۱۳۷۳	۰.۹
۴.۱۸۴۴	۳۰,۳۷۵	۲.۵۳۲	۲.۰۱۹۳	۱.۳۱۵۵	۰.۷۴۴۳	-۰.۱۵۰۳	۱
۴.۳۰۱۲	۳۰.۹۲۳	۲.۵۶۵	۲.۰۳۴	۱.۳۱۱۹	۰.۷۳۲۶	-۰.۱۶۰۸	۱.۱
۴.۴۳۰۹	۳.۱۵۱۷	۲.۶	۲.۰۴۸۷	۱.۳۰۶۹	۰.۷۱۹۱	-۰.۱۷۲	۱.۲
۴.۵۵۱۸	۳.۲۰۵۶	۲.۶۳۱	۲.۰۶۱	۱.۳۰۱۳	۰.۷۰۶۲	-۰.۱۸۲	۱.۳
۴.۶۶۷۹	۳.۲۵۶	۲.۶۵۹۳	۲.۰۷۱۴	۱.۲۹۵۱	۰.۶۹۳۴	-۰.۱۹۱۱	۱.۴
۴.۷۷۹	۳.۳۰۳	۲.۶۸۵۱	۲.۰۸۰۲	۱.۲۸۸۳	۰.۶۸۰۹	-۰.۱۹۹۶	۱.۵
۴.۸۹۷۹	۳.۳۵۲	۲.۷۱۱۳	۲.۰۸۸۳	۱.۲۸۰۳	۰.۶۶۷۳	-۰.۲۰۸۲	۱.۶
۵.۰۱۱۴	۳.۳۹۷۵	۲.۷۳۴۸	۲.۰۹۴۹	۱.۲۷۱۹	۰.۶۵۴	-۰.۲۱۶	۱.۷
۵.۱۲۳۶	۳.۴۴۱۲	۲.۰۷۵۶۸	۲.۱۰۰۱	۱۲,۶۲۸	۰.۶۴۰۶	-۰.۲۲۳۵	۱.۸
۵.۲۳۰۴	۳.۴۸۱۵	۲.۷۷۶۵	۲.۱۰۴	۱۲,۵۳۶	۰.۶۲۷۶	-۰.۲۳۰۲	۱.۹
۵.۳۳۵۷	۳.۵۲۰۲	۲.۷۹۴۷	۲۱,۰۶۹	۱.۲۴۳۸	۰.۶۱۴۶	-۰.۲۳۶۶	۲
۵.۴۳۱۴	۳.۵۵۴۴	۲.۸۱۰۲	۲.۱۰۸۵	۱.۲۳۴۴	۰.۶۰۲۶	-۰.۲۴۲۱	۲.۱
۵.۵۲۱۹	۳.۵۸۵۸	۲.۸۲۳۹	۲.۱۰۹۲	۱۲,۲۵۰	۰.۵۹۱۱	-۰.۲۴۷۱	۲.۲
۵.۶۱۴۷	۳.۶۱۷۱	۲.۸۳۷۱	۲.۱۰۹۲	۱.۲۱۴۹	۰.۵۷۹۲	-۰.۲۵۲	۲.۳
۵.۷۰۵۹	۳.۶۴۶۹	۲.۸۴۹	۲.۱۰۸۳	۱.۲۰۴۵	۰.۵۶۷۳	-۰.۲۵۶۶	۲.۴
۵.۷۸۸	۳.۶۷۳	۲.۸۵۸۹	۲.۱۰۶۸	۱.۱۹۴۷	۰.۵۵۶۵	-۰.۲۶۰۵	۲.۵

جدول ۷-۳- مقادیر ضریب K

احتمال %							ضریب چولگی
۰.۲	۱	۴	۲	۱۰	۲۰	۵۰	
دوره بازگشت							
۵.۸۶۵	۳.۶۹۶۷	۲.۸۶۷۵	۲.۱۰۴۸	۱.۱۸۵۲	۰.۵۴۶۲	-۰.۲۶۴۱	۲.۶
۵.۹۴۰۶	۳.۷۱۹۳	۲.۸۷۵۳	۲.۱۰۲۲	۱.۱۷۵۵	۰.۵۳۶	-۰.۲۶۷۴	۲.۷
۶.۰۱۴۸	۳.۷۴۰۸	۲.۸۸۲۲	۲.۰۹۹۱	۱.۱۶۵۷	۰.۵۲۵۹	-۰.۲۷۰۶	۲.۸
۶.۰۸۴۱	۳.۷۶۰۳	۲.۸۸۸۱	۲.۰۹۵۶	۱.۱۵۶۲	۰.۵۱۶۴	-۰.۲۷۳۴	۲.۹
۶.۱۵۸۸	۳.۷۸۰۶	۲.۸۹۳۶	۲.۰۹۱۳	۱.۱۴۵۶	۰.۵۰۶	-۰.۲۷۶۳	۳
۶.۲۸۷۲	۳.۸۱۳۸	۲.۹۰۱۴	۲.۰۸۲۵	۱.۱۲۶۶	۰.۴۸۷۹	-۰.۲۸۰۹	۳.۲
۶.۴۰۷۲	۳.۸۴۲۷	۲.۹۰۶۶	۲.۰۷۲۴	۱.۱۰۷۹	۰.۴۷۰۶	-۰.۲۸۴۸	۳.۴
۶.۵۱۳۳	۳.۸۶۶۵	۲۹,۰۹۴	۲.۰۶۲	۱.۰۹۰۵	۰.۴۵۵۱	-۰.۲۸۷۹	۳.۶
۶,۶۱۸۰	۳۸,۸۸۲	۲.۹۱۰۵	۲.۰۵۰۳	۱.۰۷۲۵	۰.۴۳۹۵	-۰.۲۹۰۷	۳.۸
۶.۷۱۲۶	۳.۹۰۶۲	۲.۹۰۹۸	۲.۰۳۸۴	۱.۰۵۵۴	۰.۴۲۵۱	-۰.۲۹۲۹	۴
۶.۹۲۱۹	۳.۹۴۰۱	۲.۹۰۲۴	۲.۰۰۷	۱.۰۱۵	۰.۳۹۲۴	-۰.۲۹۶۹	۴.۵
۷.۰۹۳۷	۳.۹۶۰۸	۲.۸۸۹۳	۱.۹۷۵۵	۰.۹۷۸۴	۰.۳۶۴-۳	-۰.۲۹۹۱	۵

اگر لگاریتم جریان های پیک از توزیع نرمال تبعیت نمایند آنگاه داده های ترسیم شده بر روی کاغذ احتمال لگاریتمی منطبق با یک خط بصورت (رابطه ۷ - ۱۲) خواهد بود:

$$\log Q = \bar{Q}_L + K\bar{S}_L \quad (\text{رابطه ۷ - ۱۲})$$

$\bar{Q}_L$ میانگین لگاریتم داده های پیک جریان

$\bar{S}_L$ انحراف از معیار لگاریتم داده های پیک جریان

همچنین دو رابطه مفید برای تخمین مقادیر $\bar{Q}_L$ و $\bar{S}_L$ با استفاده از مقادیر $\bar{Q}$ و S به صورت (رابطه ۷ - ۱۳) و (رابطه ۷ - ۱۴) می باشد:

$$\bar{Q}_L = \frac{1}{r} \log \left(\frac{\bar{Q}^r}{\bar{Q}^r + S^r} \right) \quad (\text{رابطه ۷ - ۱۳})$$

$$\bar{S}_L = \sqrt{\log\left(\frac{\bar{Q}^r + S^r}{\bar{Q}^r}\right)} \quad (\text{رابطه ۷-۱۴})$$

با استفاده از PWM نیز می‌توان از همان روش ارائه شده برای توزیع نرمال استفاده نمود تنها بایستی از داده‌ها لگاریتم بر مبنای ۱۰ گرفته شود.

۷-۲-۳- توزیع مقادیر حدی گامبل

این توزیع کاربرد زیادی در برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی بخصوص دبی و بارندگی دارد. این توزیع بر این فرض استوار است که توزیع فراوانی تجمعی بزرگترین مقادیر نمونه‌های برداشته شده از یک جمعیت بزرگ می‌تواند با استفاده از (رابطه ۷-۱۵) تشریح گردد:

$$f(Q) = e^{-\alpha(Q-B)} \quad (\text{رابطه ۷-۱۵})$$

که در رابطه فوق مقادیر α و B از (رابطه ۷-۱۶) و (رابطه ۷-۱۷) بدست می‌آید:

$$\alpha = \frac{28}{S} \quad (\text{رابطه ۷-۱۶})$$

$$B = \bar{Q} - 0.450S \quad (\text{رابطه ۷-۱۷})$$

مشخصه اصلی توزیع مقادیر حدی گامبل این می‌باشد که جریان میانگین در دوره بازگشت ۲.۳۳ سال رخ داده و به سمت مقادیر بیشتر چولگی مثبت دارد. اگر این توزیع را بر روی کاغذهای بخصوصی (کاغذ گامبل) ترسیم شود یک خط راست حاصل می‌گردد که میتوان این معادله این خط را به صورت $Q = \bar{Q} + KS$ بیان کرد. مقادیر ضریب K را میتوان از جدول ۷-۴ استخراج نمود:

جدول ۷-۴- مقادیر K برای توزیع گامبل

احتمال %							اندازه نمونه
۵۰	۲۰	۱۰	۲	۴	۱	۰.۲	
دوره بازگشت							اندازه نمونه
۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰	
-۰.۱۳۵۵	۱.۰۵۸۱	۱.۸۴۳	۲.۸۴۶۸	۳.۵۸۷۶	۴.۲۲۸	۶.۰۲۱۹	۱۰
-۰.۱۴۳۳	۰.۹۶۷۲	۱.۷۰۵	۲.۶۳۱۵	۳.۳۲۰۷	۴.۰۰۴۸	۵.۵۸۵۷	۱۵
-۰.۱۴۷۸	۰.۹۱۸۶	۱.۶۲۷	۲.۵۱۶۹	۳.۱۷۸۷	۳.۳۵۷	۵.۳۵۳۸	۲۰
-۰.۱۵۰۶	۰.۸۸۷۹	۱.۵۷۵	۲.۴۴۴۲	۳.۰۸۸۷	۳.۷۲۸۵	۵.۲۰۶۸	۲۵
-۰.۱۵۲۵	۰.۸۶۶۴	۱.۵۴	۲.۳۹۳۳	۳.۰۲۵۷	۳.۶۵۳۳	۵.۱۰۳۸	۳۰
-۰.۱۵۴۰	۰.۸۵۰۴	۱.۵۱۳	۲.۳۵۵۵	۲.۹۷۸۹	۳.۵۹۷۶	۵.۰۲۷۳	۳۵
-۰.۱۵۵۲	۰.۸۳۷۹	۱.۴۹۵	۲.۳۲۶۲	۲.۹۴۲۶	۳.۵۵۴۳	۴.۹۶۸	۴۰
-۰.۱۵۶۱	۰.۸۲۸	۱.۴۷۵	۲.۳۰۲۷	۲.۹۱۳۴	۳.۵۱۹۶	۴۹,۲۰۴	۴۵
-۰.۱۵۶۸	۰.۸۱۹۷	۱.۴۶۲	۲.۲۸۳۱	۲.۸۸۹۲	۳.۴۹۰۷	۴.۸۸۰۸	۵۰
-۰.۱۵۷۴	۰.۸۱۲۸	۱.۴۵۲	۲.۲۶۶۸	۲.۸۶۹	۳.۴۶۶۷	۴.۸۴۷۸	۵۵
-۰.۱۵۸	۰.۸۰۶۹	۱.۴۴۷	۲.۲۵۲۹	۲.۸۵۱۷	۳.۴۴۶۰	۴.۸۱۹۵	۶۰
-۰.۱۵۸۴	۰.۸۰۱۹	۱.۴۳۷	۲.۲۴۱	۲.۸۳۶۹	۳.۴۲۸۵	۴.۷۹۵۵	۶۵
-۰.۱۵۸۸	۰.۷۹۷۳	۱.۴۳۴	۲.۲۳۰۲	۲.۸۲۳۶	۳۴,۱۲۶	۴.۷۷۳۸	۷۰
-۰.۱۵۹۲	۰.۷۹۳۴	۱,۴۲۲	۲.۲۲۱۱	۲.۸۱۲۳	۳.۳۹۹۱	۴.۷۵۵۲	۷۵
-۰.۱۵۹۵	۰,۷۸۹۹	۱.۴۱۶	۲.۲۱۲۸	۲.۸۰۲	۳.۳۸۶۹	۴.۷۳۸۴	۸۰
-۰.۱۵۹۸	۰.۷۸۶۸	۱.۴۱۵	۲.۲۰۵۴	۲.۷۹۲۸	۳.۳۷۵۹	۴.۷۲۳۴	۸۵
-۰.۱۶	۰.۷۸۴	۱.۴	۲۱,۹۸۷	۲.۷۸۴۵	۳.۳۶۶	۴.۷۰۹۸	۹۰
-۰.۱۶۰۲	۰.۷۸۱۵	۱.۴۰۹	۲۱,۹۲۶	۲.۷۷۷	۳.۳۵۷	۴.۶۹۷۴	۹۵
-۰.۱۶۰۴	۰.۷۷۹۱	۱.۴۰۱	۲۱,۸۶۹	۲.۷۶۹۹	۳,۳۴۸۷	۴.۶۸۶	۱۰۰

با استفاده از روشی موسوم به PWM میتوان پارامتر موردنظر با هر دوره بازگشتی را با استفاده از (رابطه ۷ - ۱۸) الی

(رابطه ۷ - ۱۹) بدست آورد:

$$\alpha = \frac{\epsilon^{0.5}}{\pi} S \quad (\text{رابطه ۷ - ۱۸})$$

$$\beta = M - 0.45005S \quad (\text{رابطه ۷ - ۱۹})$$

$$X_T = \beta - \alpha \log(-\log(P)) \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۰})$$

همچنین میتوان مقدار پارامتر K را از رابطه زیر استخراج نمود:

$$K_T = \beta - \alpha \log(-\log(P)) \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۱})$$

تعریف پارامترها همان است که در مورد توزیع نرمال توضیح داده شد.

۷-۲-۴- توزیع پیرسون تیپ ۳

به منظور بدست آوردن مقدار پارامتر هیدرولوژیکی با یک دوره بازگشت مشخص با استفاده از توزیع آماری پیرسون تیپ

۳ از رابطه زیر استفاده می گردد:

$$X_T = \hat{\alpha} \hat{B} + \hat{Y} + K_T \sqrt{\hat{\alpha}} \hat{B} \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۲})$$

پارامترهای مورد استفاده در رابطه فوق با استفاده از روابط زیر بدست می آیند:

$$B = \left(\frac{\tau}{C_s}\right)^{\tau} \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۳})$$

$$\alpha = \left(\frac{S^{\tau}}{B}\right)^{0.5} \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۴})$$

$$Y = M - \left(\frac{S^{\tau}}{B}\right)^{0.5} \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۵})$$

$$K_T = \left(\frac{\tau}{C_s}\right) \left(\left(\frac{C_s}{\epsilon} \right) \left(u - \frac{C_s}{\epsilon} \right) + 1 \right)^{\tau} - 1 \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۶})$$

در روابط فوق:

M میانگین داده ها، S انحراف از معیار، u واریانس و C_s چولگی می باشد.

۷-۲-۵- توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳

یکی دیگر از توزیع هایی که کاربرد وسیعی در آنالیزهای هیدرولوژیکی دارد این توزیع می باشد. لوگ پیرسون تیپ ۳ یک توزیع گاما سه پارامتری با تبدیل لگاریتمی متغیر وابسته می باشد. این توزیع در اغلب موارد با داده ها تطابق دارد و انعطاف پذیری خوبی برای استفاده با توزیع های دیگر دارد. به همین دلیل است که انجمن منابع آب آمریکا پیشنهاد داده است که این توزیع بعنوان توزیع استاندارد در آنالیز فروانی سیل استفاده گردد. با استفاده از میانگین، انحراف از معیار و ضریب چولگی برای هر سری از داده های جریان پیک سالانه که از آن ها لگاریتم گرفته شده است و با کمک جدول ۷-۵ (مقادیر K) و با استفاده از (رابطه ۷-۲۷) مقادیر سیل با هر فراوانی را بدست آورد:

$$\log Q = \bar{Q}_L + K\bar{S}_L \quad (\text{رابطه ۷-۲۷})$$

جدول ۷-۵- ضرایب K برای توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳

دوره بازگشت							
چولگی	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
۳	-۰.۳۹۵۵	۰.۴۲۰۴	۱.۱۸۰۱	۲.۲۷۷۸	۳.۱۵۱۹	۴.۰۵۱۴	۶۲.۰۵۱
۲.۸	-۰.۳۸۳۵	۰.۴۵۹۸	۱.۲۱۰۱	۲.۲۷۴۷	۳.۱۱۴۰	۳.۹۷۳	۶۰.۱۸۶
۲.۶	-۰.۳۶۸۵	۰.۴۹۸۷	۱.۲۳۷۷	۲.۲۶۷۴	۳.۰۷۱۲	۳.۸۸۹۳	۵۶.۲۸۲
۲.۴	-۰.۳۵۰۶	۰.۵۳۶۸	۱.۲۶۲۴	۲.۲۵۵۸	۳.۰۲۳۳	۳.۸۰۰۱	۵۶.۲۸۲
۲.۲	-۰.۳۳	۰.۵۷۳۸	۱.۲۸۴۱	۲.۲۳۹۷	۲.۹۷۰۳	۳.۷۰۵۴	۵۴.۲۴۳
۲	-۰.۳۰۶۹	۰.۶۰۹۴	۱.۳۰۲۶	۲.۲۱۸۹	۲.۹۱۲۰	۳.۶۰۵۲	۵۲.۱۴۶
۱.۸	-۰.۲۸۱۵	۰.۶۴۳۴	۱.۳۱۷۶	۲.۱۹۳۳	۲.۸۴۸۵	۳.۴۹۹۴	۴.۹۹۹۴
۱.۶	-۰.۲۵۴۲	۰.۶۷۵۳	۱.۳۲۹	۲.۱۶۲۹	۲.۷۷۹۶	۳.۳۸۸	۴.۷۷۸۸
۱.۴	-۰.۲۲۵۴	۰.۷۰۵۱	۱.۳۳۶۷	۲.۱۲۷۷	۲.۷۰۵۶	۳.۲۷۱۳	۴.۵۵۳
۱.۲	-۰.۱۹۵۲	۰.۷۳۲۶	۱.۳۴۰۵	۲.۰۸۷۶	۲.۶۲۶۳	۳.۱۴۹۴	۴.۳۲۲۶
۱	-۰.۱۶۴	۰.۷۵۷۵	۱.۳۴۰۴	۲.۰۴۲۷	۲.۵۴۲۱	۳.۰۲۲۶	۴.۰۸۸
۰.۸	-۰.۱۳۲	۰.۷۷۹۹	۱.۳۳۶۴	۱.۹۹۳۱	۲.۴۵۳	۲.۸۹۱	۳.۸۴۹۸
۰.۶	-۰.۰۹۹۵	۰.۷۹۹۵	۱.۳۲۵	۱.۹۳۹	۲.۳۵۹۳	۲.۷۵۵۱	۳.۶۰۸۷
۰.۴	-۰.۰۶۶۵	۰.۸۱۶۴	۱.۳۱۶۷	۱.۸۸۰۴	۲.۲۶۱۳	۲.۶۱۵۴	۳۳.۶۵۷
۰.۲	-۰.۰۳۳۳	۰.۸۳۰۴	۱.۳۰۱۱	۱.۸۱۷۶	۲.۱۵۹۴	۲.۴۷۲۳	۳.۱۲۱۷
۰	۰	۰.۸۴۱۶	۱.۲۸۱۶	۱.۷۵۰۷	۲.۰۵۳۸	۲.۳۲۶۴	۲۸.۷۸۲

جدول ۷-۵- ضرایب K برای توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳

دوره بازگشت							
چولگی	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
-۰.۲	۰.۰۳۳۳	۰.۸۴۹۹	۱.۲۵۸۲	۱.۶۸	۱.۹۴۵۰	۲.۱۷۸۴	۲۶.۳۶۷
-۰.۴	۰.۰۶۶۵	۰.۸۵۵۱	۱.۲۳۱۱	۱.۶۰۵۷	۱.۸۳۳۶	۲.۰۲۹۳	۲.۳۹۹۴
-۰.۶	۰.۰۹۹۵	۰.۸۵۷۲	۱.۲۰۰۳	۱.۵۲۸۳	۱.۷۲۰۳	۱.۸۸۰۳	۲.۱۶۸۸
۰	۰.۱۳۲	۰.۸۵۶۱	۱.۱۶۵۷	۱.۴۴۸۱	۱.۶۰۶۰	۱.۷۳۲۷	۱.۹۴۸۱
-۱	۰.۱۶۴	۰.۸۵۱۶	۱.۱۲۷۶	۱.۳۶۵۸	۱.۴۹۱۹	۱.۵۸۸۴	۱.۷۴۰۶
-۱.۲	۰.۱۹۵۲	۰.۸۴۳۷	۱.۰۸۶۱	۱.۲۸۲۳	۱.۳۷۹۳	۱.۴۴۹۴	۱۵.۵۰۲
-۱.۴	۰.۲۲۵۴	۰.۸۳۲۲	۱.۰۴۱۴	۱.۱۹۸۴	۱.۲۷	۱.۳۱۸۲	۱۳.۷۹۸
-۱.۶	۰.۲۵۴۲	۰.۸۱۷۲	۰.۹۹۴۲	۱.۱۱۵۷	۱.۱۶۵۸	۱.۱۹۶۸	۱.۲۳۱۳
-۱.۸	۰.۲۸۱۵	۰.۷۹۸۶	۰.۹۴۵	۱.۰۳۵۴	۱.۰۶۸۶	۱.۰۸۷۱	۱.۱۰۴۷
-۲	۰.۳۰۶۹	۰.۷۷۶۹	۰.۸۹۴۶	۰.۹۵۹۲	۰.۹۷۹۸	۰.۹۹	۰.۹۹۸
-۲.۲	۰.۳۳	۰.۷۵۲۱	۰.۸۴۴۲	۰.۸۸۸۱	۰.۹۰۰۱	۰.۹۰۵۲	۰.۹۰۸۵
-۲.۴	۰.۳۵۰۶	۰.۷۲۵	۰.۷۹۴۷	۰.۸۲۳۲	۰.۸۲۹۶	۰.۸۳۲	۰.۸۳۳۲
-۲.۶	۰.۳۶۸۵	۰.۶۹۶	۰.۷۴۷۱	۰.۷۶۴۶	۰.۷۶۷۸	۰.۷۶۸۸	۰.۷۶۹۲
-۲.۸	۰.۳۸۳۵	۰.۶۶۶	۰.۷۰۲۱	۰.۷۱۲۳	۰.۷۱۳۸	۰.۷۱۴۲	۰.۷۱۴۳
۳	۰.۳۹۶	۰.۶۳۶	۰.۶۶	۰.۶۶۵۹	۰.۶۶۶۵	۰.۶۶۶۷	۰.۶۶۶۷

در هیدرولوژی گشتاور ها با میانگین صفر و غیر صفر مطابق با فرمول های زیر محاسبه می گردند:

$$m_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i^r \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۸})$$

$$m_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^r \quad (\text{رابطه ۷ - ۲۹})$$

به منظور برآورد یک پارامتر هیدرولوژیکی با استفاده از روش گشتاور معمولی با یک دوره بازگشت مشخص (T) از

روابط استفاده می گردد:

$$Z_T = \log X_T = \mu_Z + K_T \sigma_Z \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۰})$$

به منظور بدست آوردن پارامتر های معادله فوق از سری روابط زیر استفاده می گردد:

$$u_Z = \gamma + \alpha\beta \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۱})$$

$$\sigma_Z = \alpha\sqrt{\beta} \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۲})$$

$$C_S = \frac{\gamma}{\sqrt{\beta}} \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۳})$$

ضریب K_T از رابطه ارائه شده توسط *Wilson - Hilferty* بدست آورده می شود:

$$K_T = \frac{\gamma}{C_S} \left[\left\{ \frac{C_S}{\epsilon} \left(u - \frac{C_S}{\epsilon} \right) + 1 \right\}^{\gamma} - 1 \right] \quad \text{for } C_S > 0 \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۴})$$

نهایتا بعد از محاسبه پارامتر Z_T مقدار نهایتا پارامتر X_T از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$X_T = e^{Z_T} \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۵})$$

پارامتر های α ، β و γ از روابط زیر بدست می آید:

$$B = \frac{\log \dot{m}_{\gamma} - \log \dot{m}_1}{\log \dot{m}_{\gamma} - \log \dot{m}_1} \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۶})$$

$$A = \frac{1}{\alpha} - \gamma \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۷})$$

با توجه به مقادیر بدست آمده برای پارامتر B میتوان مقادیر A را از رابطه های زیر محاسبه کرد:

$$A = -0.23019 + 1.65262C + 0.20911C^2 - 0.04557C^3 \quad \text{if } 3.5 < B < 6 \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۸})$$

$$A = -0.47157 + 1.99955C \quad \text{if } 3 < B \leq 3.5 \quad (\text{رابطه ۷ - ۳۹})$$

پارامتر C از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$C = \frac{1}{B - 3} \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۰})$$

پارامتر β از رابطه زیر قابل استخراج می باشد:

$$\beta = \frac{\log m_2 - 2 \log m_1}{\log [(1 - \alpha)^2 - \log (1 - 2\alpha)]} \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۱})$$

و نهایتاً پارامتر γ از رابطه زیر بدست می آید:

$$\gamma = \log m_1 + \beta \log (1 - \alpha) \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۲})$$

در صورتی که مقدار B در رنج مقادیر ارائه شده در رابطه های بالا نباشد پس از محاسبه مقدار B برای بدست آوردن پارامتر α از رابطه زیر استفاده می گردد:

$$B = \frac{\log ((1 - \alpha)^3 / (1 - 3\alpha))}{\log ((1 - \alpha)^2 / (1 - 2\alpha))} \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۳})$$

روش دیگر برای استفاده از این توزیع آن است که ابتدا از داده ها لگاریتم گرفته شده و از توزیع پیرسون تیپ ۳ استفاده گردد.

مثال: مقدار دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله را با استفاده از توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ برای مقادیر دبی ماکزیمم رودخانه Wabash مطابق با جدول زیر بدست آورید:

جدول ۷-۶- مقادیر دبی ثبت شده رودخانه Wabash

ردیف	سال	دبی (فوت مکعب بر ثانیه)
۱	۱۹۲۴	۴۵۴۰۰
۲	۱۹۲۵	۵۲۹۰۰
۳	۱۹۲۶	۴۱۹۰۰
۴	۱۹۲۷	۴۴۳۰۰
۵	۱۹۲۸	۴۰۳۰۰
۶	۱۹۲۹	۲۹۳۰۰
۷	۱۹۳۰	۶۱۴۰۰
۸	۱۹۳۱	۱۱۱۰۰
۹	۱۹۳۲	۳۰۳۰۰
۱۰	۱۹۳۳	۴۶۸۰۰
۱۱	۱۹۳۴	۱۶۱۰۰
۱۲	۱۹۳۵	۲۶۴۰۰
۱۳	۱۹۳۶	۶۳۷۰۰
۱۴	۱۹۳۷	۴۸۸۰۰
۱۵	۱۹۳۸	۴۸۸۰۰
۱۶	۱۹۳۹	۵۷۶۰۰

جدول ۷-۶- مقادیر دبی ثبت شده رودخانه Wabash

ردیف	سال	دبی (فوت مکعب بر ثانیه)
۱۷	۱۹۴۰	۳۰۰۰۰
۱۸	۱۹۴۱	۱۴۴۰۰
۱۹	۱۹۴۲	۲۹۸۰۰
۲۰	۱۹۴۳	۸۹۸۰۰
۲۱	۱۹۴۴	۴۹۰۰۰
۲۲	۱۹۴۵	۳۱۰۰۰
۲۳	۱۹۴۶	۲۶۶۰۰
۲۴	۱۹۴۷	۳۱۰۰۰
۲۵	۱۹۴۸	۳۰۸۰۰
۲۶	۱۹۴۹	۴۰۰۰۰
۲۷	۱۹۵۰	۷۰۷۰۰
۲۸	۱۹۵۱	۳۳۵۰۰
۲۹	۱۹۵۲	۳۴۸۰۰
۳۰	۱۹۵۳	۲۸۱۰۰
۳۱	۱۹۵۴	۱۳۲۰۰
۳۲	۱۹۵۵	۲۷۲۰۰
۳۳	۱۹۵۶	۲۵۴۰۰
۳۴	۱۹۵۷	۳۹۵۰۰
۳۵	۱۹۵۸	۵۲۵۰۰
۳۶	۱۹۵۹	۶۹۰۰۰
۳۷	۱۹۶۰	۲۸۲۰۰
۳۸	۱۹۶۱	۳۵۴۰۰
۳۹	۱۹۶۲	۳۸۱۰۰
۴۰	۱۹۶۳	۳۷۰۰۰
۴۱	۱۹۶۴	۴۰۸۰۰
۴۲	۱۹۶۵	۲۷۳۰۰
۴۳	۱۹۶۶	۱۴۰۰۰
۴۴	۱۹۶۷	۴۱۹۰۰
۴۵	۱۹۶۸	۳۵۶۰۰
۴۶	۱۹۶۹	۳۳۱۰۰
۴۷	۱۹۷۰	۱۸۰۰۰
۴۸	۱۹۷۱	۱۷۸۰۰
۴۹	۱۹۷۲	۱۹۹۰۰
۵۰	۱۹۷۳	۱۷۸۰۰

جدول ۷-۶- مقادیر دبی ثبت شده رودخانه Wabash

ردیف	سال	دبی (فوت مکعب بر ثانیه)
۵۱	۱۹۷۴	۲۳۹۰۰
۵۲	۱۹۷۵	۱۷۹۰۰
۵۳	۱۹۷۶	۲۲۳۰۰
۵۴	۱۹۷۷	۱۶۷۰۰
۵۵	۱۹۷۸	۲۵۸۰۰
۵۶	۱۹۷۹	۲۲۸۰۰
۵۷	۱۹۸۰	۱۹۸۰۰
۵۸	۱۹۸۱	۲۱۳۰۰
۵۹	۱۹۸۲	۳۴۱۰۰
۶۰	۱۹۸۳	۲۷۴۰۰
۶۱	۱۹۸۴	۲۲۲۰۰
۶۲	۱۹۸۵	۴۰۳۰۰
۶۳	۱۹۸۶	۲۲۹۰۰
۶۴	۱۹۸۷	۱۱۴۰۰
۶۵	۱۹۸۸	۲۲۸۰۰
۶۶	۱۹۸۹	۲۷۱۰۰
۶۷	۱۹۹۰	۲۹۶۰۰
۶۸	۱۹۹۱	۳۶۴۰۰

با استفاده از رابطه های ارائه شده در بالا پارامتر های محاسبه شده لوگ پیرسون تیپ ۳ مطابق با جدول زیر می باشند:

جدول ۷-۷- پارامتر های محاسبه شده لوگ پیرسون تیپ ۳

ردیف	پارامتر	مقادیر پارامتر ها
۱	N	۶۸
۲	m_1	۳۳۵۴۴.۱
۳	m_2	1.361×10^9
۴	m_3	6.584151×10^{13}
۵	m_4	2.36199×10^8
۶	B	۲.۹۲
۷	C	-۱۲.۵۱۱۲
۸	A	-۲۵.۴۸
۹	α	-۰.۰۴۴۴۶۷۵
۱۰	β	۱۰۵.۴۳
۱۱	γ	۱۴.۹۹

جدول ۷-۷- پارمتر های محاسبه شده لوگ پیرسون تیپ ۳

ردیف	پارامتر	مقادیر پارامتر ها
۱۲	u_z	۱۰.۳۱۹۷
۱۳	σ_z	۰.۴۵۵۶۹
۱۴	C_s	۰.۹۵۷۸
۱۵	K_T	۳.۰۰۳
۱۶	$Z_{1..}(Q_{1..})$	۱۲۸۳۰۱

۷-۳- رگرسیون منطقه ای

از این روش برای برآورد دبی پیک سیلاب در سایت هایی که دارای ایستگاه هیدرومتری نمی باشند استفاده می گردد. سطح حوضه آبریز مهمترین پارامتر مورد استفاده برای تخمین رواناب و مشخص کننده دامنه کاربرد هر یک از معادلات خواهد بود. معادلات دبی سیلاب با برخی از پارامتر های دیگر جریان با یک دوره بازگشت مشخص، فیزیوگرافی، هیدرولوژی و هواشناسی آن منطقه در ارتباط است. به منظور بدست آوردن این معادلات به شکل زیر عمل می گردد:

۱- سیل ماکزیمم سالیانه را برای هر ایستگاه برآورد می گردد.

۲- تحلیل فراوانی را بر روی هر یک از سری های بدست آمده در گام اول انجام شده و دبی پیک سیلاب با توجه به دوره بازگشت در نظر گرفته شده محاسبه می گردد.

۳- مقادیر و پارامتر های هواشناسی برای هر یک از حوضه های آبریز و برای هر یک از سری های سیلاب بدست آمده برآورد گردد.

۴- یک ماتریس $n \times p$ از تمام داده های بدست آمده از مرحله ۳، که n تعداد حوضه های آبریز (مرحله ۱) و p مشخصه های حوضه آبریز (مرحله ۳) است تشکیل گردد.

۵- جدولی متشکل از n سطر (n تعداد حوضه های آبریز) شامل دبی پیک سیلاب برای یک دوره بازگشت خاص (مثلا ۱۰۰ ساله) تشکیل می شود.

۶- با استفاده از رگرسیون و اعمال این روش بر روی داده های بدست آمده در مرحله ۴ و ۵ معادله استخراج خواهد شد. فرم کلی معادلات بدست آمده حاصل از استفاده از رگرسیون بر روی داده ها به صورت (رابطه ۷ - ۴۴) می باشد:

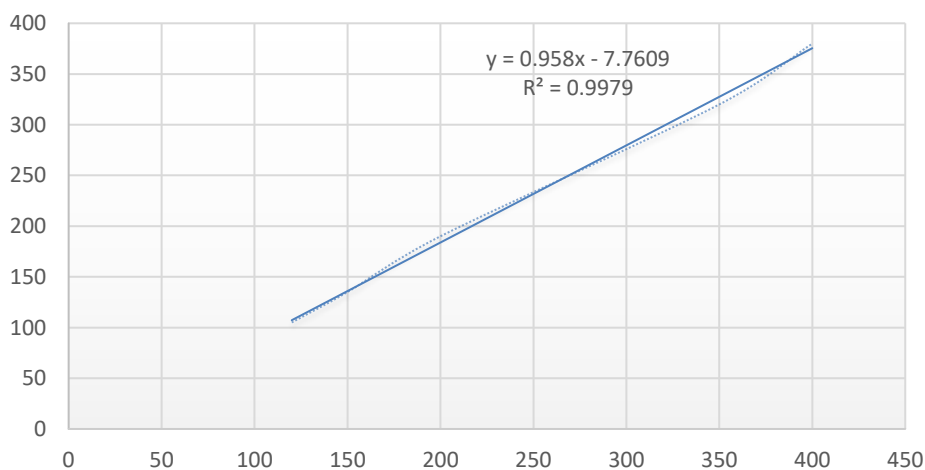
$$Y_T = aX_1^{b_1} aX_2^{b_2} \dots \dots aX_n^{b_n} \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۴})$$

استفاده از تکنیک های Machine Learning و استفاده از رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک، شبکه های عصبی، ماشین بردار پشتیبان، کلاس بندی های ensemble با دیدگاه های bagging و یا boosting و ... می تواند در بدست آوردن معادله نهایی کمک شایانی کند. برای درک روش گفته شده فرض کنید در یک حوضه آبریز و بعد از تحلیل فراوانی، برای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال مقادیر مطابق با جدول زیر بدست آمده باشد:

جدول ۷-۸- مشخصات و دبی حوضه آبریز

حوضه آبریز	مساحت	دبی (مترمعب بر ثانیه)
حوضه آبریز شماره ۱	۲۰۰	۱۹۰
حوضه آبریز شماره ۲	۱۵۰	۱۳۵
حوضه آبریز شماره ۳	۴۰۰	۳۸۰
حوضه آبریز شماره ۴	۳۵۰	۳۲۰
حوضه آبریز شماره ۵	۱۲۰	۱۰۵

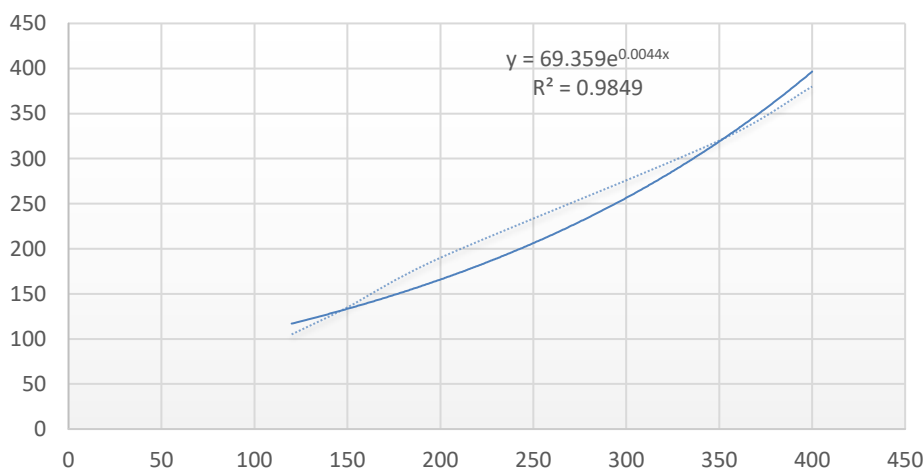
رگرسیون منطقه ای



شکل ۷-۲- معادله بدست آمده رگرسیون خطی برای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

همانطور که ملاحظه می گردد رابطه خطی خوبی بین مساحت و دبی حوضه آبریز برقرار است. همین رگرسیون را میتوان به صورت غیر خطی نیز پیاده سازی نمود.

رگرسیون منطقه ای



شکل ۷-۳- معادله بدست آمده رگرسیون غیر خطی (توانی) برای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

معادله غیر خطی بدست آمده نیز مطابق با شکل فوق می باشد که نشان می دهد می توان دبی حوضه آبریز را با استفاده از یک رابطه غیر خطی با ضریب همبستگی ۰.۹۷ برآورد نمود.

۷-۴- معادلات تجربی

در تمام روابط ارائه شده که در ادامه بیان خواهند شد ضرایبی مانند C و یا k با توجه به داده های حوضه آبریز دارای آمار بدست آمده و مقدار بدست آمده برای این ضرایب را برای حوضه با دبی مجهول تعمیم خواهیم داد.

الف- رابطه دایکن (Dicken)

این رابطه نیز بر اساس ارتباط نهایی سطح حوضه به دبی سیلابی ارائه شده است که البته قبلا دخالت عوامل اقلیمی نیز لحاظ شده است. این روش با استفاده از (رابطه ۷-۴۵) بیان می گردد:

$$Q_p = CA^{0.75} \quad (\text{رابطه ۷-۴۵})$$

در رابطه فوق Q_p بر حسب متر مکعب بر ثانیه و A مساحت بر حسب کیلومتر مربع و C ضریب حوضه آبریز می باشد که بایستی با استفاده از ایستگاه ها هیدرومتری مجاوری که شرایط یکسان با حوضه آبریز مورد مطالعه دارند کالیبره شده و دبی حوضه مجهول بدست خواهد آمد.

ب- رابطه کریگر (Creager)

بدون تردید یکی از روش هایی که به طور گسترده برای تعیین دبی حداکثر سیل در سطح حوضه های بزرگ و کوچک مورد استفاده قرار می گیرد این رابطه می باشد. این رابطه به علت بهره گیری از مجموعه اطلاعات جهانی گستردگی زیادی برای استفاده در مناطق مختلف دارد. که به صورت (رابطه ۷ - ۴۶) بیان می شود:

$$Q_P = 46CA^{0.849A^{-0.048}} \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۶})$$

در این رابطه Q_P دبی پیک سیلاب بر حسب فوت مکعب بر ثانیه، A مساحت حوضه آبریز بر حسب مایل مربع و C ضریب حوضه می باشد که بایستی با استفاده از ایستگاه ها هیدرومتری مجاوری که شرایط یکسان با حوضه آبریز مورد مطالعه دارند کالیبره شود.

ج- رابطه فولر (Fuller)

در بعضی روابط تجربی جهت محاسبه دبی حداکثر سیل سعی گردیده است که عامل تناوب نیز تا حدودی در رابطه در نظر گرفته شود. فرمول فولر مطابق با (رابطه ۷ - ۴۷) و (رابطه ۷ - ۴۸) در زمره چنین روابطی قرار می گیرد این عامل، امتیاز این روش محسوب می شود:

$$Q_{max} = C.A^{0.8} (1 + 0.8 \log T_r) \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۷})$$

$$Q_P = Q_{max} (1 + 2.66A^{-0.3}) \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۸})$$

در روابط فوق Q_P و Q_{max} به ترتیب دبی ماکزیمم ۲۴ ساعته و ماکزیمم لحظه ای بر حسب مترمکعب بر ثانیه در دوره بازگشت T_r سال است. C ضریبی است که وابسته به شرایط اقلیمی و مشخصات حوضه آبریز می باشد که میتوان آن را با استفاده از آمار حوضه های موجود در منطقه برآورد نمود.

د- رابطه فرانکو رودیر

فرانکو و رودیر در ۱۹۸۸ طی بررسی های متوجه شدند که هنگامی که دبی های اوج سیلابی را در برابر مساحت های حوضه ها رسم می کنند، منحنی های پوش برای مناطق همگن هیدرولوژیک، به خصوص برای حوضه هایی با مساحت های بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر مربع خطوط مستقیمی بدست می آیند. این روش به فرم (رابطه ۷ - ۴۹) تعریف می گردد:

$$Q = 10.6 \left(\frac{A}{1.8} \right)^{1-0.1K} \quad (\text{رابطه ۷ - ۴۹})$$

در رابطه فوق Q دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه، A مساحت حوضه آبریز به کیلومتر مربع، K نشان دهنده مقدار نسبی بزرگی دبی در هر منطقه است.

۷-۵- مدل های بارش-رواناب برای برآورد دبی سیلاب

از مهمترین روابط مورد استفاده برای برآورد دبی در این رویکرد روش های منطقی (Rational) و حفاظت خاک آمریکا (SCS) می باشد که در ادامه جزئیات این روش ها ارائه خواهند گردید. همچنین توضیحاتی در مورد روش های کوک و سایپرس-کریک که بیشتر برای حوضه های آبریز کوچک مورد استفاده قرار می گیرد داده خواهد شد.

۷-۵-۱- روش منطقی

یکی از پرکاربردترین روش ها برای محاسبه پیک جریان در حوضه های کوچک کمتر از ۱.۳ کیلومتر مربع روش منطقی می باشد که در جمع هیدرولوژیست ها محبوبیت ویژه ای دارد. این روش دقت بالایی در تخمین سیلاب با درصد بالای سطوح نفوذناپذیر (مانند مناطق صنعتی و پارکینگ) دارد. این روش با استفاده از (رابطه ۷ - ۵۰) تعریف می گردد:

$$Q = C_f CIA \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۰})$$

در این رابطه:

Q دبی پیک جریان (فوت مکعب بر ثانیه)

C ضریب رواناب که منعکس کننده نسبت رواناب به بارش می باشد.

I شدت بارندگی بر حسب اینچ بر ساعت

A مساحت حوضه آبریز بر حسب ایگر

C_f ضریب تنظیم رواناب برای کاهش نفوذپذیری در شدت های بالای بارندگی

محدودیت ها و فرضیات در روش منطقی به شرح زیر می باشد:

✓ سطح حوضه آبریز نباید بیشتر از ۱.۳ کیلومتر مربع باشد.

✓ پیک جریان زمانی اتفاق می افتد که تمام حوضه آبریز در تولید رواناب دخیل باشد.

✓ شدت بارندگی در تمام مدت بارش یکنواخت است.

✓ دوره بازگشت پیک سیلاب برابر با دوره بازگشت شدت بارندگی در نظر گرفته می شود.

جزئیات روش منطقی به شرح زیر می باشد:

ضریب رواناب: این متغیر نسبت ارتفاع رواناب به عمق بارش می باشد این ضریب نمایانگر اثرات متقابل بسیاری از فاکتورهای پیچیده شامل نفوذ، رطوبت اولیه خاک، پوشش زمین، شیب زمین و نوع خاک می باشد. در واقع این ضریب ممکن است با توجه به شرایط فصلی و رطوبتی تغییر کند. برای سادگی برآورد مقدار میانگین این ضریب استفاده می گردد. در مناطقی که ترکیبی از سطوح مختلف وجود دارد یک ضریب میانگین برای کل سطح با استفاده از (رابطه ۷ - ۵۱) بدست می آید:

$$C_{Composite} = \frac{\sum(C_{individual})(A_{individual})}{A_{Total}} \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۱})$$

مقدار سطح نفوذناپذیر یک فاکتور مهم در طراحی مخازن آب و تعیین کیفیت آن می باشد.

ضریب C_f : ضریب رواناب استفاده شده در (رابطه ۷ - ۵۰) برای استفاده در دوره بازگشت ۱۰ ساله می باشد برای دوره بازگشت های کمتر یا بیشتر از ۱۰ سال به دلیل تغییر در میزان نفوذپذیری لازم است که یک ضریب اصلاحی برای ضریب رواناب در نظر گرفته شود. شدت بارش در این روش برای بارندگی با مدت زمانی برابر با زمان تمرکز حوضه آبریز محاسبه می گردد و می تواند از منحنی شدت مدت دوره بازگشت که برای هر منطقه متفاوت می باشد بدست آید. همچنین مقدار این پارامتر می تواند با استفاده از (رابطه ۷ - ۵۲) برآورد گردد:

$$i = \frac{a}{(T_c + b)^c} \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۲})$$

که ضرایب a ، b و c با استفاده از آنالیزهای آماری بدست می آید که برای برخی از مناطق و شهرهای ایران این ضرایب توسط وزیری که در بخش ۴ برآورد شدت بارندگی ارائه شده است. در این رابطه (T_c) زمان تمرکز حوضه آبریز می باشد. به منظور تخمین ضریب رواناب (C) جداول متفاوت در منابع مختلف استفاده شده که نمونه هایی از این جداول در ادامه ارائه گردیده است (جدول ۷-۹ الی جدول ۷-۱۴). با توجه به آنکه بر روی این ضریب تحقیقات زیادی انجام نشده

است لذا به نظر می‌رسد که هر یک از این جداول بسته به منطقه مطالعاتی، می‌تواند بهره گرفته شود. استفاده از جدول ۷-۹ به منظور برآورد دبی سیلاب توصیه می‌گردد.

جدول ۷-۹- مقادیر ضریب C برای استفاده در روش رشنال

گروه نفوذپذیری خاک												
A			B			C			D			
شیب												
۰-۲	۲-۶	۶+	۰-۲	۲-۶	۶+	۰-۲	۲-۶	۶+	۰-۲	۲-۶	۶+	کاربری زمین
۰.۰۸	۰.۱۳	۰.۱۶	۰.۱۱	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۱۴	۰.۱۹	۰.۲۶	۰.۱۸	۰.۲۳	۰.۳۱	زمین های زیر کشت
مقادیر ضریب C												
۰.۰۱۴	۰.۱۸	۰.۲۲	۰.۱۶	۰.۲۱	۰.۲۸	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۲۹	۰.۴۱	
۰.۱۲	۰.۲	۰.۳	۰.۱۸	۰.۲۸	۰.۳۷	۰.۲۴	۰.۳۴	۰.۴۴	۰.۳	۰.۴	۰.۵	مرتع
۰.۱۵	۰.۲۵	۰.۳۷	۰.۲۳	۰.۳۴	۰.۴۵	۰.۳	۰.۴۲	۰.۵۲	۰.۳۷	۰.۵	۰.۶۲	
۰.۱	۰.۱۶	۰.۲۵	۰.۱۴	۰.۲۲	۰.۳	۰.۲	۰.۲۸	۰.۳۶	۰.۲۴	۰.۳	۰.۴	چمنزار
۰.۱۴	۰.۲۲	۰.۳	۰.۲	۰.۲۸	۰.۳۷	۰.۲۶	۰.۳۵	۰.۴۴	۰.۳	۰.۴	۰.۵	
۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۱۱	۰.۰۸	۰.۱۱	۰.۱۴	۰.۱	۰.۱۳	۰.۱۶	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۲	جنگل
۰.۰۸	۰.۱۱	۰.۱۴	۰.۱	۰.۱۴	۰.۱۸	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۲	۰.۱۵	۰.۲	۰.۲۵	
۰.۲۵	۰.۲۸	۰.۳۱	۰.۲۷	۰.۳	۰.۳۵	۰.۳	۰.۳۳	۰.۳۸	۰.۳۳	۰.۳۶	۰.۴۲	مناطق مسکونی با اندازه ۰.۷۵ هکتار
۰.۳۳	۰.۳۷	۰.۴	۰.۳۵	۰.۳۹	۰.۴۴	۰.۳۸	۰.۴۲	۰.۴۹	۰.۴۱	۰.۴۵	۰.۵۴	
۰.۲۲	۰.۲۶	۰.۲۹	۰.۲۴	۰.۲۹	۰.۳۳	۰.۲۷	۰.۳۱	۰.۳۶	۰.۳	۰.۳۴	۰.۴	مناطق مسکونی با اندازه ۰.۵۵ هکتار
۰.۳	۰.۳۴	۰.۳۷	۰.۳۳	۰.۳۷	۰.۴۲	۰.۳۶	۰.۴	۰.۴۷	۰.۳۸	۰.۴۲	۰.۵۲	
۰.۱۹	۰.۲۳	۰.۲۶	۰.۲۲	۰.۲۶	۰.۳	۰.۲۵	۰.۲۹	۰.۳۴	۰.۲۸	۰.۳۲	۰.۳۹	مناطق مسکونی با اندازه ۰.۵۲ هکتار
۰.۲۸	۰.۳۲	۰.۳۵	۰.۳	۰.۳۵	۰.۳۹	۰.۳۳	۰.۳۸	۰.۴۵	۰.۳۶	۰.۴	۰.۵	
۰.۱۶	۰.۲	۰.۲۴	۰.۱۹	۰.۲۳	۰.۲۸	۰.۲۲	۰.۲۷	۰.۳۲	۰.۲۶	۰.۳	۰.۳۷	مناطق مسکونی با اندازه ۰.۴۸ هکتار
۰.۲۵	۰.۲۹	۰.۳۲	۰.۲۸	۰.۳۲	۰.۳۶	۰.۳۱	۰.۳۵	۰.۴۲	۰.۳۴	۰.۳۸	۰.۴۸	
۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۲۱	۰.۱۷	۰.۲۱	۰.۲۶	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۱	۰.۲۴	۰.۲۹	۰.۳۵	مناطق مسکونی با اندازه ۰.۴ هکتار
۰.۲۲	۰.۲۶	۰.۲۹	۰.۲۴	۰.۲۸	۰.۳۴	۰.۲۸	۰.۳۲	۰.۳۷	۰.۳۱	۰.۳۵	۰.۴۶	
۰.۶۷	۰.۶۸	۰.۶۸	۰.۶۸	۰.۶۸	۰.۶۹	۰.۶۸	۰.۶۹	۰.۶۹	۰.۶۹	۰.۶۹	۰.۷	صنعتی
۰.۸۵	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۶	۰.۸۶	۰.۸۶	۰.۸۷	۰.۸۶	۰.۸۶	۰.۸۸	

جدول ۷-۹- مقادیر ضریب C برای استفاده در روش رشنال

گروه نفوذپذیری خاک												
												D
شیب												
۰-۲	۲-۶	>۶	۰-۲	۲-۶	>۶	۰-۲	۲-۶	>۶	۰-۲	۲-۶	>۶	کاربری زمین
۰.۷۱	۰.۷۱	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۱	۰.۷۲	۰.۷۱	۰.۷۱	تجاری
۰.۸۸	۰.۸۸	۰.۸۹	۰.۸۹	۰.۸۹	۰.۸۹	۰.۸۹	۰.۸۹	۰.۸۹	۰.۸۹	۰.۸۸	۰.۸۸	
۰.۷	۰.۷۱	۰.۷۲	۰.۷۱	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۱	۰.۷۲	۰.۷۱	۰.۷	خیابان ها
۰.۷۶	۰.۷۷	۰.۷۹	۰.۷۶	۰.۷۷	۰.۷۷	۰.۷۷	۰.۷۷	۰.۷۶	۰.۷۷	۰.۷۷	۰.۷۶	
۰.۰۵	۰.۱	۰.۱۴	۰.۰۸	۰.۱۳	۰.۱۹	۰.۱۲	۰.۱۷	۰.۲۴	۰.۱۶	۰.۲۱	۰.۲۸	فضای باز
۰.۱۱	۰.۱۶	۰.۲	۰.۱۴	۰.۱۹	۰.۲۶	۰.۱۸	۰.۲۳	۰.۳۲	۰.۲۲	۰.۲۷	۰.۳۹	
۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۷	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۷	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۷	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۷	پارکینگ

گروه های خاکی بر حسب نفوذپذیری به ۴ دسته زیر تقسیم می شوند:

✓ سرعت نفوذپذیری کوچکتر از ۳ میلیمتر بر ساعت (گروه D)

✓ سرعت نفوذپذیری بین ۳ تا ۵ میلیمتر بر ساعت (گروه C)

✓ سرعت نفوذپذیری بین ۵ تا ۷ میلیمتر بر ساعت (گروه B)

✓ سرعت نفوذپذیری بیش از ۷ میلیمتر بر ساعت (گروه A)

یا می توان برای تشخیص گروه نفوذپذیری خاک از جدول زیر نیز استفاده نمود:

جدول ۷-۱۰- مشخصات گروه های خاکی از نظر ایجاد رواناب و نفوذپذیری

ردیف	دسته بندی	نوع خاک
۱	A (کمترین پتانسیل تولید رواناب)	خاکی با نفوذپذیری بسیار بالا حتی در شرایطی که خیس می باشد شامل ماسه ها و شن ها با زهکشی بالا
۲	B	خاکی با نفوذپذیری متوسط هنگامی که خاک کاملاً خیس شده باشد. معمولاً دارای لایه ای می باشد که مانع از زهکشی عمودی می شود و بافت و دانه بندی خاک معمولاً از ریز به درشت می باشد.
۳	C	خاکی با نفوذپذیری کم هنگامی که خاک کاملاً خیس شده باشد. معمولاً دارای لایه ای می باشد که مانع از زهکشی عمودی می شود و بافت و دانه بندی خاک معمولاً از ریز به ریز می باشد.

جدول ۷- ۱۰- مشخصات گروه های خاکی از نظر ایجاد رواناب و نفوذپذیری

ردیف	دسته بندی	نوع خاک
۴	D (بیشترین پتانسیل رواناب)	خاکی با نفوذپذیری کم هنگامی که خاک کاملاً خیس شده باشد. عمدتاً دارای خاصیت متورم شدن بالا هستند. خاک هایی با سطح آب بالا و دائمی و یک لایه رس در سطح، خاکی هایی با عمق کم

جدول ۷- ۱۱-مقادیر ضریب C برای استفاده در روش رشنال

ردیف	ضریب رواناب	شرح منطقه
۱		چمنزار
۲	۰.۱	خاک شنی با شیب حداکثر ۲ درصد
۳	۰.۱۵	خاک شنی با شیب متوسط ۲ الی ۷ درصد
۴	۰.۲	خاک شنی با شیب بیش از ۷ درصد
۵	۰.۱۷	خاک رسی با شیب حداکثر ۲ درصد
۶	۰.۲۲	خاک رسی با شیب متوسط ۲ الی ۷ درصد
۷	۰.۳۵	خاک رسی با شیب بیش از ۷ درصد
۸	۰.۱۵	جنگلی
۹		کاری
۱۰	۰.۹۵	شهری
۱۱	۰.۷	شهرک
۱۲		مسکونی
۱۳	۰.۵	خانه با یک خانواده
۱۴	۰.۶	چند واحد (جدا)
۱۵	۰.۷	چند واحد (با هم)
۱۶	۰.۴	حومه شهری
۱۷	۰.۷	مناطق آوارتمایی

جدول ۷- ۱۲- مقادیر ضریب C برای مناطق ساخته شده

ردیف	ضریب رواناب	نوع منطقه ساخته شده
۱		صنعتی
۲	۰.۵-۰.۸	مناطق با تراکم کم
۳	۰.۱-۰.۲۵	قبرستان ها - پارک ها
۴	۰.۲-۰.۴	زمین های بازی

جدول ۷-۱۲- مقادیر ضریب C برای مناطق ساخته شده

ردیف	ضریب رواناب	نوع منطقه ساخته شده
۵	۰.۲-۰.۴	محوطه ایستگاه راه آهن
۶	۰.۱-۰.۳	اراضی آباد نشده
۷		فضای سبز
۸	۰.۰۵-۰.۱	خاک های ماسه ای برای شیب ۰ الی ۲ درصد
۹	۰.۱-۰.۱۵	خاک های ماسه ای برای شیب ۲ الی ۷ درصد
۱۰	۰.۱۵-۰.۲	خاک های ماسه ای برای شیب بیش از ۷ د
۱۱		راه ها
۱۲	۰.۷-۰.۹۵	آسفالتی
۱۳	۰.۸-۰.۹۵	بتنی
۱۴	۰.۷-۰.۸۵	شنی
۱۵	۰.۷۵-۰.۸۵	پیاده رو
۱۶	۰.۷۵-۰.۹۵	پشت بام ها

جدول ۷-۱۳- مقادیر ضریب C برای مناطق ساخته نشده

خیلی زیاد	زیاد	معمولی	کم	
اراضی با شیب تند شیب متوسط بالای ۰.۳۵-۰.۲۸ درصد	اراضی کوهستانی شیب متوسط ۱۰ تا ۰.۲۸-۰.۲ درصد	اراضی تپه ماهوره ای شیب متوسط ۵ تا ۱۰ درصد ۰.۲-۰.۱۴	اراضی نسبتاً هموار شیب متوسط صفر تا ۵ درصد ۰.۰۸- ۰.۲	پستی و بلندی اراضی
اراضی با پوشش خاکی کم یا بدون آن، خاک های با میزان نفوذپذیری قابل اغماض ۰.۱۶-۰.۱۲	اراضی خاک رسی یا لومی، خاک های با میزان نفوذ پذیری کم ۰.۰۸-۰.۱۲	اراضی لوم ماسه ای، لوم لایی، ماسه ای ۰.۰۶-۰.۰۸	اراضی ماسه ای با عمق زیاد، خاک های با نفوذ پذیری زیاد، خاک های با نفوذ پذیری خوب ۰.۰۶-۰.۰۴	جنس اراضی

جدول ۷-۱۳- مقادیر ضریب C برای مناطق ساخته نشده

خیلی زیاد	زیاد	معمولی	کم	
اراضی لخت یا پوشش خیلی پراکنده ۰.۱۶- ۰.۱۲	اراضی چمنی با پوشش کمتر از ۲۰ درصد ۰.۰۸-۰.۱۲	اراضی زراعی با پوشش حدود ۵۰ درصد ۰.۰۶-۰.۰۸	اراضی جنگلی با پوشش حدود ۹۰ درصد ۰.۰۴-۰.۰۶	پوشش گیاهی اراضی
میزان گودال های سطحی قابل اغماض، فاقد اراضی باتلاقی ۰.۱-۰.۱۲	میزان گودال های سطحی قابل کم، فاقد اراضی باتلاقی یا حوضچه های آب ۰.۱- ۰.۰۸	میزان گودال های سطحی قابل ملاحظه، دریاچه و اراضی باتلاقی ۰.۰۶-۰.۰۸	میزان گودال های سطحی خیلی زیاد، اراضی بزرگ سیلابی، تعداد زیادی اراضی باتلاقی و حوضچه ۰.۰۴-۰.۰۶	میزان چاله در حوضه آبریز

جدول ۷-۱۴-مقادیر ضریب C

ردیف	کاربری زمین	ضریب C
۱	مراکز تجاری	۰.۹۵-۰.۷
۲	صنایع سنگین	۰.۹-۰.۶
۳	واحد های آپارتمانی	۰.۷۵-۰.۶
۴	صنایع سبک	۰.۸-۰.۵
۵	زمین های زیر کشت با خاک لومی	۰.۴۵-۰.۴
۶	حومه های شهر	۰.۴-۰.۲۵
۷	زمین های بازی	۰.۳۵-۰.۲
۸	زمین های غیر متراکم	۰.۴-۰.۱
۹	پارک و گورستان	۰.۲۵-۰.۱
۱۰	مناطق همراه با درخت و خاک شنی	۰.۱۵-۰.۱

۷-۵-۲- روش SCS

این روش براساس معادله بیلان آب و دو فرضیه اساسی، ارائه شده است. در فرضیه اول (فرضیه برابری) برابری نسبت رواناب سطحی (Q) به مجموع کل بارندگی (P) با نسبت مقدار نفوذپذیری تجمعی (F_c) به بیشترین مقدار نگهداشت آب درون خاک است (S). دومین فرض مربوط به جذب اولیه (I_a) به ماکزیمم نگهداشت آب داخل خاک (S) می باشد. این فرضیات با استفاده از (رابطه ۷ - ۵۳) الی (رابطه ۷ - ۵۵) بیان می گردد:

$$P = I_a + F_c + Q \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۳})$$

$$\frac{Q}{P - 0.2S} = \frac{F_c}{S} \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۴})$$

$$I_a = \lambda S \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۵})$$

رابطه میان I_a و S با استفاده از آنالیز داده‌های رواناب و بارندگی حوضه‌های آبریز کوچک به صورت (رابطه ۷ - ۵۶) بیان می‌گردد:

$$I_a = 0.2S \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۶})$$

با ترکیب معادله بیلان آب و معادله برابری نهایتاً به (رابطه ۷ - ۵۷) دست خواهیم یافت:

$$Q_d = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۷})$$

ماکزیمم نگهداشت آب سطحی با پارامتر شماره منحنی (CN) حوضه آبریز مرتبط می‌باشد که تابعی از کاربری اراضی، نوع خاک و شرایط رطوبت اولیه خاک می‌باشد. CN یک پارامتر بی‌بعد است که مقدار آن بین ۰ تا ۱۰۰ می‌باشد که هر مقدار این ضریب بیشتر باشد نشان از آن دارد که میزان نفوذپذیری کمتر است. پارامتر S بر حسب میلیمتر با استفاده از (رابطه ۷ - ۵۸) بدست می‌آید:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۸})$$

اطلاعات لازم برای تخمین شماره منحنی، گروه هیدرولوژیکی خاک است که بیانگر میزان نفوذ می‌باشد. گروه‌های هیدرولوژیک خاک براساس میزان نفوذپذیری به چهار گروه A، B، C و D تقسیم می‌شوند که نفوذپذیری آن‌ها به ترتیب گفته شده مطابق با توضیحات جدول ۷-۱۵ استخراج می‌گردد. سپس مقدار ضریب CN با توجه به نفوذپذیری خاک منطقه و از جدول ۷-۱۶ الی جدول ۷-۲۰ بدست می‌آید.

جدول ۷- ۱۵- مشخصات گروه های خاکی از نظر ایجاد رواناب و نفوذپذیری

دسته بندی	نوع خاک
A (کمترین پتانسیل تولید رواناب)	خاکی با نفوذپذیری بسیار بالا حتی در شرایطی که خیس می باشد شامل ماسه ها و شن ها با زهکشی بالا
B	خاکی با نفوذپذیری متوسط هنگامی که خاک کاملاً خیس شده باشد. معمولاً دارای لایه ای می باشد که مانع از زهکشی عمودی می شود و بافت و دانه بندی خاک معمولاً از ریز به درشت می باشد.
C	خاکی با نفوذپذیری کم هنگامی که خاک کاملاً خیس شده باشد. معمولاً دارای لایه ای می باشد که مانع از زهکشی عمودی می شود و بافت و دانه بندی خاک معمولاً از ریز به ریز می باشد.
D (بیشترین پتانسیل رواناب)	خاکی با نفوذپذیری کم هنگامی که خاک کاملاً خیس شده باشد. عمدتاً دارای خاصیت متورم شدن بالا هستند. خاک هایی با سطح آب بالا و دائمی و یک لایه رس در سطح، خاکی هایی با عمق کم

جدول ۷- ۱۶- مقادیر CN برای پوشش های مختلف حوضه با توجه به نفوذپذیری خاک

خصوصیات پوشش سطح حوضه	A	B	C	D
پوشش جنگلی متوسط	۳۶	۶۰	۷۳	۷۹
پوشش جنگلی خوب	۲۵	۵۵	۷۰	۷۷
مراعات طبیعی با پوشش خوب	۴۹	۶۹	۷۹	۸۰
مراعات طبیعی با پوشش متوسط	۳۹	۶۱	۷۴	۸۴
زیر کشت حبوبات	۶۹	۷۰	۷۸	۸۳
زیر کشت غلات (ردیف های مستقیم)	۶۵	۷۶	۸۴	۸۸
زیر کشت غلات (ردیف ها به موازات خطوط تراز)	۶۰	۷۳	۸۱	۸۴
ردیف های مستقیم با پوشش متوسط	۷۲	۸۱	۸۸	۹۱
ردیف های مستقیم با پوشش خوب	۶۷	۷۸	۸۵	۸۹
با پوشش متوسط	۷۰	۷۹	۸۴	۸۸
با پوشش خوب	۶۵	۷۵	۸۲	۸۶
پشت بام ها، پارکینگ ها و دیگر جاده های آسفالتی	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
مناطق مسکونی با ۰/۶۵ آسفالت	۷۷	۸۵	۹۰	۹۲
مناطق مسکونی با ۰/۲۰ آسفالت	۵۱	۶۸	۷۹	۸۴
خیابان ها و جاده های آسفالتی	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
جاده های خاکی	۷۲	۸۲	۸۷	۸۹
جاده های شوسه	۷۶	۸۵	۸۹	۹۱

جدول ۷-۱۷- مقادیر ضریب CN برای کاربری های شهری

پوشش	متوسط سطح نفوذناپذیری	شماره منحنی برای گروه های هیدرولوژیک خاک			
		A	B	C	D
نوع پوشش و شرایط هیدرولوژیک					
سطوح شهری کاملاً توسعه یافته:					
فضاهای باز (پارک، چمنزار،...)					
پوشش ضعیف (چمنزار کمتر از ۵۰ درصد)		۶۸	۷۹	۸۶	۸۹
پوشش متوسط (پوشش علف ۵۰ تا ۷۵ درصد)		۴۹	۶۹	۷۹	۸۴
پوشش خوب (بیش از ۷۵ درصد)		۳۹	۶۱	۷۴	۸۰
مناطق نفوذناپذیر					
پارکینگ آسفالت، پشت بام		۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
خیابان و مسیر:					
پوشش فاضلاب رو ها و جوی آب ها		۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
سنگ فرش ها، دیچ ها		۸۳	۸۹	۹۲	۹۳
شن (گارول)		۷۶	۸۹	۸۵	۹۱
خاک		۷۲	۷۲	۸۷	۸۹
مناطق کویری		۶۳	۷۷	۸۵	۸۸
پارک کویری		۹۶	۹۶	۹۶	۹۶
مناطق شهری:					
تجاری	۸۵	۸۹	۹۲	۹۴	۹۵
صنعتی	۷۲	۸۱	۸۸	۹۱	۹۳
مناطق مسکونی :					
یک هشتم ایگر یا کمتر	۶۵	۷۷	۸۵	۹۰	۹۲
یک چهارم ایگر یا کمتر	۳۸	۶۱	۷۵	۸۳	۸۷
یک سوم ایگر یا کمتر	۳۰	۵۷	۷۲	۸۱	۸۶
یک دوم ایگر یا کمتر	۲۵	۵۴	۷۰	۸۰	۸۵
یک ایگر	۲۰	۵۱	۶۸	۷۹	۸۴
دو ایگر	۱۲	۴۶	۶۵	۷۷	۸۲
مناطق شیب بندی شده		۷۷	۸۶	۹۱	۹۴

جدول ۷- ۱۸- مقادیر ضریب CN برای کاربری های کشاورزی

شرح پوشش			شماره منحنی برای گروه های هیدرولوژیک خاک			
نوع پوشش	نوع مدیریت	وضعیت هیدرولوژیکی	A	B	C	D
آیش	زمین بایر		۷۷	۸۶	۹۱	۹۴
	پوشش با بقایای گیاه (CR)	ضعیف	۷۶	۸۵	۹۰	۹۳
		خوب	۷۴	۸۳	۸۸	۹۰
گیاهان ردیفی	ردیف های مستقیم (SR)	ضعیف	۷۲	۸۱	۸۸	۹۱
		خوب	۶۷	۷۸	۸۵	۸۹
	SR+CR	ضعیف	۷۱	۸۰	۸۷	۹۰
		خوب	۶۴	۷۵	۸۲	۸۵
	کاشت روی خطوط تراز (C)	ضعیف	۷۰	۷۹	۸۴	۸۸
		خوب	۶۵	۷۵	۸۲	۸۶
	C+CR	ضعیف	۶۹	۷۸	۸۳	۸۷
		خوب	۶۴	۷۴	۸۱	۸۵
	کاشت روی خطوط تراز بصورت پله ای (C&T)	ضعیف	۶۶	۷۴	۸۰	۸۲
		خوب	۶۲	۷۱	۷۸	۸۱
	C & T + CR	ضعیف	۶۵	۷۳	۷۹	۸۱
		خوب	۶۱	۷۰	۷۷	۸۰
دانه ریز	SR	ضعیف	۶۵	۷۶	۸۴	۸۸
		خوب	۶۳	۷۵	۸۳	۸۷
	SR + CR	ضعیف	۶۴	۷۵	۸۳	۸۶
		خوب	۶۰	۷۲	۸۰	۸۴
	C	ضعیف	۶۳	۷۴	۸۲	۸۵
		خوب	۶۱	۷۳	۸۱	۸۴
	C + CR	ضعیف	۶۲	۷۳	۸۱	۸۴
		خوب	۶۰	۷۲	۸۰	۸۳
	C & T	ضعیف	۶۱	۷۲	۷۹	۸۲
		خوب	۵۹	۷۰	۷۸	۸۱
	C & T + CR	ضعیف	۶۰	۷۱	۷۸	۸۱
		خوب	۵۸	۶۹	۷۷	۸۰
حبوبات یا چمنزار	SR	ضعیف	۶۶	۷۷	۸۵	۸۹
		خوب	۵۸	۷۲	۸۱	۸۵
	C	ضعیف	۶۴	۷۵	۸۳	۸۵
		خوب	۵۵	۶۹	۷۸	۸۳

جدول ۷- ۱۸-مقادیر ضریب CN برای کاربری های کشاورزی

	C & T	ضعیف	۶۳	۷۳	۸۰	۸۳
		خوب	۵۱	۶۷	۷۶	۸۰
مرتع برای چرا		بد	۶۰	۷۳	۸۱	۸۵
		متوسط	۴۰	۶۱	۷۳	۷۹
		خوب	۳۱	۵۲	۶۷	۷۴
مرتع محافظت شده		خوب	۲۳	۴۹	۶۳	۷۱
چمن بلند (مرغزار)		بد	۳۹	۵۹	۷۰	۷۷
		متوسط	۲۷	۴۷	۶۲	۷۰
		خوب	۲۳	۳۹	۵۷	۶۶
ترکیب چوب و علف		بد	۴۸	۶۶	۷۶	۸۱
		متوسط	۳۵	۵۷	۶۹	۷۶
		خوب	۲۵	۴۹	۶۴	۷۳

جدول ۷- ۱۹-مقادیر شماره منحنی برای سایر مناطق کشاورزی

پوشش	شرایط هیدرولوژیکی	شماره منحنی			
		A	B	C	D
مرتع، علفزار	فقیر	۶۸	۷۹	۸۶	۸۹
زیر کشت علوفه	خوب	۳۹	۶۱	۷۴	۸۰
چمنزار		۳۰	۵۸	۷۱	۷۸
علفزار بلند	فقیر	۴۸	۶۷	۷۷	۸۳
ترکیب چوب و علف	فقیر	۵۷	۷۳	۸۲	۸۶
درخت	متوسط	۴۳	۶۵	۷۶	۸۲
	خوب	۳۲	۵۸	۷۲	۷۹

جدول ۷- ۲۰-مقادیر شماره منحنی برای مناطق خشک و نیمه خشک

پوشش	شرایط هیدرولوژیکی	شماره منحنی			
		A	B	C	D
ترکیب چمن و چوب	فقیر		۸۰	۸۷	۹۳
	متوسط		۷۱	۸۱	۸۹
	خوب		۶۲	۷۴	۸۵
مخلوط علف و بلوط	فقیر		۶۶	۷۴	۷۹
	متوسط		۴۸	۵۷	۶۳
	خوب		۳۰	۴۱	۴۸

جدول ۷- ۲۰-مقادیر شماره منحنی برای مناطق خشک و نیمه خشک

پوشش	شرایط هیدرولوژیکی	شماره منحنی			
		A	B	C	D
مناطق درخت کاری شده	فقیر		۷۵	۸۵	۸۹
	متوسط		۵۸	۷۳	۸۰
	خوب		۴۱	۶۱	۷۱
مناطق با پوشش درختچه	فقیر		۶۷	۸۰	۸۵
	متوسط		۵۱	۶۳	۷۰
	خوب		۳۵	۴۷	۵۵
درختچه های بیابانی مقاوم به خشکی		۶۳	۷۷	۸۵	۸۸
		۵۵	۷۲	۸۱	۸۶
		۴۹	۶۸	۷۹	۸۴

شرایط هیدرولوژیکی با بررسی اثرات فاکتورهای موثر بر نفوذپذیری و تولید رواناب مورد ارزیابی قرار می گیرد که شامل تراکم ، درصد پوشش چمن و گیاه و زبری سطح می باشد.

شرایط بد هیدرولوژیکی: اگر کمتر از ۵۰ درصد سطح از گیاه پوشش داده شده باشد.

شرایط متوسط هیدرولوژیکی: اگر سطح بین ۵۰ الی ۷۵ درصد از گیاه پوشش داده شده باشد.

شرایط خوب هیدرولوژیکی: اگر سطح بیش از ۷۵ درصد از گیاه پوشش داده شده باشد.

اگر CN کمتر از ۳۰ بود در محاسبات CN برابر با ۳۰ در نظر گرفته شود.

هر چند استفاده از این جداول در سال های گذشته بسیار رایج بوده است اما براساس تحقیقات انجام شده بر روی روش SCS استفاده از این جدول مقادیر دبی برآورد شده را بدرستی برآورد نمی نماید. براساس تحقیقاتی که $M.S.Bartlett$ و همکاران براساس آمار جمع آوری شده از نقاط مختلف جهان انجام داده بودند نتیجه گرفتند که زمانی این روش می تواند بخوبی عمل نماید که ضریب CN کالیبره شود. یکی از روش های کالیبراسیون استفاده از دبی یک رودخانه برای بدست آوردن این ضریب می باشد. همچنین داغ آب ناشی از یک سیل می تواند تخمین دقیق تری از این ضریب بدهد. از دیگر روش های کالیبراسیون ضریب CN استفاده از دبی حوضه های مجاور می باشد که توسط ایستگاه های هیدرومتری اندازه گیری شده است. تا این مرحله از محاسبات عمق رواناب محاسبه شده است که برای تبدیل این عمق به دبی پیک

جریان ابتدا لازم است تا زمان رسیدن به دبی پیک محاسبه گردد. برای این منظور ابتدا زمان رسیدن به پیک جریان محاسبه گردد. این زمان با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T_P = 0.6T_c + \sqrt{T_c} \quad (\text{رابطه ۷ - ۵۹})$$

بعد از محاسبه زمان پیک، دبی پیک از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q_P = \frac{0.208AQ_d}{T_P} \quad (\text{رابطه ۷ - ۶۰})$$

در روابط فوق T_P و T_c زمان رسیدن به پیک و زمان تمرکز بر حسب ساعت و Q_P دبی اوج پیک سیلاب بر حسب متر مکعب بر ثانیه می باشد. لازم به ذکر است که برای استفاده از این روش بایستی از بارش ۲۴ ساعته استفاده گردد.

۷-۵-۳- سایپرس-کریک

روش سایپرس- کریک ۲ برای زمین های کشاورزی و حوضه های آبیاری کم شیب و کوچک مناسب است. در این روش فقط شدت جریان حداکثر (Q_p) قابل برآورد است. این روش توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) پیشنهاد شده و به کمک آن نیز برآورد می شود. فرضیات برقراری این روش، همانند روش استدلالی است. رابطه اصلی به صورت زیر است:

$$Q_p = 0.000282 CA^{0.833} \quad (\text{رابطه ۷ - ۶۱})$$

که در آن:

Q_p : شدت اوج سیلاب m^3/s

A : مساحت حوضه آبرگیر، هکتار

C : ضریب جریان که به ویژگی گیاهی، نوع خاک و ارتفاع باران بستگی دارد. این رابطه برای مناطق کم شیب و با وسعت کم مانند حوضه های کوچک آبیاری و کشاورزی مناسب است. می توان C را با رابطه زیر محاسبه کرد (P_n ارتفاع باران خالص (mm) است):

$$C = 16,39 + 0,0807 P_n \quad (\text{رابطه ۷-۶۲})$$

برای محاسبه P_n از روش SCS استفاده می‌شود. بنابراین باید ابتدا CN حوضه آبرگیر را مشخص کرد و سپس به کمک C ، P_n را محاسبه کرد. به این ترتیب Q_p با (رابطه ۷-۶۱) به دست می‌آید.

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25,4 \quad (\text{رابطه ۷-۶۳}) \quad \text{تلفات حداکثر (mm)}$$

$$P_n = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad P > 0,2S \quad (\text{رابطه ۷-۶۴}) \quad \text{باران خالص (mm)}$$

که P در آن ارتفاع باران (mm) با دوره بازگشت مورد نظر و CN شماره منحنی در روش SCS است.

۷-۵-۴- روش کوک

روش کوک مانند دو روش سایپرس-کریک و استدلالی برای حوضه‌های آبرگیر کوچک کشاورزی و آبیاری توسعه یافته است. در این روش نیز فقط شدت جریان حداکثر سیلاب برآورد می‌شود و حداکثر کاربرد آن در حوضه‌های آبرگیر کشاورزی به وسعت ۸ کیلومترمربع است. فرضیات برقراری این روش نیز مانند روش استدلالی است. برای محاسبه شدت جریان حداکثر سیلاب، جدول‌ها و نمودارهایی ارائه شده است. ابتدا باید ضریب کوک (W) را از حاصل جمع چهار عامل مؤثر در سیل‌خیزی حوضه آبرگیر به دست آورد. تغییرات این عوامل در جدول ۷-۲۱ ارائه شده است.

وضعیت طبیعی زمین (R): این عامل به شیب حوضه آبرگیر بستگی دارد و از ۱۰ تا ۴۰ تغییر می‌کند.

نفوذپذیری (I): این عامل از ۵ تا ۳۰ متغیر است.

پوشش گیاهی (C): این عامل به نوع پوشش گیاهی و سطح پوشش آن وابسته است. حدود تغییرات آن ۵ تا ۲۰ درصد است.

ذخیره سطحی (S): این عامل به ذخیره آب در سطح حوضه آبرگیر، مرداب و دریاچه‌ها بستگی دارد و از ۵ تا ۲۵ متغیر است.

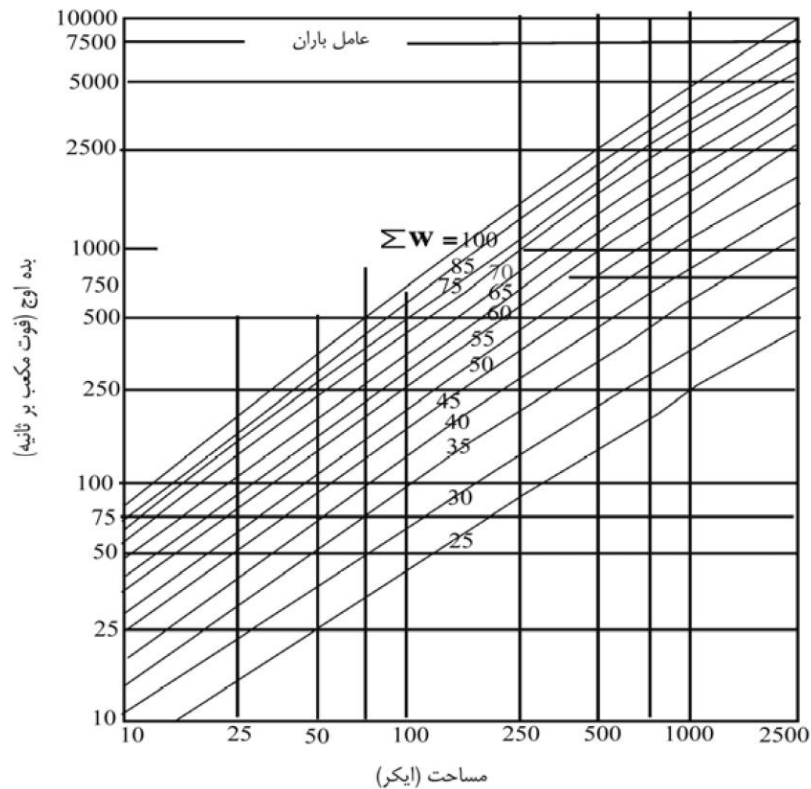
$$W=R+I+C+S$$

(رابطه ۷ - ۶۵)

پس از تعیین W به شکل ۷-۴ یا شکل ۷-۵ کمک یا و مساحت حوضه آبرگیر (برحسب ایکر^۳)، می توان شدت جریان حداکثر (Q_p) را با دوره بازگشت مورد نظر بر حسب فوت مکعب بر ثانیه برآورد کرد. برای تبدیل کیلومتر مربع به ایکر، عدد کیلومتر مربع در $۲۴۷/۰۹۷$ و برای تبدیل فوت مکعب در ثانیه به متر مکعب در ثانیه، عدد فوت مکعب در $۰/۰۲۸۳$ ضرب می شود.

جدول ۷-۲۱- عوامل موثر در ضریب جریان روش کوک

عامل	رده بندی مشخصات حوضه آبرگیر برای تعیین ضریب کوک	مقدار عددی عامل
وضعیت طبیعی زمین (R)	زمین های کوهستانی با شیب متوسط بیش از ۳۰٪	۴۰
	زمین های تپه ماهور با شیب متوسط (۳۰-۱۰)٪	۳۰
	زمین های ناهموار با شیب متوسط (۵-۱۰)٪	۲۰
	زمین های نسبتاً ناهموار با شیب متوسط (۵-۰)٪	۱۰
میزان نفوذ پذیری زمین (I)	زمین های با قابلیت نفوذ پذیری بسیار کم	۲۰
	زمین های با قابلیت نفوذ پذیری کم	۱۵
	زمین های با قابلیت نفوذ پذیری متوسط	۱۰
	زمین های با قابلیت نفوذ پذیری بسیار زیاد	۵
پوشش گیاهی (C)	بدون پوشش گیاهی قابل ملاحظه	۲۰
	پوشش گیاهی کم و زمین های کشاورزی با (۱۰-۰)٪ مساحت زیر پوشش گیاهی	۱۵
	حدود (۵۰-۱۰)٪ سطح حوضه زیر پوشش گیاهی	۱۰
	حدود (۹۰-۵۰)٪ سطح حوضه زیر پوشش گیاهی	۵
ذخایر سطحی (S)	سطوح ذخیره آب قابل چشم پوشی	۲۵
	دستگاه تخلیه مناسب با ظرفیت کم	۱۵
	سطوح ذخیره آب قابل ملاحظه - دو درصد سطح حوضه دریاچه یا مرداب	۱۰
	ذخایر سطحی زیاد و سیستم نامناسب شامل سطوح زیاد دریاچه مرداب	۵



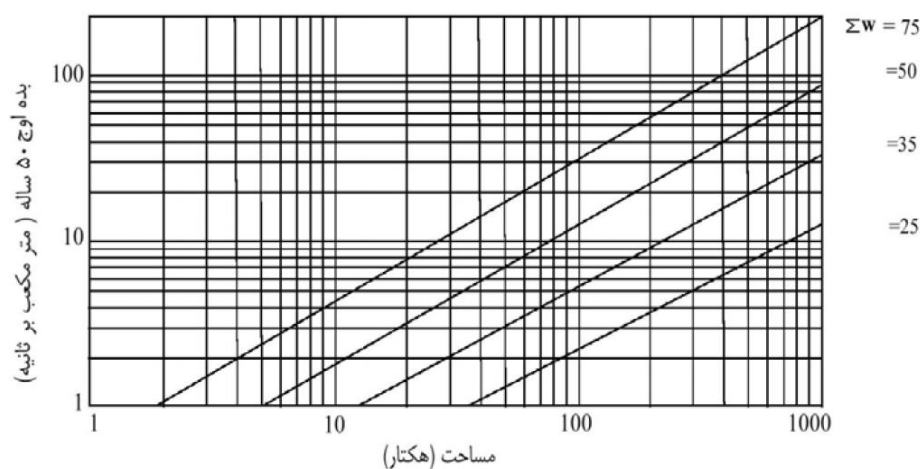
شکل ۷-۴- نمودار برآورد شدت جریان حداکثر با دوره بازگشت ۵۰ سال (Q_{50}) به کمک مساحت حوضه آبریز (ایکر) و ضریب کوک (W) در روش کوک ابتدا شدت جریان حداکثر سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال (Q_{50}) از شکل ۷-۴ به دست می‌آید. پس از محاسبه آن می‌توان به شرح زیر و به کمک جدول ۷-۲۲ شدت جریان حداکثر سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال را نیز محاسبه کرد. برای این منظور مراحل زیر انجام می‌گیرد:

۱- محاسبه مجموع باران سالانه حوضه، mm

۲- محاسبه مجموع $I+C$

۳- محاسبه نسبت $K=Q_{10}/Q_{50}$ به کمک جدول

۴- پس از انجام مراحل قبل، Q_{10} به کمک رابطه $Q_{10} = KQ_{50}$ به دست می‌آید.



شکل ۷-۵- نمودار بر آورد سیلاب ۵۰ ساله (Q_{50}) به کمک مساحت حوضه (هکتار) و ضریب کوک (W)

جدول ۷-۲۲- نسبت دبی جریان اوج ده ساله (Q_{10}) و بیست و پنج ساله (Q_{25}) به پنجاه ساله (Q_{50}) در روش کوک

متوسط باران سالانه (mm)						I+C
۲۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۷۵۰	۵۰۰	۲۵۰	
نسبت دبی اوج ۲۵ ساله به دبی اوج ۵۰ ساله						
۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۱	۵
۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۱	۱۰
۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۵۰	۱۵
۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۵۵	۲۰
۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۶۰	۲۵
۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۶۴	۳۰
۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۶۷	۳۵
۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۷۱	۴۰
نسبت دبی اوج ۱۰ ساله به دبی اوج ۵۰ ساله						
۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۵	۵
۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۰	۱۰
۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۱۶	۱۵
۰/۶۸	۰/۶۰	۰/۴۹	۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۲۱	۲۰
۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۶۱	۰/۵۲	۰/۴۱	۰/۲۶	۲۵
۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۷۴	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۳۱	۳۰
۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۷۳	۰/۵۸	۰/۳۶	۳۵
۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸	۰/۶۶	۰/۴۲	۴۰

۷-۵-۵- مک-مٹ

روش مک-مٹ برای برآورد شدت جریان حداکثر سیلاب‌ها در زمین‌های کشاورزی و آبیاری کوچک ارائه شده است. اساس این روش بر تصحیحاتی است که روی روش منطقی انجام گرفته است. کاربرد روش مک-مٹ محدود به حوضه‌های آبخیز کوچک روستایی و کشاورزی است؛ مشروط به این که همه مشخصات حوضه آبخیز معلوم باشد. رابطه مک-مٹ مطابق رابطه زیر است:

$$Q_p = KCIS^{0.2} A^{0.8} \quad (\text{رابطه ۷ - ۶۶})$$

K ضریب تبدیل واحدها است. در SI، $K = 0.091$ انتخاب می‌شود. بنابراین در SI داریم:

$$Q_p = 0.091 CIS^{0.2} A^{0.8} \quad (\text{رابطه ۷ - ۶۷})$$

که در آن:

Q_p : شدت اوج سیلاب m^3/s

A: مساحت حوضه آبخیز km^2

I: شدت بارندگی mm/h با مدت بارش مساوی زمان تمرکز حوضه ($t_t = t_c$)

S: شیب آبراهه اصلی m/km ؛ این شیب در مسیری که از بلندترین نقطه روی پیرامون حوضه آبخیز در امتداد آبراهه اصلی (سرچشمه آبراهه اصلی) آغاز و به نقطه مورد نظر (خروجی) پایان می‌پذیرد. در واقع S، شیب ناخالص (در هزار) است. با این شرط که سرچشمه آبراهه اصلی روی محیط حوضه آبخیز در نظر گرفته شود و نه در انتهای آبراهه. C: ضریب تلفات، تابعی از ویژگی‌های حوضه آبخیز مانند تراکم و پوشش گیاهی، بافت خاک و شیب حوضه آبخیز است. مقدار این ضریب از 0.2 تا 0.75 متغیر است. هر چه پوشش گیاهی کم‌تر و تنک‌تر و بافت خاک سنگین‌تر و شیب حوضه آبخیز تندتر باشد، مقدار عددی C به رقم 0.75 نزدیک‌تر می‌شود. مقادیر مختلف C برای سه عامل مهم حوضه آبخیز یعنی پوشش گیاهی، بافت خاک و توپوگرافی در جدول ۷-۲۳ ارائه شده است. C کل از مجموع C_i های این سه قسمت به‌دست می‌آید:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (\text{رابطه ۷ - ۶۸})$$

جدول ۷-۲۳- حدود تغییرات جریان (C) روش مک-مٹ

استعداد سیل خیزی	پوشش گیاهی (C _۱)	بافت خاک (C _۲)	توپوگرافی (C _۳)
بسیار کم	مراتع پرتراکم (۰/۰۸)	شنی (۰/۰۸)	مسطح (۰/۰۴)
کم	نسبتاً پرتراکم (۰/۱۲)	سبک (۰/۱۲)	شیب ملایم (۰/۰۶)
متوسط	نسبتاً متراکم تا متوسط (۰/۱۶)	متوسط (۰/۱۶)	شیب متوسط تا تپه ماهور (۰/۰۸۱)
زیاد	متوسط تا تنک (۰/۲۲)	سنگین (۰/۲۲)	تپه ماهور تا پرشیب (۰/۱۱)
بسیار زیاد	تنک تا بدون پوشش گیاهی (۰/۳)	خاک سنگین تا سنگی و صخره‌ای (۰/۳)	پرشیب (۰/۱۵)

۷-۶- روش CN اصلاح شده (رویکرد اول)

در این روش فرض می شود که مقدار نفوذپذیری برابر با صفر است (I_a) لذا رابطه مورد استفاده در روش SCS به صورت

(رابطه ۷ - ۶۹) ویرایش می گردد:

$$Q = \frac{(P)^2}{P + S} \quad (\text{رابطه ۷ - ۶۹})$$

۷-۷- روش CN اصلاح شده (رویکرد دوم)

در این روش مقدار I_a بعنوان یک پارامتر بدون بعد در محاسبات وارد شده و با استفاده از رابطه $I_a = \lambda S$ بیان می گردد.

پارامتر λ وابسته به زمان پر شدن گودال ها و ثابت هورتون در معادله نفوذ پذیری دارد و به صورت $\lambda = \alpha t$ بیان می شود

این روش به صورت (رابطه ۷ - ۷۰) ارائه می گردد:

$$Q = \frac{(P - \lambda S)^2}{(P - S)(\lambda - 1)} \quad (\text{رابطه ۷ - ۷۰})$$

فصل هشتم

هایتوگراف بارش

۸- فصل هشتم: هایتوگراف بارش

۸-۱- مقدمه

الگوی بارش با توجه به تغییر شدت بارندگی یکی از پارامترهای تاثیر گذار در میزان تولید رواناب می باشد به طوری که در الگوی های متفاوت بارش به دلیل تفاوت در میزان نفوذ پذیری، با تولید رواناب های متفاوتی نیز روبرو خواهیم بود. در طول بارش، شدت بارش به طور مداوم در حال تغییر بوده و این مقدار ممکن است کمتر یا بیشتر از نرخ نفوذپذیری در لایه سطحی خاک باشد. همچنین، بایستی توجه داشت که نرخ نفوذپذیری نیز با تغییر شدت بارش تغییر میکند، زیرا این میزان بستگی به محتوای رطوبت لایه سطحی خاک دارد که خود تحت تأثیر شدت بارش و میزان نفوذ است. در شرایط طبیعی بارش، طی مدت زمان بارندگی، اغلب شدت آن تغییر میکند. بنابراین، این مفهوم که به نام الگوی زمانی توزیع بارندگی بیان میشود، از ویژگیهای مهم بارندگی است که بر رواناب و کمیت و کیفیت و فرسایش خاک اثر میگذارد. در برخی از بارندگیها بیشترین شدت بارندگی میتواند در اوایل بارندگی (الگوی پیش افتاده) و در برخی دیگر در اواسط (الگوی معمول) و در مواردی نیز در مراحل پایانی (الگوی دیر کرده) حادث می شود که این موضوع تأثیر مستقیمی بر حجم رواناب و همچنین، اوج رواناب می گذارد لذا بایستی الگوی بارش و تاثیر آن در مدل های هیدرولوژیکی دیده شود. در بسیاری از ایستگاه های باران سنجی کشور به دلیل عدم وجود باران سنج های ثابت این الگو ها ثبت نمی گردند در این حالت پیشنهاد شده است که از یکی از الگوهای بارش SCS استفاده گردد. در انتخاب این الگوها بایستی با توجه به سابقه بارندگی منطقه مورد مطالعه الگویی انتخاب شود که بیشترین تطابق را با منطقه دارد.

۸-۲- الگوی بارش SCS

توزیع بارش های ارائه شده توسط SCS چهار تیپ بارندگی type I، type Ia، type II و type III را شامل می شود. این الگوها به با مدت زمان های ۲۴، ۱۲ و ۶ ساعته به صورت جدول ۸-۱ الی ۸-۳ و شکل های ۸-۱ الی ۸-۶ ارائه می گردد:

جدول ۸-۱- توزیع بارش ۲۴ ساعته SCS

standard ۲۴-hour NRCS rainfall distributions				
۶-minute interval				
time	type I	type Ia	type II	type III
(hours)	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour
۰.۰	۰.۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰
۰.۱	۰.۰۰۱۷۴	۰.۰۰۲۲۴	۰.۰۰۱۰۱	۰.۰۰۱۰۰
۰.۲	۰.۰۰۳۴۸	۰.۰۰۴۳۲	۰.۰۰۲۰۲	۰.۰۰۲۰۰
۰.۳	۰.۰۰۵۲۲	۰.۰۰۶۲۸	۰.۰۰۳۰۵	۰.۰۰۳۰۰
۰.۴	۰.۰۰۶۹۷	۰.۰۰۸۱۶	۰.۰۰۴۰۸	۰.۰۰۴۰۰
۰.۵	۰.۰۰۸۷۱	۰.۰۱۰۰۰	۰.۰۰۵۱۳	۰.۰۰۵۰۰
۰.۶	۰.۰۱۰۴۶	۰.۰۱۱۸۴	۰.۰۰۶۱۸	۰.۰۰۶۰۰
۰.۷	۰.۰۱۲۲۰	۰.۰۱۳۷۲	۰.۰۰۷۲۵	۰.۰۰۷۰۰
۰.۸	۰.۰۱۳۹۵	۰.۰۱۵۶۸	۰.۰۰۸۳۲	۰.۰۰۸۰۰
۰.۹	۰.۰۱۵۷۰	۰.۰۱۷۷۶	۰.۰۰۹۴۱	۰.۰۰۹۰۰
۱.۰	۰.۰۱۷۴۵	۰.۰۲۰۰۰	۰.۰۱۰۵۰	۰.۰۱۰۰۰
۱.۱	۰.۰۱۹۲۰	۰.۰۲۲۷۶	۰.۰۱۱۶۱	۰.۰۱۱۰۰
۱.۲	۰.۰۲۰۹۵	۰.۰۲۵۶۸	۰.۰۱۲۷۲	۰.۰۱۲۰۰
۱.۳	۰.۰۲۲۷۰	۰.۰۲۸۷۲	۰.۰۱۳۸۵	۰.۰۱۳۰۰
۱.۴	۰.۰۲۴۴۶	۰.۰۳۱۸۴	۰.۰۱۴۹۸	۰.۰۱۴۰۰
۱.۵	۰.۰۲۶۲۱	۰.۰۳۵۰۰	۰.۰۱۶۱۳	۰.۰۱۵۰۰
۱.۶	۰.۰۲۷۹۷	۰.۰۳۷۹۷	۰.۰۱۷۲۸	۰.۰۱۶۰۰
۱.۷	۰.۰۲۹۷۲	۰.۰۴۰۹۵	۰.۰۱۸۴۵	۰.۰۱۷۰۰
۱.۸	۰.۰۳۱۴۸	۰.۰۴۳۹۴	۰.۰۱۹۶۲	۰.۰۱۸۰۰
۱.۹	۰.۰۳۳۲۴	۰.۰۴۶۹۵	۰.۰۲۰۸۱	۰.۰۱۹۰۰
۲.۰	۰.۰۳۵۰۰	۰.۰۵۰۰۰	۰.۰۲۲۰۰	۰.۰۲۰۰۰
۲.۱	۰.۰۳۶۷۷	۰.۰۵۳۱۵	۰.۰۲۳۲۱	۰.۰۲۱۰۱
۲.۲	۰.۰۳۸۵۸	۰.۰۵۶۲۳	۰.۰۲۴۴۲	۰.۰۲۲۰۳
۲.۳	۰.۰۴۰۴۱	۰.۰۵۹۵۴	۰.۰۲۵۶۵	۰.۰۲۳۰۷
۲.۴	۰.۰۴۲۲۷	۰.۰۶۲۷۶	۰.۰۲۶۸۸	۰.۰۲۴۱۲
۲.۵	۰.۰۴۴۱۶	۰.۰۶۶۰۰	۰.۰۲۸۱۳	۰.۰۲۵۱۹
۲.۶	۰.۰۴۶۰۸	۰.۰۶۹۲۰	۰.۰۲۹۳۸	۰.۰۲۶۲۷
۲.۷	۰.۰۴۸۰۳	۰.۰۷۲۴۰	۰.۰۳۰۶۵	۰.۰۲۷۳۷
۲.۸	۰.۰۵۰۰۱	۰.۰۷۵۶۰	۰.۰۳۱۹۲	۰.۰۲۸۴۸
۲.۹	۰.۰۵۲۰۱	۰.۰۷۸۸۰	۰.۰۳۳۲۱	۰.۰۲۹۶۱
۳.۰	۰.۰۵۴۰۵	۰.۰۸۲۰۰	۰.۰۳۴۵۰	۰.۰۳۰۷۵
۳.۱	۰.۰۵۶۱۱	۰.۰۸۵۱۴	۰.۰۳۵۸۱	۰.۰۳۱۹۱
۳.۲	۰.۰۵۸۲۱	۰.۰۸۸۲۹	۰.۰۳۷۱۲	۰.۰۳۳۰۸
۳.۳	۰.۰۶۰۳۳	۰.۰۹۱۴۷	۰.۰۳۸۴۵	۰.۰۳۴۲۷
۳.۴	۰.۰۶۲۴۸	۰.۰۹۴۷۱	۰.۰۳۹۷۸	۰.۰۳۵۴۷
۳.۵	۰.۰۶۴۶۶	۰.۰۹۸۰۰	۰.۰۴۱۱۳	۰.۰۳۶۶۹

جدول ۸- ۱- توزیع بارش ۲۴ ساعته SCS

standard ۲۴-hour NRCS rainfall distributions				
۶-minute interval				
time	type I	type Ia	type II	type III
(hours)	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour
۳.۶	۰.۰۶۶۸۷	۰.۱۰۱۴۷	۰.۰۴۲۴۸	۰.۰۳۷۹۲
۳.۷	۰.۰۶۹۱۱	۰.۱۰۵۰۲	۰.۰۴۳۸۵	۰.۰۳۹۱۷
۳.۸	۰.۰۷۱۳۸	۰.۱۰۸۶۲	۰.۰۴۵۲۲	۰.۰۴۰۴۳
۳.۹	۰.۰۷۳۶۷	۰.۱۱۲۲۹	۰.۰۴۶۶۱	۰.۰۴۱۷۱
۴.۰	۰.۰۷۶۰۰	۰.۱۱۶۰۰	۰.۰۴۸۰۰	۰.۰۴۳۰۰
۴.۱	۰.۰۷۸۳۵	۰.۱۱۹۶۹	۰.۰۴۹۴۱	۰.۰۴۴۳۱
۴.۲	۰.۰۸۰۷۰	۰.۱۲۳۴۲	۰.۰۵۰۸۴	۰.۰۴۵۶۳
۴.۳	۰.۰۸۳۰۷	۰.۱۲۷۲۱	۰.۰۵۲۲۹	۰.۰۴۶۹۷
۴.۴	۰.۰۸۵۴۵	۰.۱۳۱۰۷	۰.۰۵۳۷۶	۰.۰۴۸۳۲
۴.۵	۰.۰۸۷۸۴	۰.۱۳۵۰۰	۰.۰۵۵۲۵	۰.۰۴۹۶۹
۴.۶	۰.۰۹۰۲۴	۰.۱۳۹۰۱	۰.۰۵۶۷۶	۰.۰۵۱۰۷
۴.۷	۰.۰۹۲۶۵	۰.۱۴۳۱۰	۰.۰۵۸۲۹	۰.۰۵۲۴۷
۴.۸	۰.۰۹۵۰۷	۰.۱۴۷۲۹	۰.۰۵۹۸۴	۰.۰۵۳۸۸
۴.۹	۰.۰۹۷۵۱	۰.۱۵۱۵۹	۰.۰۶۱۴۱	۰.۰۵۵۳۱
۵.۰	۰.۰۹۹۹۵	۰.۱۵۶۰۰	۰.۰۶۳۰۰	۰.۰۵۶۷۵
۵.۱	۰.۱۰۲۴۱	۰.۱۶۰۵۹	۰.۰۶۴۶۱	۰.۰۵۸۲۱
۵.۲	۰.۱۰۴۸۷	۰.۱۶۵۳۰	۰.۰۶۶۲۴	۰.۰۵۹۶۸
۵.۳	۰.۱۰۷۳۵	۰.۱۷۰۱۱	۰.۰۶۷۸۹	۰.۰۶۱۱۷
۵.۴	۰.۱۰۹۸۴	۰.۱۷۵۰۱	۰.۰۶۹۵۶	۰.۰۶۲۶۷
۵.۵	۰.۱۱۲۳۴	۰.۱۸۰۰۰	۰.۰۷۱۲۵	۰.۰۶۴۱۹
۵.۶	۰.۱۱۴۸۵	۰.۱۸۴۹۴	۰.۰۷۲۹۶	۰.۰۶۵۷۲
۵.۷	۰.۱۱۷۳۷	۰.۱۸۹۹۹	۰.۰۷۴۶۹	۰.۰۶۷۲۷
۵.۸	۰.۱۱۹۹۰	۰.۱۹۵۱۷	۰.۰۷۶۴۴	۰.۰۶۸۸۳
۵.۹	۰.۱۲۲۴۵	۰.۲۰۰۴۹	۰.۰۷۸۲۱	۰.۰۷۰۴۱
۶.۰	۰.۱۲۵۰۰	۰.۲۰۶۰۰	۰.۰۸۰۰۰	۰.۰۷۲۰۰
۶.۱	۰.۱۲۷۶۱	۰.۲۱۱۹۶	۰.۰۸۱۸۱	۰.۰۷۳۶۳
۶.۲	۰.۱۳۰۳۴	۰.۲۱۸۰۸	۰.۰۸۳۶۴	۰.۰۷۵۳۰
۶.۳	۰.۱۳۳۱۷	۰.۲۲۴۳۲	۰.۰۸۵۴۹	۰.۰۷۷۰۳
۶.۴	۰.۱۳۶۱۰	۰.۲۳۰۶۴	۰.۰۸۷۳۶	۰.۰۷۸۸۰
۶.۵	۰.۱۳۹۱۵	۰.۲۳۷۰۰	۰.۰۸۹۲۵	۰.۰۸۰۶۳
۶.۶	۰.۱۴۲۳۰	۰.۲۴۲۸۵	۰.۰۹۱۱۶	۰.۰۸۲۵۰
۶.۷	۰.۱۴۵۵۷	۰.۲۴۸۷۸	۰.۰۹۳۰۹	۰.۰۸۴۴۳
۶.۸	۰.۱۴۸۹۴	۰.۲۵۴۹۰	۰.۰۹۵۰۴	۰.۰۸۶۴۰
۶.۹	۰.۱۵۲۴۱	۰.۲۶۱۲۷	۰.۰۹۷۰۱	۰.۰۸۸۴۳
۷.۰	۰.۱۵۶۰۰	۰.۲۶۸۰۰	۰.۰۹۹۰۰	۰.۰۹۰۵۰

جدول ۸- ۱- توزیع بارش ۲۴ ساعته SCS

standard ۲۴-hour NRCS rainfall distributions				
۶-minute interval				
time	type I	type Ia	type II	type III
(hours)	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour
۷.۱	۰.۱۵۹۶۶	۰.۲۷۵۱۷	۰.۱۰۱۰۱	۰.۰۹۲۶۳
۷.۲	۰.۱۶۳۳۴	۰.۲۸۲۸۷	۰.۱۰۳۰۴	۰.۰۹۴۸۰
۷.۳	۰.۱۶۷۰۶	۰.۲۹۱۱۸	۰.۱۰۵۰۹	۰.۰۹۷۰۳
۷.۴	۰.۱۷۰۸۲	۰.۳۰۰۱۹	۰.۱۰۷۱۶	۰.۰۹۹۳۰
۷.۵	۰.۱۷۴۶۰	۰.۳۱۰۰۰	۰.۱۰۹۲۵	۰.۱۰۱۶۳
۷.۶	۰.۱۷۸۴۲	۰.۳۳۱۴۲	۰.۱۱۱۳۶	۰.۱۰۴۰۰
۷.۷	۰.۱۸۲۲۶	۰.۳۵۴۶۹	۰.۱۱۳۴۹	۰.۱۰۶۴۳
۷.۸	۰.۱۸۶۱۴	۰.۳۷۸۷۶	۰.۱۱۵۶۴	۰.۱۰۸۹۰
۷.۹	۰.۱۹۰۰۶	۰.۴۰۲۵۵	۰.۱۱۷۸۱	۰.۱۱۱۴۳
۸.۰	۰.۱۹۴۰۰	۰.۴۲۵۰۰	۰.۱۲۰۰۰	۰.۱۱۴۰۰
۸.۱	۰.۱۹۸۱۷	۰.۴۳۹۳۶	۰.۱۲۲۲۵	۰.۱۱۶۶۶
۸.۲	۰.۲۰۲۷۵	۰.۴۵۱۶۸	۰.۱۲۴۶۰	۰.۱۱۹۴۳
۸.۳	۰.۲۰۷۷۵	۰.۴۶۲۳۲	۰.۱۲۷۰۵	۰.۱۲۲۳۲
۸.۴	۰.۲۱۳۱۷	۰.۴۷۱۶۴	۰.۱۲۹۶۰	۰.۱۲۵۳۲
۸.۵	۰.۲۱۹۰۰	۰.۴۸۰۰۰	۰.۱۳۲۲۵	۰.۱۲۸۴۴
۸.۶	۰.۲۲۵۲۳	۰.۴۸۹۰۴	۰.۱۳۵۰۰	۰.۱۳۱۶۷
۸.۷	۰.۲۳۱۸۵	۰.۴۹۷۵۲	۰.۱۳۷۸۵	۰.۱۳۵۰۲
۸.۸	۰.۲۳۸۸۵	۰.۵۰۵۴۸	۰.۱۴۰۸۰	۰.۱۳۸۴۸
۸.۹	۰.۲۴۶۲۳	۰.۵۱۲۹۶	۰.۱۴۳۸۵	۰.۱۴۲۰۶
۹.۰	۰.۲۵۴۰۰	۰.۵۲۰۰۰	۰.۱۴۷۰۰	۰.۱۴۵۷۵
۹.۱	۰.۲۶۲۳۳	۰.۵۲۶۶۴	۰.۱۵۰۲۰	۰.۱۴۹۵۶
۹.۲	۰.۲۷۱۳۹	۰.۵۳۲۹۲	۰.۱۵۳۴۰	۰.۱۵۳۴۸
۹.۳	۰.۲۸۱۱۹	۰.۵۳۸۸۸	۰.۱۵۶۶۰	۰.۱۵۷۵۲
۹.۴	۰.۲۹۱۷۳	۰.۵۴۴۵۶	۰.۱۵۹۸۰	۰.۱۶۱۶۷
۹.۵	۰.۳۰۳۰۰	۰.۵۵۰۰۰	۰.۱۶۳۰۰	۰.۱۶۵۹۴
۹.۶	۰.۳۱۹۴۲	۰.۵۵۵۶۴	۰.۱۶۶۲۸	۰.۱۷۰۳۲
۹.۷	۰.۳۴۵۴۲	۰.۵۶۱۱۶	۰.۱۶۹۷۲	۰.۱۷۴۸۲
۹.۸	۰.۳۸۷۸۴	۰.۵۶۶۵۶	۰.۱۷۳۳۲	۰.۱۷۹۴۳
۹.۹	۰.۴۶۳۱۶	۰.۵۷۱۸۴	۰.۱۷۷۰۸	۰.۱۸۴۱۶
۱۰.۰	۰.۵۱۵۰۰	۰.۵۷۷۰۰	۰.۱۸۱۰۰	۰.۱۸۹۰۰
۱۰.۱	۰.۵۳۲۲۰	۰.۵۸۱۹۸	۰.۱۸۵۱۲	۰.۱۹۴۰۲
۱۰.۲	۰.۵۴۷۶۰	۰.۵۸۶۸۵	۰.۱۸۹۴۸	۰.۱۹۹۲۸
۱۰.۳	۰.۵۶۱۲۰	۰.۵۹۱۶۳	۰.۱۹۴۰۸	۰.۲۰۴۷۸
۱۰.۴	۰.۵۷۳۰۰	۰.۵۹۶۴۵	۰.۱۹۸۹۲	۰.۲۱۰۵۲
۱۰.۵	۰.۵۸۳۰۰	۰.۶۰۱۰۰	۰.۲۰۴۰۰	۰.۲۱۶۵۰
۱۰.۶	۰.۵۹۱۸۸	۰.۶۰۵۷۶	۰.۲۰۹۴۰	۰.۲۲۲۷۲

جدول ۸-۱- توزیع بارش ۲۴ ساعته SCS

standard ۲۴-hour NRCS rainfall distributions				
۶-minute interval				
time	type I	type Ia	type II	type III
(hours)	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour
۱۰.۷	۰.۶۰۰۳۲	۰.۶۱۰۴۴	۰.۲۱۵۲۰	۰.۲۲۹۱۸
۱۰.۸	۰.۶۰۸۳۲	۰.۶۱۵۰۴	۰.۲۲۱۴۰	۰.۲۳۵۸۸
۱۰.۹	۰.۶۱۵۸۸	۰.۶۱۹۵۶	۰.۲۲۸۰۰	۰.۲۴۲۸۲
۱۱.۰	۰.۶۲۳۰۰	۰.۶۲۴۰۰	۰.۲۳۵۰۰	۰.۲۵۰۰۰
۱۱.۱	۰.۶۲۹۸۲	۰.۶۲۸۳۶	۰.۲۴۲۶۸	۰.۲۵۷۷۶
۱۱.۲	۰.۶۳۶۴۸	۰.۶۳۲۶۴	۰.۲۵۱۳۲	۰.۲۶۶۴۴
۱۱.۳	۰.۶۴۲۹۸	۰.۶۳۶۸۴	۰.۲۶۰۹۲	۰.۲۷۶۰۴
۱۱.۴	۰.۶۴۹۳۲	۰.۶۴۰۹۶	۰.۲۷۱۴۸	۰.۲۸۶۵۶
۱۱.۵	۰.۶۵۵۵۰	۰.۶۴۵۰۰	۰.۲۸۳۰۰	۰.۲۹۸۰۰
۱۱.۶	۰.۶۶۱۵۲	۰.۶۴۸۸۹	۰.۳۰۶۸۴	۰.۳۱۴۳۰
۱۱.۷	۰.۶۶۷۳۸	۰.۶۵۲۷۲	۰.۳۵۴۳۶	۰.۳۳۹۴۰
۱۱.۸	۰.۶۷۳۰۸	۰.۶۵۶۵۱	۰.۴۳۰۷۹	۰.۳۷۳۳۰
۱۱.۹	۰.۶۷۸۶۲	۰.۶۶۰۲۶	۰.۵۶۷۸۶	۰.۴۱۶۰۰
۱۲.۰	۰.۶۸۴۰۰	۰.۶۶۴۰۰	۰.۶۶۳۰۰	۰.۵۰۰۰۰
۱۲.۱	۰.۶۸۹۲۵	۰.۶۶۷۷۳	۰.۶۸۱۹۶	۰.۵۸۴۰۰
۱۲.۲	۰.۶۹۴۴۰	۰.۶۷۱۴۸	۰.۶۹۸۶۴	۰.۶۲۶۷۰
۱۲.۳	۰.۶۹۹۴۵	۰.۶۷۵۲۷	۰.۷۱۳۰۴	۰.۶۶۰۶۰
۱۲.۴	۰.۷۰۴۴۰	۰.۶۷۹۱۰	۰.۷۲۵۱۶	۰.۶۸۵۷۰
۱۲.۵	۰.۷۰۹۲۵	۰.۶۸۳۰۰	۰.۷۳۵۰۰	۰.۷۰۲۰۰
۱۲.۶	۰.۷۱۴۰۰	۰.۶۸۶۶۵	۰.۷۴۳۴۴	۰.۷۱۳۴۴
۱۲.۷	۰.۷۱۸۶۵	۰.۶۹۰۲۷	۰.۷۵۱۳۶	۰.۷۲۳۹۶
۱۲.۸	۰.۷۲۳۲۰	۰.۶۹۳۸۶	۰.۷۵۸۷۶	۰.۷۳۳۵۶
۱۲.۹	۰.۷۲۷۶۵	۰.۶۹۷۴۴	۰.۷۶۵۶۴	۰.۷۴۲۲۴
۱۳.۰	۰.۷۳۲۰۰	۰.۷۰۱۰۰	۰.۷۷۲۰۰	۰.۷۵۰۰۰
۱۳.۱	۰.۷۳۶۲۵	۰.۷۰۴۷۳	۰.۷۷۷۹۶	۰.۷۵۷۱۸
۱۳.۲	۰.۷۴۰۴۰	۰.۷۰۸۳۸	۰.۷۸۳۶۴	۰.۷۶۴۱۲
۱۳.۳	۰.۷۴۴۴۵	۰.۷۱۱۹۸	۰.۷۸۹۰۴	۰.۷۷۰۸۲
۱۳.۴	۰.۷۴۸۴۰	۰.۷۱۵۵۱	۰.۷۹۴۱۶	۰.۷۷۷۲۸
۱۳.۵	۰.۷۵۲۲۵	۰.۷۱۹۰۰	۰.۷۹۹۰۰	۰.۷۸۳۵۰
۱۳.۶	۰.۷۵۶۰۰	۰.۷۲۲۴۵	۰.۸۰۳۶۰	۰.۷۸۹۴۸
۱۳.۷	۰.۷۵۹۶۵	۰.۷۲۵۸۶	۰.۸۰۸۰۰	۰.۷۹۵۲۲
۱۳.۸	۰.۷۶۳۲۰	۰.۷۲۹۲۶	۰.۸۱۲۲۰	۰.۸۰۰۷۲
۱۳.۹	۰.۷۶۶۶۵	۰.۷۳۲۶۳	۰.۸۱۶۲۰	۰.۸۰۵۹۸
۱۴.۰	۰.۷۷۰۰۰	۰.۷۳۶۰۰	۰.۸۲۰۰۰	۰.۸۱۱۰۰
۱۴.۱	۰.۷۷۳۲۹	۰.۷۳۹۳۹	۰.۸۲۳۶۷	۰.۸۱۵۸۴

جدول ۸-۱- توزیع بارش ۲۴ ساعته SCS

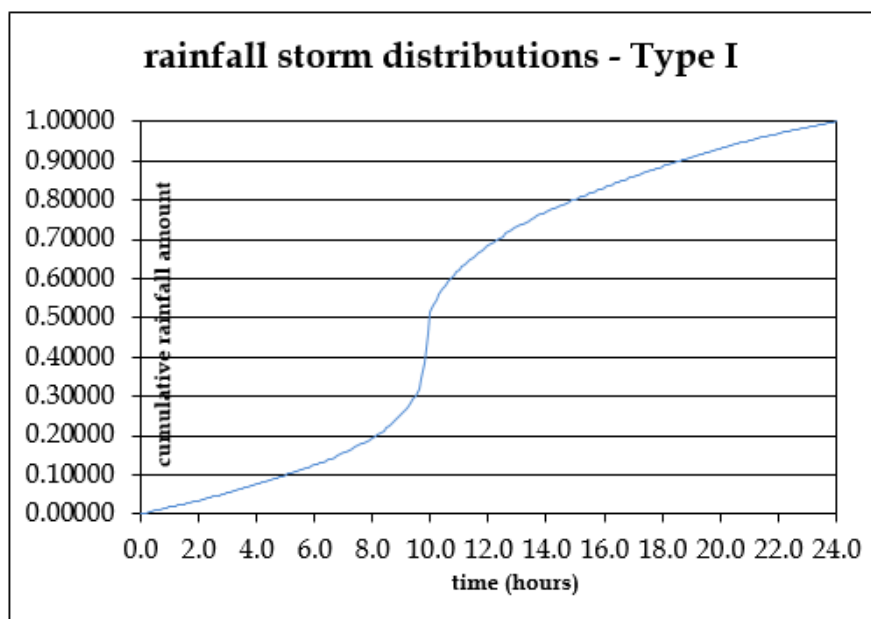
standard ۲۴-hour NRCS rainfall distributions				
۶-minute interval				
time	type I	type Ia	type II	type III
(hours)	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour
۱۴.۲	۰.۷۷۶۵۶	۰.۷۴۲۷۷	۰.۸۲۷۲۶	۰.۸۲۰۵۷
۱۴.۳	۰.۷۷۹۸۱	۰.۷۴۶۱۳	۰.۸۳۰۷۹	۰.۸۲۵۱۸
۱۴.۴	۰.۷۸۳۰۴	۰.۷۴۹۴۸	۰.۸۳۴۲۴	۰.۸۲۹۶۸
۱۴.۵	۰.۷۸۶۲۵	۰.۷۵۲۸۱	۰.۸۳۷۶۳	۰.۸۳۴۰۶
۱۴.۶	۰.۷۸۹۴۴	۰.۷۵۶۱۳	۰.۸۴۰۹۴	۰.۸۳۸۳۳
۱۴.۷	۰.۷۹۲۶۱	۰.۷۵۹۴۳	۰.۸۴۴۱۹	۰.۸۴۲۴۸
۱۴.۸	۰.۷۹۵۷۶	۰.۷۶۲۷۱	۰.۸۴۷۳۶	۰.۸۴۶۵۲
۱۴.۹	۰.۷۹۸۸۹	۰.۷۶۵۹۸	۰.۸۵۰۴۷	۰.۸۵۰۴۴
۱۵.۰	۰.۸۰۲۰۰	۰.۷۶۹۲۴	۰.۸۵۳۵۰	۰.۸۵۴۲۵
۱۵.۱	۰.۸۰۵۰۹	۰.۷۷۲۴۸	۰.۸۵۶۴۷	۰.۸۵۷۹۴
۱۵.۲	۰.۸۰۸۱۶	۰.۷۷۵۷۱	۰.۸۵۹۳۶	۰.۸۶۱۵۲
۱۵.۳	۰.۸۱۱۲۱	۰.۷۷۸۹۲	۰.۸۶۲۱۹	۰.۸۶۴۹۸
۱۵.۴	۰.۸۱۴۲۴	۰.۷۸۲۱۱	۰.۸۶۴۹۴	۰.۸۶۸۳۳
۱۵.۵	۰.۸۱۷۲۵	۰.۷۸۵۲۹	۰.۸۶۷۶۳	۰.۸۷۱۵۶
۱۵.۶	۰.۸۲۰۲۴	۰.۷۸۸۴۵	۰.۸۷۰۲۴	۰.۸۷۴۶۸
۱۵.۷	۰.۸۲۳۲۱	۰.۷۹۱۶۰	۰.۸۷۲۷۹	۰.۸۷۷۶۸
۱۵.۸	۰.۸۲۶۱۶	۰.۷۹۴۷۴	۰.۸۷۵۲۶	۰.۸۸۰۵۷
۱۵.۹	۰.۸۲۹۰۹	۰.۷۹۷۸۶	۰.۸۷۷۶۷	۰.۸۸۳۳۴
۱۶.۰	۰.۸۳۲۰۰	۰.۸۰۰۹۶	۰.۸۸۰۰۰	۰.۸۸۶۰۰
۱۶.۱	۰.۸۳۴۸۹	۰.۸۰۴۰۵	۰.۸۸۲۲۹	۰.۸۸۸۵۸
۱۶.۲	۰.۸۳۷۷۶	۰.۸۰۷۱۲	۰.۸۸۴۵۵	۰.۸۹۱۱۰
۱۶.۳	۰.۸۴۰۶۱	۰.۸۱۰۱۸	۰.۸۸۶۷۹	۰.۸۹۳۵۸
۱۶.۴	۰.۸۴۳۴۴	۰.۸۱۳۲۲	۰.۸۸۹۰۰	۰.۸۹۶۰۰
۱۶.۵	۰.۸۴۶۲۵	۰.۸۱۶۲۵	۰.۸۹۱۱۹	۰.۸۹۸۳۸
۱۶.۶	۰.۸۴۹۰۴	۰.۸۱۹۲۶	۰.۸۹۳۳۵	۰.۹۰۰۷۰
۱۶.۷	۰.۸۵۱۸۱	۰.۸۲۲۲۶	۰.۸۹۵۴۹	۰.۹۰۲۹۸
۱۶.۸	۰.۸۵۴۵۶	۰.۸۲۵۲۴	۰.۸۹۷۶۰	۰.۹۰۵۲۰
۱۶.۹	۰.۸۵۷۳۹	۰.۸۲۸۲۱	۰.۸۹۹۶۹	۰.۹۰۷۳۸
۱۷.۰	۰.۸۶۰۰۰	۰.۸۳۱۱۶	۰.۹۰۱۷۵	۰.۹۰۹۵۰
۱۷.۱	۰.۸۶۲۶۹	۰.۸۳۴۱۰	۰.۹۰۳۷۹	۰.۹۱۱۵۸
۱۷.۲	۰.۸۶۵۳۶	۰.۸۳۷۰۲	۰.۹۰۵۸۰	۰.۹۱۳۶۰
۱۷.۳	۰.۸۶۸۰۱	۰.۸۳۹۹۲	۰.۹۰۷۷۹	۰.۹۱۵۵۸
۱۷.۴	۰.۸۷۰۶۴	۰.۸۴۲۸۱	۰.۹۰۹۷۵	۰.۹۱۷۵۰
۱۷.۵	۰.۸۷۳۲۵	۰.۸۴۵۶۹	۰.۹۱۱۶۹	۰.۹۱۹۳۸
۱۷.۶	۰.۸۷۵۸۴	۰.۸۴۸۵۵	۰.۹۱۳۶۰	۰.۹۲۱۲۰
۱۷.۷	۰.۸۷۸۴۱	۰.۸۵۱۴۰	۰.۹۱۵۴۹	۰.۹۲۲۹۸

جدول ۸-۱- توزیع بارش ۲۴ ساعته SCS

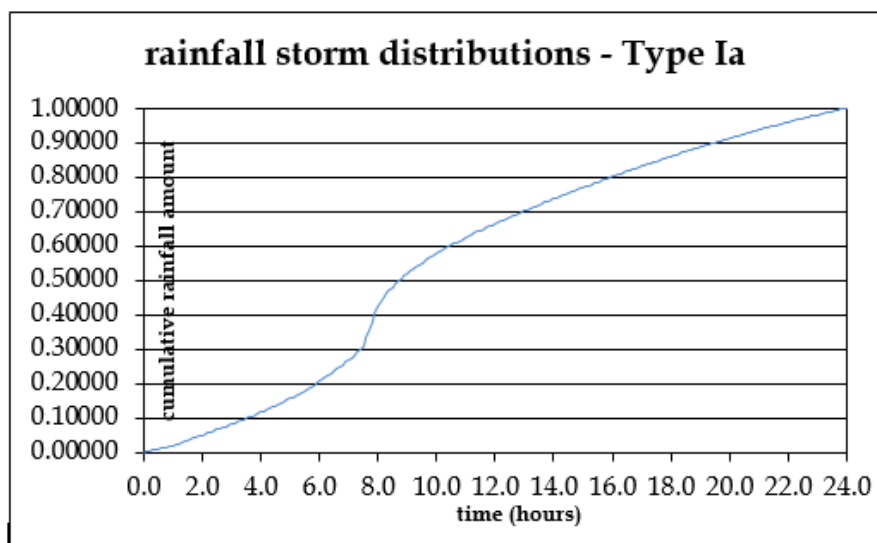
standard ۲۴-hour NRCS rainfall distributions				
۶-minute interval				
time	type I	type Ia	type II	type III
(hours)	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour
۱۷.۸	۰.۸۸۰۹۶	۰.۸۵۴۲۳	۰.۹۱۷۳۵	۰.۹۲۴۷۰
۱۷.۹	۰.۸۸۳۴۹	۰.۸۵۷۰۴	۰.۹۱۹۱۹	۰.۹۲۶۳۸
۱۸.۰	۰.۸۸۶۰۰	۰.۸۵۹۸۴	۰.۹۲۱۰۰	۰.۹۲۸۰۰
۱۸.۱	۰.۸۸۸۴۹	۰.۸۶۲۶۲	۰.۹۲۲۷۹	۰.۹۲۹۵۹
۱۸.۲	۰.۸۹۰۹۶	۰.۸۶۵۳۹	۰.۹۲۴۵۵	۰.۹۳۱۱۷
۱۸.۳	۰.۸۹۳۴۱	۰.۸۶۸۱۵	۰.۹۲۶۲۹	۰.۹۳۲۷۳
۱۸.۴	۰.۸۹۵۸۴	۰.۸۷۰۸۹	۰.۹۲۸۰۰	۰.۹۳۴۲۸
۱۸.۵	۰.۸۹۸۲۵	۰.۸۷۳۶۱	۰.۹۲۹۶۹	۰.۹۳۵۸۱
۱۸.۶	۰.۹۰۰۶۴	۰.۸۷۶۳۲	۰.۹۳۱۳۵	۰.۹۳۷۳۳
۱۸.۷	۰.۹۰۳۰۱	۰.۸۷۹۰۱	۰.۹۳۲۹۹	۰.۹۳۸۸۳
۱۸.۸	۰.۹۰۵۳۶	۰.۸۸۱۶۹	۰.۹۳۴۶۰	۰.۹۴۰۳۲
۱۸.۹	۰.۹۰۷۶۹	۰.۸۸۴۳۵	۰.۹۳۶۱۹	۰.۹۴۱۷۹
۱۹.۰	۰.۹۱۰۰۰	۰.۸۸۷۰۰	۰.۹۳۷۷۵	۰.۹۴۳۲۵
۱۹.۱	۰.۹۱۲۲۹	۰.۸۸۹۶۳	۰.۹۳۹۳۹	۰.۹۴۴۶۹
۱۹.۲	۰.۹۱۴۵۶	۰.۸۹۲۲۵	۰.۹۴۰۸۰	۰.۹۴۶۱۲
۱۹.۳	۰.۹۱۶۸۱	۰.۸۹۴۸۵	۰.۹۴۲۲۹	۰.۹۴۷۵۳
۱۹.۴	۰.۹۱۹۰۴	۰.۸۹۷۴۴	۰.۹۴۳۷۵	۰.۹۴۸۹۳
۱۹.۵	۰.۹۲۱۲۵	۰.۹۰۰۰۱	۰.۹۴۵۱۹	۰.۹۵۰۳۱
۱۹.۶	۰.۹۲۳۴۴	۰.۹۰۲۵۷	۰.۹۴۶۶۰	۰.۹۵۱۶۸
۱۹.۷	۰.۹۲۵۶۱	۰.۹۰۵۱۱	۰.۹۴۷۹۹	۰.۹۵۳۰۳
۱۹.۸	۰.۹۲۷۷۶	۰.۹۰۷۶۳	۰.۹۴۹۳۵	۰.۹۵۴۳۷
۱۹.۹	۰.۹۲۹۸۹	۰.۹۱۰۱۴	۰.۹۵۰۶۹	۰.۹۵۵۶۹
۲۰.۰	۰.۹۳۲۰۰	۰.۹۱۲۶۴	۰.۹۵۲۰۰	۰.۹۵۷۰۰
۲۰.۱	۰.۹۳۴۰۹	۰.۹۱۵۱۲	۰.۹۵۳۳۰	۰.۹۵۸۲۹
۲۰.۲	۰.۹۳۶۱۶	۰.۹۱۷۵۹	۰.۹۵۴۵۹	۰.۹۵۹۵۸
۲۰.۳	۰.۹۳۸۲۱	۰.۹۲۰۰۴	۰.۹۵۵۸۸	۰.۹۶۰۸۵
۲۰.۴	۰.۹۴۰۲۴	۰.۹۲۲۴۷	۰.۹۵۷۱۶	۰.۹۶۲۱۱
۲۰.۵	۰.۹۴۲۲۵	۰.۹۲۴۸۹	۰.۹۵۸۴۴	۰.۹۶۳۳۶
۲۰.۶	۰.۹۴۴۲۴	۰.۹۲۷۲۹	۰.۹۵۹۷۱	۰.۹۶۴۶۰
۲۰.۷	۰.۹۴۶۲۱	۰.۹۲۹۶۸	۰.۹۶۰۹۸	۰.۹۶۵۸۲
۲۰.۸	۰.۹۴۸۱۶	۰.۹۳۲۰۶	۰.۹۶۲۲۴	۰.۹۶۷۰۴
۲۰.۹	۰.۹۵۰۰۹	۰.۹۳۴۴۲	۰.۹۶۳۵۰	۰.۹۶۸۲۴
۲۱.۰	۰.۹۵۲۰۰	۰.۹۳۶۷۶	۰.۹۶۴۷۵	۰.۹۶۹۴۴
۲۱.۱	۰.۹۵۳۸۹	۰.۹۳۹۰۹	۰.۹۶۶۰۰	۰.۹۷۰۶۲
۲۱.۲	۰.۹۵۵۷۶	۰.۹۴۱۴۰	۰.۹۶۷۲۴	۰.۹۷۱۷۹

جدول ۸-۱- توزیع بارش ۲۴ ساعته SCS

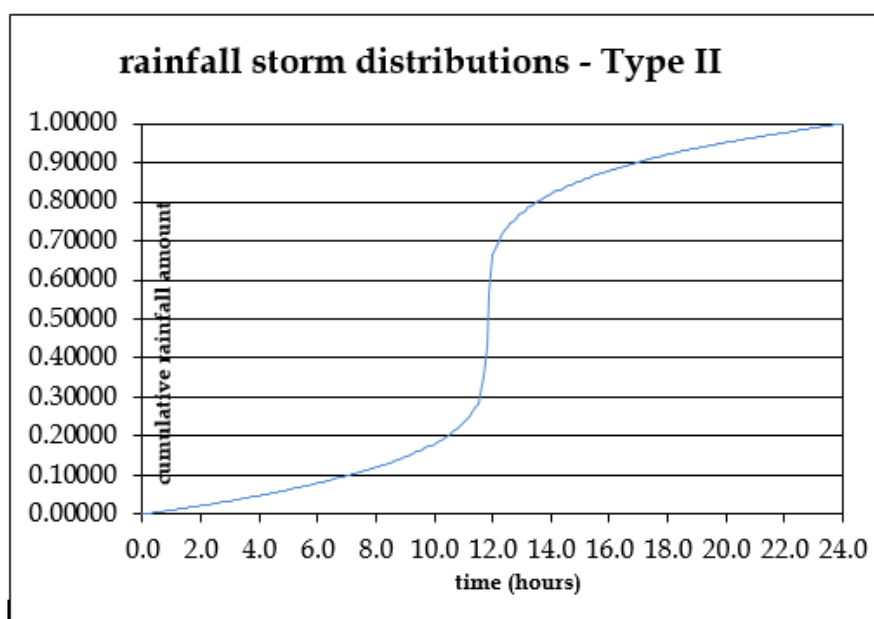
standard ۲۴-hour NRCS rainfall distributions				
۶-minute interval				
time	type I	type Ia	type II	type III
(hours)	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour	۲۴-hour
۲۱.۳	۰.۹۵۷۶۱	۰.۹۴۳۷۰	۰.۹۶۸۴۸	۰.۹۷۲۹۵
۲۱.۴	۰.۹۵۹۴۴	۰.۹۴۵۹۸	۰.۹۶۹۷۱	۰.۹۷۴۱۰
۲۱.۵	۰.۹۶۱۲۵	۰.۹۴۸۲۵	۰.۹۷۰۹۴	۰.۹۷۵۲۳
۲۱.۶	۰.۹۶۳۰۴	۰.۹۵۰۵۰	۰.۹۷۲۱۶	۰.۹۷۶۳۶
۲۱.۷	۰.۹۶۴۸۱	۰.۹۵۲۷۴	۰.۹۷۳۳۸	۰.۹۷۷۴۷
۲۱.۸	۰.۹۶۶۵۶	۰.۹۵۴۹۶	۰.۹۷۴۵۹	۰.۹۷۸۵۸
۲۱.۹	۰.۹۶۸۲۹	۰.۹۵۷۱۷	۰.۹۷۵۸۰	۰.۹۷۹۶۷
۲۲.۰	۰.۹۷۰۰۰	۰.۹۵۹۳۶	۰.۹۷۷۰۰	۰.۹۸۰۷۵
۲۲.۱	۰.۹۷۱۶۹	۰.۹۶۱۵۴	۰.۹۷۸۲۰	۰.۹۸۱۸۲
۲۲.۲	۰.۹۷۳۳۶	۰.۹۶۳۷۰	۰.۹۷۹۳۹	۰.۹۸۲۸۸
۲۲.۳	۰.۹۷۵۰۱	۰.۹۶۵۸۴	۰.۹۸۰۵۸	۰.۹۸۳۹۲
۲۲.۴	۰.۹۷۶۶۴	۰.۹۶۷۹۷	۰.۹۸۱۷۶	۰.۹۸۴۹۶
۲۲.۵	۰.۹۷۸۲۵	۰.۹۷۰۰۹	۰.۹۸۲۹۴	۰.۹۸۵۹۸
۲۲.۶	۰.۹۷۹۸۴	۰.۹۷۲۱۹	۰.۹۸۴۱۱	۰.۹۸۷۰۰
۲۲.۷	۰.۹۸۱۴۱	۰.۹۷۴۲۸	۰.۹۸۵۲۸	۰.۹۸۸۰۰
۲۲.۸	۰.۹۸۲۹۶	۰.۹۷۶۳۵	۰.۹۸۶۴۴	۰.۹۸۸۹۹
۲۲.۹	۰.۹۸۴۴۹	۰.۹۷۸۴۰	۰.۹۸۷۶۰	۰.۹۸۹۹۷
۲۳.۰	۰.۹۸۶۰۰	۰.۹۸۰۴۴	۰.۹۸۸۷۵	۰.۹۹۰۹۴
۲۳.۱	۰.۹۸۷۴۹	۰.۹۸۲۴۶	۰.۹۸۹۹۰	۰.۹۹۱۸۹
۲۳.۲	۰.۹۸۸۹۶	۰.۹۸۴۴۷	۰.۹۹۱۰۴	۰.۹۹۲۸۴
۲۳.۳	۰.۹۹۰۴۱	۰.۹۸۶۴۷	۰.۹۹۲۱۸	۰.۹۹۳۷۷
۲۳.۴	۰.۹۹۱۸۴	۰.۹۸۸۴۵	۰.۹۹۳۳۱	۰.۹۹۴۷۰
۲۳.۵	۰.۹۹۳۲۵	۰.۹۹۰۴۱	۰.۹۹۴۴۴	۰.۹۹۵۶۱
۲۳.۶	۰.۹۹۴۶۴	۰.۹۹۲۳۶	۰.۹۹۵۵۶	۰.۹۹۶۵۱
۲۳.۷	۰.۹۹۶۰۱	۰.۹۹۴۲۹	۰.۹۹۶۶۸	۰.۹۹۷۴۰
۲۳.۸	۰.۹۹۷۳۶	۰.۹۹۶۲۱	۰.۹۹۷۷۹	۰.۹۹۸۲۸
۲۳.۹	۰.۹۹۸۶۹	۰.۹۹۸۱۱	۰.۹۹۸۹۰	۰.۹۹۹۱۴
۲۴.۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰



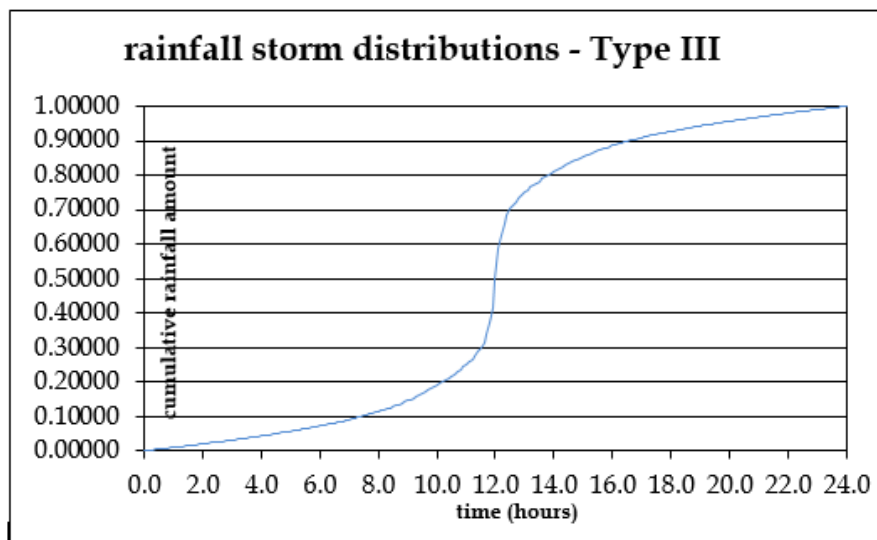
شکل ۸-۱- هایئوگراف Type I (SCS)



شکل ۸-۲- هایئوگراف Type Ia (SCS)



شکل ۸-۳- هایتوگراف Type II (SCS)



شکل ۸-۴- هایتوگراف Type III (SCS)

جدول ۸-۲- توزیع بارش ۱۲ ساعته SCS

Row	time(hours)	Value
۶-minute interval		
۱	۰.۱	۰.۰۰۲۱
۲	۰.۲	۰.۰۰۴۳
۳	۰.۳	۰.۰۰۶۵
۴	۰.۴	۰.۰۰۸۸
۵	۰.۵	۰.۰۱۰۹
۶	۰.۶	۰.۰۱۳۳
۷	۰.۷	۰.۰۱۵۶
۸	۰.۸	۰.۰۱۷۸
۹	۰.۹	۰.۰۲۰۲
۱۰	۱	۰.۰۲۲۶
۱۱	۱.۱	۰.۰۲۵
۱۲	۱.۲	۰.۰۲۷۳
۱۳	۱.۳	۰.۰۲۹۸
۱۴	۱.۴	۰.۰۳۲۳
۱۵	۱.۵	۰.۰۳۴۸
۱۶	۱.۶	۰.۰۳۷۳
۱۷	۱.۷	۰.۰۳۹۸
۱۸	۱.۸	۰.۰۴۲۳
۱۹	۱.۹	۰.۰۴۴۹
۲۰	۲	۰.۰۴۷۶
۲۱	۲.۱	۰.۰۵۰۲

جدول ۸-۲- توزیع بارش ۱۲ ساعته SCS

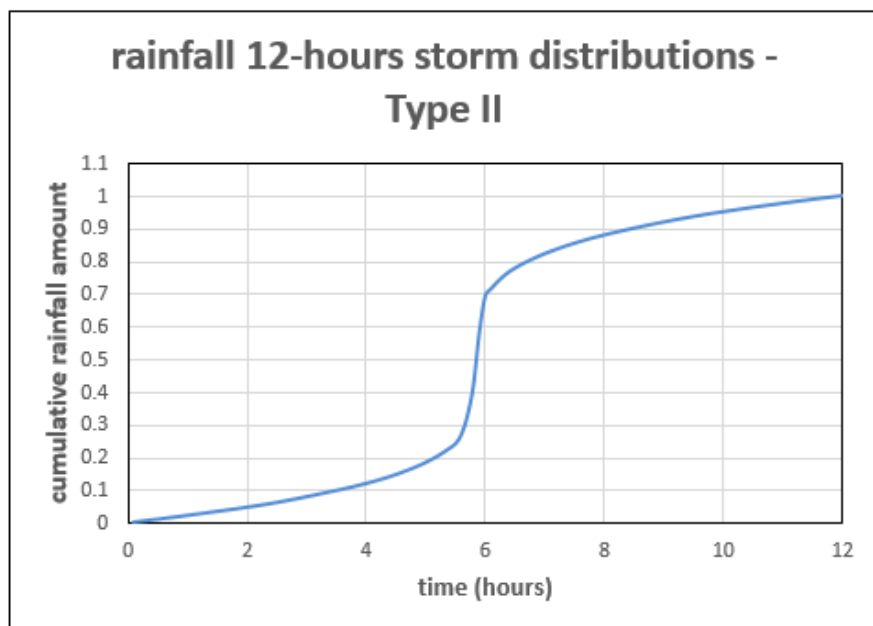
Row	time(hours)	Value
۶-minute interval		
۲۲	۲.۲	۰.۰۵۳
۲۳	۲.۳	۰.۰۵۵۹
۲۴	۲.۴	۰.۰۵۹
۲۵	۲.۵	۰.۰۶۲۱
۲۶	۲.۶	۰.۰۶۵۴
۲۷	۲.۷	۰.۰۶۸۸
۲۸	۲.۸	۰.۰۷۲۳
۲۹	۲.۹	۰.۰۷۵۹
۳۰	۳	۰.۰۷۹۷
۳۱	۳.۱	۰.۰۸۳۵
۳۲	۳.۲	۰.۰۸۷۳
۳۳	۳.۳	۰.۰۹۱۱
۳۴	۳.۴	۰.۰۹۴۹
۳۵	۳.۵	۰.۰۹۸۷
۳۶	۳.۶	۰.۱۰۲۶
۳۷	۳.۷	۰.۱۰۶۷
۳۸	۳.۸	۰.۱۱۰۹
۳۹	۳.۹	۰.۱۱۵۵
۴۰	۴	۰.۱۲۰۱
۴۱	۴.۱	۰.۱۲۵
۴۲	۴.۲	۰.۱۳۰۲
۴۳	۴.۳	۰.۱۳۵۷
۴۴	۴.۴	۰.۱۴۱۴
۴۵	۴.۵	۰.۱۴۷۴
۴۶	۴.۶	۰.۱۵۳۹
۴۷	۴.۷	۰.۱۶۰۸
۴۸	۴.۸	۰.۱۶۸۱
۴۹	۴.۹	۰.۱۷۶
۵۰	۵	۰.۱۸۴۳
۵۱	۵.۱	۰.۱۹۳۵
۵۲	۵.۲	۰.۲۰۳۷
۵۳	۵.۳	۰.۲۱۵۱
۵۴	۵.۴	۰.۲۲۷۷
۵۵	۵.۵	۰.۲۴۱۴
۵۶	۵.۶	۰.۲۶۹۷
۵۷	۵.۷	۰.۳۲۶۳
۵۸	۵.۸	۰.۴۱۷۱

جدول ۸-۲- توزیع بارش ۱۲ ساعته SCS

Row	time(hours)	Value
۶-minute interval		
۵۹	۵.۹	۰.۵۸۰۱
۶۰	۶	۰.۶۹۳۲
۶۱	۶.۱	۰.۷۱۵۸
۶۲	۶.۲	۰.۷۳۵۶
۶۳	۶.۳	۰.۷۵۲۷
۶۴	۶.۴	۰.۷۶۷۲
۶۵	۶.۵	۰.۷۷۸۸
۶۶	۶.۶	۰.۷۸۸۸
۶۷	۶.۷	۰.۷۹۸۳
۶۸	۶.۸	۰.۸۰۷۱
۶۹	۶.۹	۰.۸۱۵۲
۷۰	۷	۰.۸۲۲۸
۷۱	۷.۱	۰.۸۳
۷۲	۷.۲	۰.۸۳۶۶
۷۳	۷.۳	۰.۸۴۳
۷۴	۷.۴	۰.۸۴۹۲
۷۵	۷.۵	۰.۸۵۴۹
۷۶	۷.۶	۰.۸۶۰۴
۷۷	۷.۷	۰.۸۶۵۶
۷۸	۷.۸	۰.۸۷۰۶
۷۹	۷.۹	۰.۸۷۵۴
۸۰	۸	۰.۸۷۹۹
۸۱	۸.۱	۰.۸۸۴۳
۸۲	۸.۲	۰.۸۸۸۶
۸۳	۸.۳	۰.۸۹۲۷
۸۴	۸.۴	۰.۸۹۶۸
۸۵	۸.۵	۰.۹۰۰۸
۸۶	۸.۶	۰.۹۰۴۸
۸۷	۸.۷	۰.۹۰۸۷
۸۸	۸.۸	۰.۹۱۲۵
۸۹	۸.۹	۰.۹۱۶۲
۹۰	۹	۰.۹۱۹۷
۹۱	۹.۱	۰.۹۲۳۳
۹۲	۹.۲	۰.۹۲۶۸
۹۳	۹.۳	۰.۹۳۰۱
۹۴	۹.۴	۰.۹۳۳۳

جدول ۸-۲- توزیع بارش ۱۲ ساعته SCS

Row	time(hours)	Value
۶-minute interval		
۹۵	۹.۵	۰.۹۳۶۵
۹۶	۹.۶	۰.۹۳۹۶
۹۷	۹.۷	۰.۹۴۲۷
۹۸	۹.۸	۰.۹۴۵۷
۹۹	۹.۹	۰.۹۴۸۵
۱۰۰	۱۰	۰.۹۵۱۲
۱۰۱	۱۰.۱	۰.۹۵۴
۱۰۲	۱۰.۲	۰.۹۵۶۶
۱۰۳	۱۰.۳	۰.۹۵۹۳
۱۰۴	۱۰.۴	۰.۹۶۲
۱۰۵	۱۰.۵	۰.۹۶۴۶
۱۰۶	۱۰.۶	۰.۹۶۷۲
۱۰۷	۱۰.۷	۰.۹۶۹۷
۱۰۸	۱۰.۸	۰.۹۷۲۲
۱۰۹	۱۰.۹	۰.۹۷۴۷
۱۱۰	۱۱	۰.۹۷۷۲
۱۱۱	۱۱.۱	۰.۹۷۹۵
۱۱۲	۱۱.۲	۰.۹۸۱۹
۱۱۳	۱۱.۳	۰.۹۸۴۳
۱۱۴	۱۱.۴	۰.۹۸۶۶
۱۱۵	۱۱.۵	۰.۹۸۸۹
۱۱۶	۱۱.۶	۰.۹۹۱۲
۱۱۷	۱۱.۷	۰.۹۹۳۵
۱۱۸	۱۱.۸	۰.۹۹۵۶
۱۱۹	۱۱.۹	۰.۹۹۷۹
۱۲۰	۱۲	۱



شکل ۸-۵- هیدروگراف Type II (SCS) برای بارش ۱۲ ساعته

جدول ۸-۳- توزیع بارش ۶ ساعته SCS

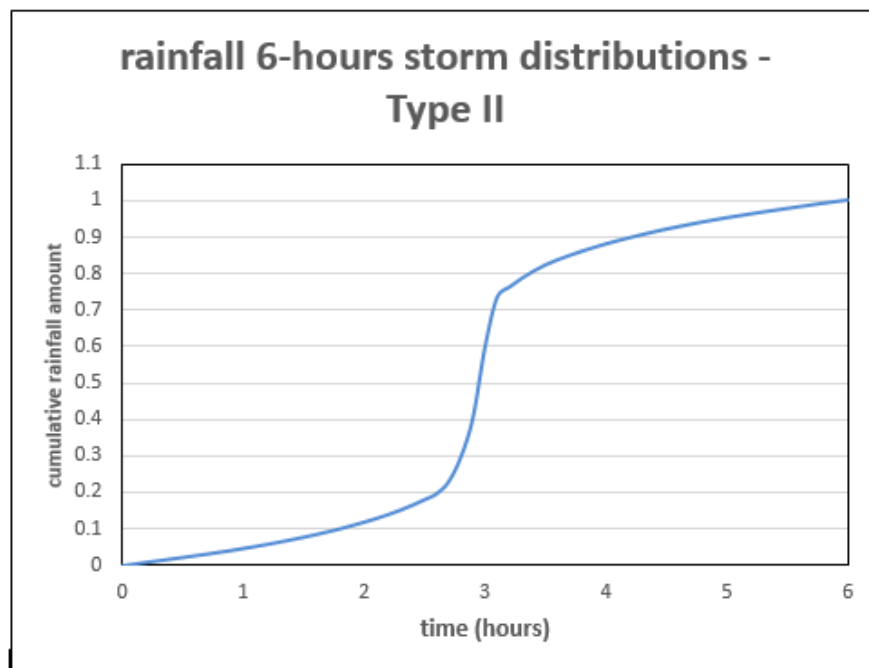
Row	time(hours)	Value
۶-minute interval		
۱	۰	۰
۲	۰.۱	۰.۰۰۴۵
۳	۰.۲	۰.۰۰۹۱
۴	۰.۳	۰.۰۱۳۶
۵	۰.۴	۰.۰۱۸۱
۶	۰.۵	۰.۰۲۲۶
۷	۰.۶	۰.۰۲۷۲
۸	۰.۷	۰.۰۳۱۸
۹	۰.۸	۰.۰۳۶۶
۱۰	۰.۹	۰.۰۴۱۷
۱۱	۱	۰.۰۴۷۱
۱۲	۱.۱	۰.۰۵۲۶
۱۳	۱.۲	۰.۰۵۸۴
۱۴	۱.۳	۰.۰۶۴۷
۱۵	۱.۴	۰.۰۷۱۲
۱۶	۱.۵	۰.۰۷۸
۱۷	۱.۶	۰.۰۸۵۲
۱۸	۱.۷	۰.۰۹۲۸

جدول ۸-۳- توزیع بارش ۶ ساعته SCS

Row	time(hours)	Value
۶-minute interval		
۱۹	۱.۸	۰.۱۰۱
۲۰	۱.۹	۰.۱۰۹۸
۲۱	۲	۰.۱۱۹۱
۲۲	۲.۱	۰.۱۲۹۱
۲۳	۲.۲	۰.۱۳۹۹
۲۴	۲.۳	۰.۱۵۲۱
۲۵	۲.۴	۰.۱۶۵۷
۲۶	۲.۵	۰.۱۸۰۷
۲۷	۲.۶	۰.۱۹۷
۲۸	۲.۷	۰.۲۳۰۶
۲۹	۲.۸	۰.۲۹۸
۳۰	۲.۹	۰.۴۰۶۱
۳۱	۳	۰.۶۰۰۱
۳۲	۳.۱	۰.۷۳۴۷
۳۳	۳.۲	۰.۷۶۱۶
۳۴	۳.۳	۰.۷۸۵۱
۳۵	۳.۴	۰.۸۰۵۴
۳۶	۳.۵	۰.۸۲۲۷
۳۷	۳.۶	۰.۸۳۶۶
۳۸	۳.۷	۰.۸۴۸۵
۳۹	۳.۸	۰.۸۵۹۸
۴۰	۳.۹	۰.۸۷۰۲
۴۱	۴	۰.۸۷۹۹
۴۲	۴.۱	۰.۸۸۸۹
۴۳	۴.۲	۰.۸۹۷۴
۴۴	۴.۳	۰.۹۰۵۳
۴۵	۴.۴	۰.۹۱۳
۴۶	۴.۵	۰.۹۲۰۳
۴۷	۴.۶	۰.۹۲۷۱
۴۸	۴.۷	۰.۹۳۳۶
۴۹	۴.۸	۰.۹۳۹۹
۵۰	۴.۹	۰.۹۴۵۸
۵۱	۵	۰.۹۵۱۵
۵۲	۵.۱	۰.۹۵۶۸
۵۳	۵.۲	۰.۹۶۲۱
۵۴	۵.۳	۰.۹۶۷۲
۵۵	۵.۴	۰.۹۷۲۱

جدول ۸-۳- توزیع بارش ۶ ساعته SCS

Row	time(hours)	Value
۶-minute interval		
۵۶	۵.۵	۰.۹۷۶۹
۵۷	۵.۶	۰.۹۸۱۷
۵۸	۵.۷	۰.۹۸۶۴
۵۹	۵.۸	۰.۹۹۱۱
۶۰	۵.۹	۰.۹۹۵۶
۶۱	۶	۱

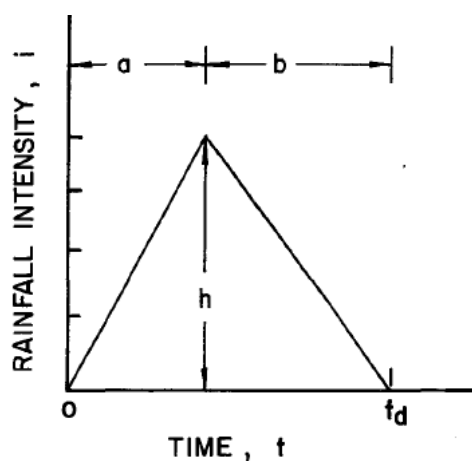


شکل ۸-۶- هیدروگراف Type II (SCS) برای بارش ۶ ساعته

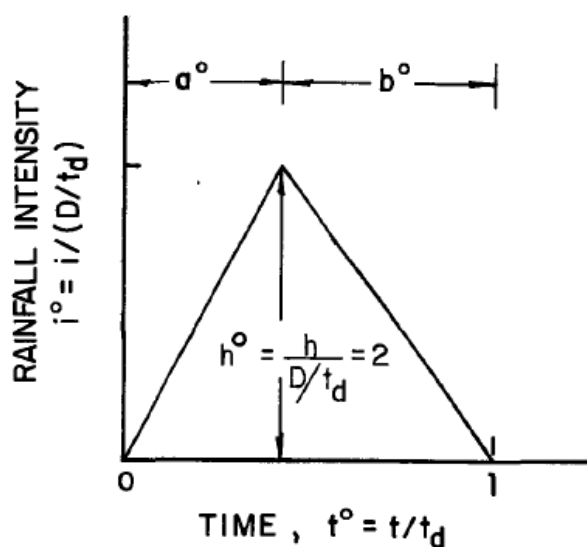
۸-۳- رگبار طراحی با استفاده از روش هایتوگراف مثلثی

در سال ۱۹۸۳ ین و چو روشی را به منظور تخمین هایتوگراف رگبارهای طراحی با استفاده از توزیع مثلثی گسترش دادند که قابل کاربرد برای حوضه های آبریز با مساحت کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع بود. روش مورد استفاده آن ها نشان داد که هایتوگراف بارش تقریباً به شکل مثلث می باشد. ین و چو برای نتیجه گرفته شده و تخمین پارامترهای مورد نیاز برای

تشکیل هایتوگراف بارش از ۲۹۳۹۴۶ رگبار از ۲۲۲ ایستگاه هواشناسی و ۱۳ ایستگاه هواشناسی کشاورزی استفاده کردند. از آنجایی که هیچ دو بارندگی ای شبیه هم نیستند میانگین مشخصات دریافت شده از رگبار های مختلف برای تشکیل هایتوگراف استفاده گردید. مشخصات مهم نمودار های ارائه شده شامل پیک شدت بارندگی (h)، زمان رسیدن به پیک (a) و بعد زمان (b) معادل با زمان t_d منهای زمانی که طول میکشد تا به بالاترین شدت برسد. اگر با استفاده از پارامتر های زمان رگبار t_d و مجموع عمق بارش مقادیر نرمالیزه شود آنگاه شکل هایتوگراف به صورت شکل ۸-۷ و شکل ۸-۸ خواهد بود:



شکل ۸-۷- هایتوگراف مثلثی



شکل ۸-۸- هایتوگراف مثلثی نرمالیزه شده

از آنجایی که زمان پیک جریان در نمودار نرمالیزه شده جز معلومات می باشد، پارامترهای باقیمانده که جز مجهولات می باشند می توانند با استفاده از روابط هندسی محاسبه شوند.

فصل نهم

هیدروگراف

۹- فصل نهم: هیدروگراف

۹-۱- مقدمه

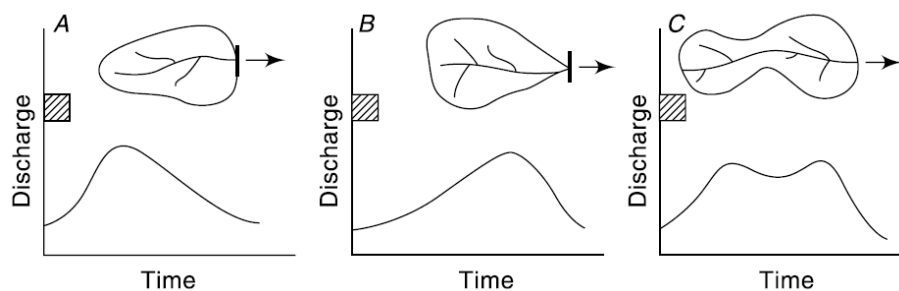
هیدروگراف نموداری است که تغییرات دبی رواناب را نسبت به زمان نشان می دهد. اگر روی یک حوضه آبریز بارانی با مدت بیش از زمان تمرکز حوضه آبریز ببارد دبی خروجی از حوضه به تدریج افزایش می یابد و در زمانی که برابر زمان تمرکز حوضه است به حداکثر خود می رسد. سپس تا زمانی که بارندگی ادامه دارد دبی ثابت باقی مانده ولی بلافاصله پس از قطع باران دبی نیز تقلیل می یابد. چنین منحنی ای که تغییرات دبی را در زمان های مختلف نشان می دهد هیدروگراف گویند.

۹-۲- فاکتور های تاثیر گذار بر هیدروگراف سیل

فاکتور های تاثیر گذار بر هیدروگراف سیل را میتوان در دو گروه تقسیم بندی کرد گروه اول فاکتور های اقلیمی مانند شدت بارندگی، مدت بارندگی، بزرگی مقدار، تلفات اولیه (وابسته به نفوذپذیری خاک منطقه) و تبخیر و گروه دوم فاکتور های وابسته به فیزیوگرافی حوضه آبریز مانند اندازه، شکل، شیب، چگالی حوضه آبریز، کاربری زمین و پوشش، نوع خاک، چالابه و دیگر منابع ذخیره آب، مشخصات کانال، ضریب زبری، سطح مقطع عبوری و ظرفیت انتقال آن.

۹-۲-۱- شکل حوضه آبریز

شکل حوضه آبریز بر روی زمان تمرکز حوضه آبریز تاثیر گذار بوده و لذا بر روی شکل هیدروگراف موثر خواهد بود. حوضه های آبریز به شکل نیمدایره بر روی پلان، دبی پیک بالا و حوضه های آبریز پهن دبی پیک پایینی دارند. شکل ۹-۱ به طور گرافیکی هیدروگرافی از سه حوضه آبریز را نشان می دهد که خصوصیات نفوذپذیری و بارندگی یکسانی داشته اند. در حوضه آبریز A هیدروگراف به سمت چپ متمایل شده است و دبی پیک به نسبت سریع رخ می دهد. در حوضه آبریز B هیدروگراف به سمت راست متمایل بوده و دبی پیک با تاخیر طولانی تر اتفاق می افتد. حوضه آبریز C یک هیدروگراف پیچیده را نشان می دهد که بوسیله یک شکل مرکب ایجاد شده است.



شکل ۹-۱- هیدروگراف برای انواع مختلفی از شکل حوضه

۹-۲-۲- اندازه حوضه آبریز

حوضه های آبریز کوچک به نسبت حوضه های آبریز بزرگ در پاسخ به بارش و رواناب متفاوت عمل می کنند. در حوضه های آبریز کوچک جریان بر روی سطوح بیشتر حاکم بوده و کاربری اراضی و شدت بارش اهمیت زیادی در دبی پیک جریان دارد. در حوضه های آبریز بزرگ این اثرات از بین رفته و فاز جریان کانالی حاکم می باشد. دبی پیک سیلاب در حوضه های آبریز بزرگ با A^n نسبت مستقیم داشته که A سطح حوضه آبریز و n توان که مقدار آن کمتر از ۱ است و از ۰.۵ شروع می شود. زمان پایه هیدروگراف در حوضه های آبریز بزرگ، بزرگتر از زمان پایه هیدروگراف حوضه های آبریز کوچک می باشد و اختلاف زمانی میان زمانی که رواناب جاری می شود و زمان اتفاق افتادن دبی پیک متناسب با A^m می باشد که m کمتر از ۱ می باشد.

۹-۲-۳- شیب

شیب کانال اصلی کنترل کننده سرعت جریان بوده و شاخه نزولی هیدروگراف نشان دهنده تخلیه ذخیره آب می باشد. شیب کانال تاثیر زیادی بر این قسمت نزولی از هیدروگراف دارد و شیب بیشتر حوضه آبریز، تخلیه سریعتر سیلاب را در پی خواهد داشت و باعث می گردد تا زمان پایه هیدروگراف کوچکتر گردد. در حوضه های آبریز کوچک که جریان رو زمینی از اهمیت به نسبت بیشتری برخوردار می باشد شیب تندتر حوضه آبریز دبی پیک را افزایش می دهد.

۹-۲-۴- چگالی حوضه آبریز

چگالی حوضه آبریز به صورت نسبت طول کانال های حوضه آبریز به سطح حوضه آبریز می باشد. هر چه چگالی بیشتر باشد انتقال رواناب به پایین دست سریعتر انجام می شود. در حوضه های آبریز با چگالی پایین جریان روزمینی حاکم بوده و هیدروگراف پختر بوده و شاخه صعودی شیب ملایمی خواهد داشت.

۹-۲-۵- فاکتور های اقلیمی

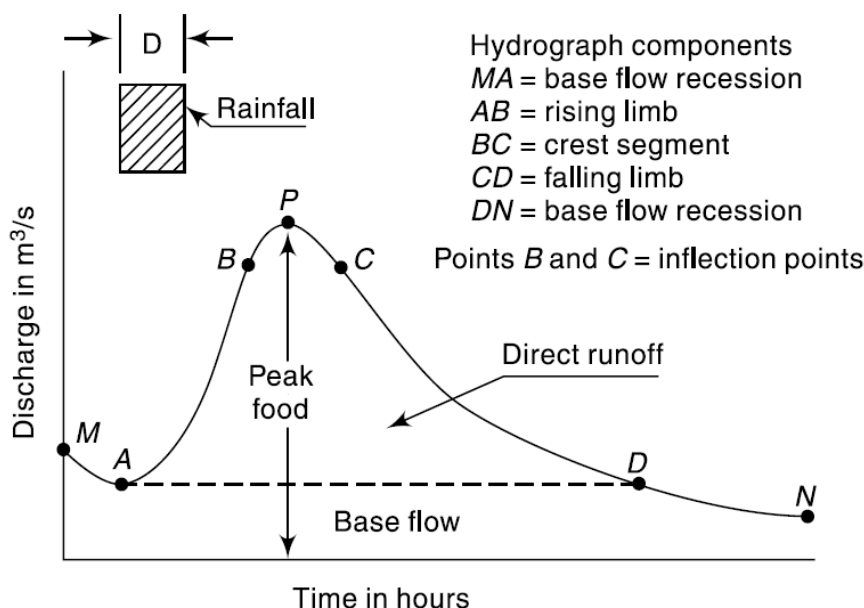
در میان تمام فاکتور های اقلیمی شدت، مدت و جهت حرکت بارندگی سه پارامتر تاثیرگذار روی شکل هیدروگراف هستند. در حالت ایده آل اگر یک بارندگی با شدت i رخ دهد و به اندازه کافی طول بکشد، دبی ای متناسب با iA دریافت خواهید کرد. اگر بارندگی از بالادست حوضه آبریز به سمت پایین دست اتفاق بیفتد (شروع موج بارندگی از بالادست باشد) تمرکز سریعتری در نقطه خروجی رخ می دهد. اگر حرکت به سمت بالادست حوضه آبریز باشد (شروع بارندگی از پایین دست باشد) هیدروگراف پیک کمتر و زمان پایه طولانی تری را خواهد داشت. حوضه های آبریز بلند و باریک حساسیت بیشتری به این نوع از حرکت موج بارندگی دارد.

۹-۳- ویژگی های هیدروگراف

در این قسمت بخش های مختلف یک هیدروگراف تشریح می گردد.

۹-۳-۱- بازوی بالارونده

بارانی که با شدت معین روی حوضه باریده است پس از آنکه به اندازه ای مشخص (وابسته به نمایه نفوذ خاک) در خاک نفوذ کرد مازاد آن در سطح حوضه جاری می شود. شاخه AB از هیدروگراف نشان می دهد که چگونه دبی خروجی از حوضه پس از بارندگی افزایش می یابد شکل ۹-۲ این قسمت از هیدروگراف بیشتر تحت تاثیر خصوصیات بارندگی و حوضه آبریز می باشد و کمی حالت محدب دارد.



شکل ۹-۲- نمایش قسمت های مختلف یک هیدروگراف

۹-۳-۲- تاج (پیک) (Peak)

حداکثر دبی هیدروگراف معمولاً یک نقطه نیست بلکه بخشی از منحنی هیدروگراف است اما هیدرولوژیست ها آن را یک نقطه فرض می کنند (P) که در حالت جریان ماندگار از این پارامتر به منظور مدلسازی و طراحی استفاده می شود.

۹-۳-۳- بازوی پایین رونده

این بخش، نشان دهنده چگونگی تخلیه آب ذخیره شده در حوضه در طی بارندگی می باشد (CD). در واقع تا نقطه C آب در حوضه ذخیره شده و از آن نقطه به بعد آب تخلیه می گردد. نقطه C را نقطه عطف هیدروگراف می گویند. پس از آنکه هیدروگراف به نقطه اوج رسید با قطع بارندگی ابتدا دبی سیلاب با شدت زیادی کاهش می یابد اما پس از مدتی در بازو پایین رونده و در نقطه عطف تغییر شیب ایجاد می شود. فروکش کردن سیل از این نقطه به بعد مستقل از خصوصیات بارش بوده و فقط به وضعیت زهکشی حوضه آبریز بستگی دارد. این بخش از هیدروگراف را منحنی فروکش می گویند. معادله منحنی فروکش هیدروگراف با (رابطه ۹ - ۱) بیان می شود:

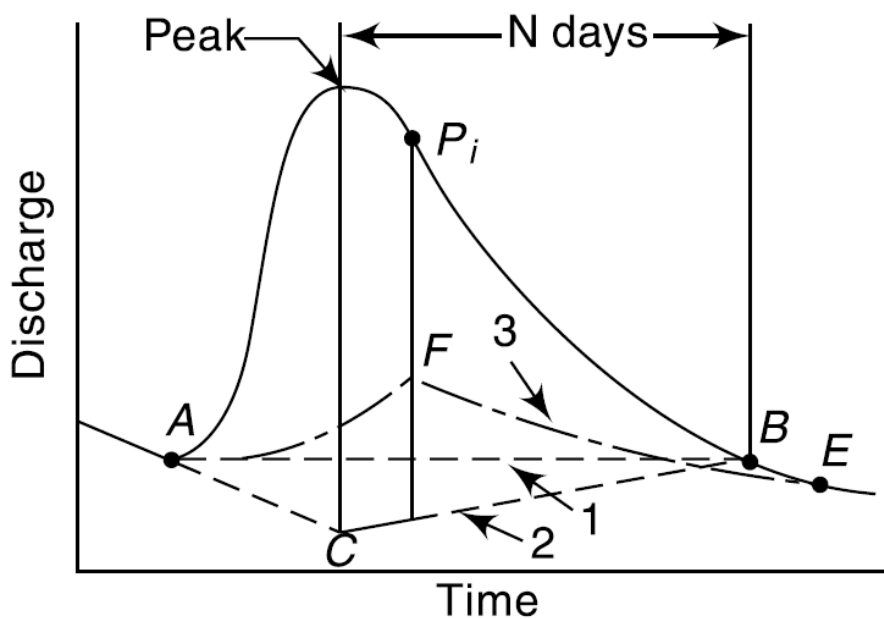
$$Q = Q.K^t \quad (\text{رابطه ۹-۱})$$

که در آن K نمایه وضعیت زهکشی حوضه، Q دبی در زمان شروع فروکش سیل (نقطه عطف هیدروگراف) و t زمان از شروع فروکش سیل می باشد. با توجه به ثابت بودن مقدار K رابطه فوق را میتوان به صورت (رابطه ۹-۲) نوشت:

$$Q = Q.e^{-at} \quad (\text{رابطه ۹-۲})$$

۹-۴- روش های جداسازی دبی پایه

روش اول: در این روش مطابق با شکل ۹-۳، ابتدای شروع رواناب در شاخه صعودی به نقطه ای که نشان دهنده انتهای وقوع سیل بر اثر رواناب می باشد متصل می گردد.



شکل ۹-۳- روش های جداسازی دبی پایه

در شکل ۹-۳ نقطه A ابتدای شروع رواناب می باشد و معمولاً تشخیص آن ساده می باشد. نقطه B انتهای رواناب مستقیم می باشد و نسبتاً تعیین دقیق آن دشوار است. به منظور کمک در جهت پیدا کردن مکان نقطه B میتوان از (رابطه ۹-۳) استفاده نمود:

$$N = 0.83A^{0.2} \quad (\text{رابطه ۹ - ۳})$$

که در این رابطه A مساحت حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع و N بر حسب روز می باشد. در این روش نقطه A به B برای جداسازی رواناب مستقیم و جریان پایه به یکدیگر متصل می شوند. این روش ساده ترین روش برای جداسازی جریان پایه می باشد.

روش دوم: در این روش جریان پایه قبل از شروع سیلاب که ثبت شده است امتداد پیدا کرده (خط AC) به طوری که امتداد آن خط عمود بر پیک جریان را در نقطه ای مانند C قطع نماید و نقطه B را به نقطه C وصل می نماییم. قسمت های AC و BC جریان پایه را از هیدروگراف جدا می سازد.

روش سوم: در این روش در منحنی فروکش جریان پایه بعد از تخلیه سیلاب به سمت شاخه صعودی امتداد داده می شود (EF) نقطه A و F نیز به یکدیگر وصل می شوند. این روش بیشتر در مکان هایی مورد استفاده قرار می گیرد که جریان آب زیر زمینی کاملاً مشخص باشد. همانطور که ملاحظه می گردد تمامی روش ها همراه با تخمین و تقریب بوده و تجربه نقش اساسی را در تشخیص دبی پایه ایفا می کند.

۹-۵- هیدروگراف واحد

ارائه مدل و آنالیز دقیق و ارائه رابطه محاسباتی برای هر بارندگی و دریافت پاسخ حوضه آبریز به صورت مجزا در حال حاضر وجود نداشته و یا در صورت وجود نیاز به استفاده از داده های زیاد و ابر کامپیوترها می باشد. بدین منظور طراحان هیدرولوژی و هیدرولیکی سازه های کنترل و هدایت سیلاب می توانند از مفهومی به نام هیدروگراف واحد استفاده کرده و پاسخ هر حوضه آبریز را در قبال هر بارندگی دریافت نمایند. این روش نیاز به استفاده از داده های زیاد نداشته و معمولاً از دقت کافی برای طراحی برخوردارند. هیدروگراف واحد (UH) به صورت هیدروگراف رواناب مستقیم ناشی از یک رخداد رگبار با توزیع زمانی و مکانی یکنواخت تعریف می شود و حجم رواناب مستقیم نمایش داده شده توسط سطح زیر هیدروگراف واحد برابر است با یک واحد از رواناب مستقیم حاصل از کل سطح حوضه آبریز؛ در سیستم انگلیسی CU، عمق واحد برابر ۱ اینچ بوده در حالی که در SI این عمق برابر با ۱ میلی متر است. بنابراین هنگامی که یک هیدروگراف واحد با واحد مترمکعب در ثانیه (m^3/s) نمایش داده می شود، دلالت بر این دارد که محور عمودی، رواناب مستقیم به

$m^3/s/mm$ است. برای مدت زمان بارندگی‌های متفاوت هیدروگراف واحد متفاوتی وجود دارد. در هر سطحی از احتمال، هیدروگراف واحد برای یک رگبار ۱-ساعته کاملاً متفاوت از هیدروگراف واحد برای یک رگبار ۶-ساعته خواهد بود.

۹-۵-۱- تلفات

با یک مثال این موضوع توضیح داده می شود. فرض کنید که بارندگی ای با مشخصات زیر در یک منطقه رخ داده است:

جدول ۹-۱- مشخصات بارندگی (مثال)

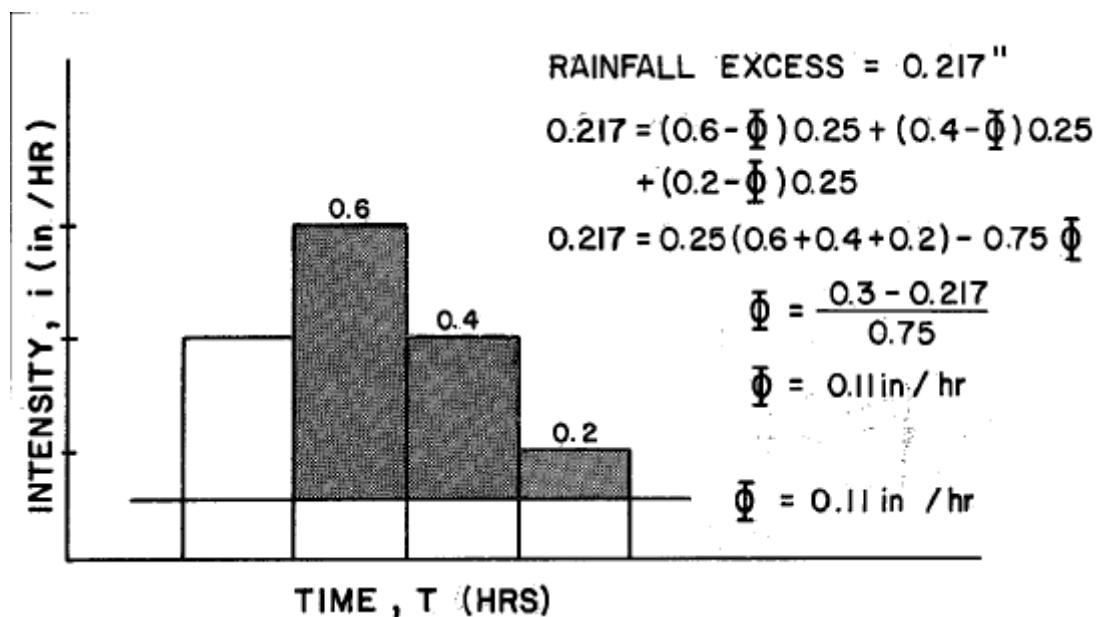
عمق بارندگی	شدت بارندگی	زمان
$0.4 \times 0.25 \text{ hr} = 0.1 \text{ in}$	۰.۴	۱:۳۰
$0.6 \times 0.25 \text{ hr} = 0.15 \text{ in}$	۰.۶	۱:۴۵
$0.4 \times 0.25 \text{ hr} = 0.1 \text{ in}$	۰.۴	۲:۰۰
$0.2 \times 0.25 \text{ hr} = 0.05 \text{ in}$	۰.۲	۲:۱۵
۰.۴ in		مجموع

کل عمق بارش در این رخداد برابر با ۰.۴ اینچ می باشد که از عمق رواناب مستقیم یعنی ۰.۲۱۷ اینچ بیشتر می باشد. با توجه به این موضوع میزان بارندگی در ۱۵ دقیقه اول جز تلفات محسوب می گردد. بنابراین کل بارندگی باقی مانده برابر با ۰.۳ اینچ (۰.۴-۰.۱) است. باز هم این مقدار از میزان رواناب مستقیم بیشتر است بنابراین تلفات بیشتری باید در محاسبات لحاظ گردد. لذا نیاز به تعریف شاخصی ثابت تلفات ($\emptyset$) می باشد. به منظور محاسبه این شاخص به ترتیب زیر عمل می گردد:

$$0.217 = (0.6 - \emptyset) \times 0.25 + (0.4 - \emptyset) \times 0.25 + (0.2 - \emptyset) \times 0.25$$

که بعد از حل معادله فوق شاخص $\emptyset$ برابر با ۰.۱۱ اینچ بر ساعت بدست می آید که قسمت هاشور خورده در شکل ۹-۴

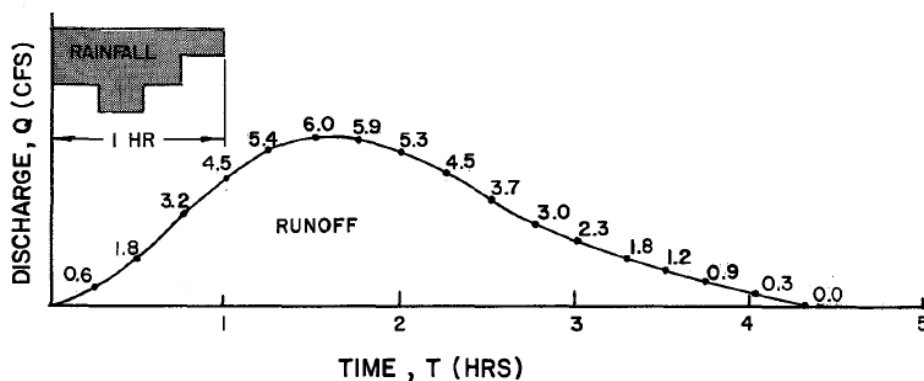
همان میزان رواناب مستقیم می باشد:



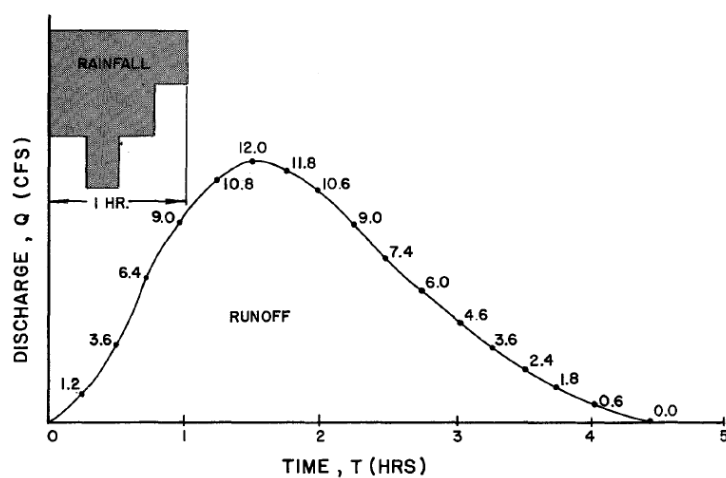
شکل ۹-۴- نمایش تلفات بارش (قسمت هاشور خورده)

۹-۵-۲- استخراج هیدروگراف واحد

بعد از محاسبه گیرش اولیه و سایر تلفات، می توان آن را هیتوگراف باران کل کم کرد تا هیتوگراف باران مازاد حاصل شود. حجم باران مازاد با حجم رواناب مستقیم برابر خواهد بود. مدت زمان رخداد باران مازاد از اهمیت ویژه ای برخوردار است؛ زیرا مدت زمان هیدروگراف واحد مربوطه را تعریف می کند. به عنوان مثال، اگر یک رگبار ۵ ساعته سبب ایجاد یک هیتوگراف باران مازاد ۳ ساعته شود، هیدروگراف واحد محاسبه شده به وسیله هیدروگراف رواناب مستقیم مربوطه به عنوان یک هیدروگراف واحد ۳ ساعته شناخته می شود. یک هیدروگراف رسم دبی به دلیل روان آب سطحی ناشی از بارندگی در مقابل زمان می باشد. اگر بارندگی مازاد یک ساعته در حوضه آبریز رخ دهد آنگاه می توانیم هیدروگراف یک ساعته حوضه آبریز را استخراج نماییم. فرض کنید یک بارندگی دیگر در یک حوضه آبریز با همان مشخصات ولی با شدت دو برابر رخ دهد. تکنیک هیدروگراف واحد فرض می کند که زمان پایه ثابت و مقادیر متناسب با مقدار بارندگی ها تغییر می کند. در این مورد خاص مقادیر بارندگی در باران دوم دو برابر بیشتر از بارندگی اول می باشد (شکل ۹-۵ و شکل ۹-۶).

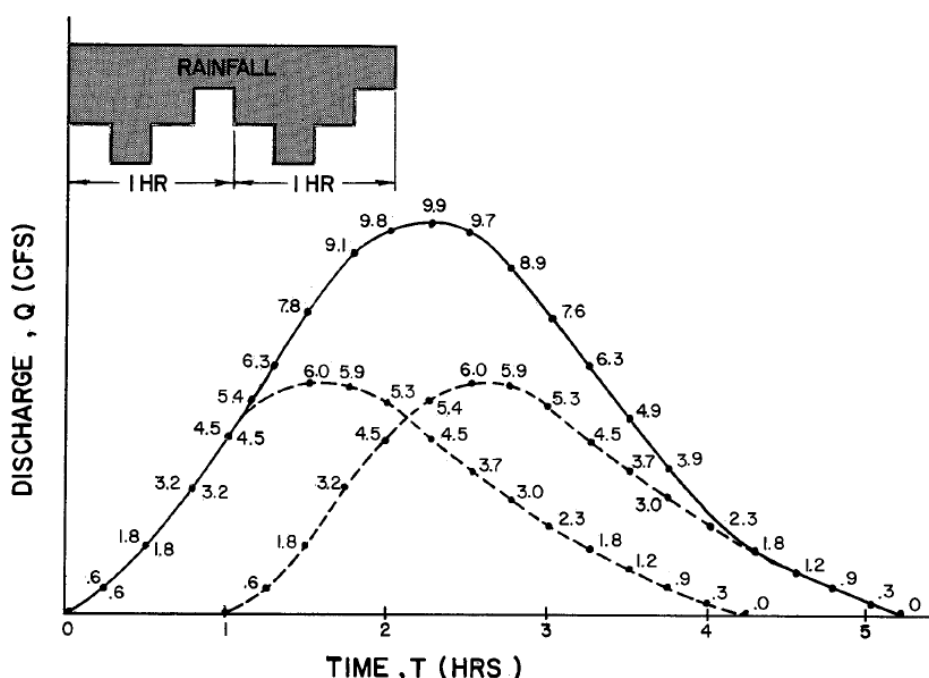


شکل ۹-۵- هیدروگراف رواناب یک ساعته



شکل ۹-۶- هیدروگراف رواناب یک ساعته با شدت دو برابر

حال فرض کنید بعد از یک رگبار یک ساعته رگبار دیگری با همان شدت و مشخصات رخ دهد. در این روش فرض بر این است که هیدروگراف واحد رگبار دوم مستقل از رگبار اول است. هیدروگراف این بارندگی دقیقاً مشابه هیدروگراف اول ولی با یک ساعت تاخیر می باشد. هیدروگراف حاصله مطابق با شکل ۹-۷ می باشد:



شکل ۹-۷- هیدروگراف رواناب یک ساعته برای رگبار پی در پی

هیدروگراف واحد بعنوان هیدروگراف مستقیم حاصل از یک رخداد بارندگی با یک توزیع خاص و برای یک واحد زمانی مشخص ایجاد می گردد. سطح زیر نمودار هیدروگراف واحد برابر با حجم رواناب برای یک سانتی متر یا یک اینچ بارندگی می باشد. این نکته یادآور می شود که مشخصات هیدروگراف واحد وابسته به مدت زمان بارندگی می باشد. اگر توزیع بارش برای دو بارندگی در یک حوضه آبریز متفاوت باشد هیدروگراف آن ها نیز متفاوت خواهد بود حتی اگر مقدار بارندگی برای آن ها یکسان باشد. هیدروگراف واحد یا از داده های ایستگاه باران سنجی و یا از روش های تجربی برای استخراج هیدروگراف واحد استفاده می گردد. داده های مورد نیاز برای استخراج هیدروگراف واحد شامل بارندگی و داده های ثبت شده دبی سیلاب آبراهه برای رگبار های مشابه یا نزدیک دوره بازگشت طرح می باشند. به طور ایده آل بارندگی بایستی در یکنواخت بوده و تمام حوضه آبریز در سیلاب ایجاد شده دخیل باشند و بارندگی به اندازه کافی قابل توجه باشد. مولفه های هیدروگراف واحد از تقسیم مولفه های رواناب مستقیم بر ارتفاع رواناب مستقیم (حجم کل رواناب تقسیم بر سطح حوضه آبریز) بدست می آید. به منظور کنترل کافی است حجم رواناب حاصل از هیدروگراف واحد را بر سطح حوضه آبریز تقسیم کنیم که بایستی مقدار آن برابر با واحد گردد.

هیدروگراف واحد یک روش ساده برای گسترش هیدروگراف برای دیگر رگبار ها با فرض یکسان بودن زمان و الگوی توزیع یکسان ارائه می کند. با یک مثال روند تشکیل هیدروگراف واحد تشریح می گردد. مقادیر جدول ۹-۲ را در نظر بگیرید:

جدول ۹-۲- محاسبات رواناب مستقیم و هیدروگراف واحد

زمان	دبی جریان مستقیم (CFS)	دبی متوسط رواناب مستقیم CFS	حجم رواناب مستقیم در هر بازه (فوت مکعب)	دبی متوسط هیدروگراف واحد	حجم رواناب هیدروگراف واحد
۱:۴۵pm	۰	۳	۲۷۰۰	۱۳.۸	۱۲۴۲۰
۲:۰۰pm	۶	۱۲	۱۰۸۰۰	۵۵.۳	۴۹۷۷۰
۲:۱۵pm	۱۸	۲۵	۲۲۵۰۰	۱۱۵.۲	۱۰۳۶۸۰
۲:۳۰pm	۳۲	۳۸	۳۴۲۰۰	۱۷۵.۲	۱۵۷۵۹۰
۲:۴۵pm	۴۴	۴۹	۴۴۱۰۰	۱۷۵.۱	۲۰۳۲۲۰
۳:۰۰pm	۵۴	۵۷	۵۱۳۰۰	۲۲۵.۸	۲۳۶۴۳۰
۳:۱۵pm	۶۰	۵۹	۵۳۵۰۰	۲۶۲.۷	۲۴۶۷۸۰
۳:۳۰pm	۵۹	۵۶	۵۰۴۰۰	۲۷۴.۲	۲۳۲۲۹۰
۳:۴۵pm	۵۳	۴۹	۴۴۱۰۰	۲۵۸.۱	۲۰۳۲۲۰
۴:۰۰pm	۴۵	۴۱	۳۶۹۰۰	۲۲۵.۸	۱۷۰۰۱۰
۴:۱۵pm	۳۷	۳۳.۵	۳۰۱۵۰	۱۸۸.۹	۱۳۸۹۶۰
۴:۳۰pm	۳۰	۲۶.۵	۲۳۸۵۰	۱۵۴.۴	۱۰۹۸۹۰
۴:۴۵pm	۲۳	۲۰.۵	۱۸۴۵۰	۱۲۲.۱	۸۵۰۵۰
۵:۰۰pm	۱۸	۱۵	۱۳۵۰۰	۹۴.۵	۶۲۱۹۰
۵:۱۵pm	۱۲	۱۰.۵	۹۴۵۰	۶۹.۱	۴۳۵۶۰
۵:۳۰pm	۹	۶	۵۴۰۰	۴۸.۴	۲۴۸۴۰
۵:۴۵pm	۳	۱.۵	۱۳۵۰	۲۷.۶	۶۲۱۰
۶:۰۰pm	۰			۶.۹	

پارامتر های هیدروگراف جریان مستقیم (پس از کسر دبی پایه) در دو ستون اول جدول ۹-۲ آورده شده است (سطح حوضه آبریز برابر با ۰.۹ مایل مربع یا ۲.۳ کیلومتر مربع یا ۵۷۶ ایکر). به منظور بدست آوردن ابعاد هیدروگراف واحد لازم

است ابتدا حجم رواناب کل تولید شده در حوضه آبریز را بدست آورده و سپس بر سطح حوضه آبریز تقسیم کرده و آنگاه مولفه های هیدروگراف جریان مستقیم را بر عدد بدست آمده تقسیم کنیم. اعداد بدست آمده در این مرحله همان ابعاد هیدروگراف واحد می باشد. در این مثال خاص حجم کل رواناب برابر با ۴۵۲۷۰۰ فوت مکعب می باشد که اگر بر مساحت حوضه آبریز تقسیم شود ($0.217 in = \frac{452700}{43560 \times 526} \times 12$) اعداد ستون ۵ جدول فوق بدست می آید. برای صحت سنجی کار انجام شده فقط لازم است که احجام رواناب هیدروگراف واحد (ستون ۶) با هم جمع شده و بر مساحت حوضه آبریز تقسیم گردد اگر حاصل تقریباً عدد یک بدست آید آنگاه هیدروگراف واحد بدرستی تهیه شده است. اگر هیدروگراف حاصله از یک باران t ساعته حوضه ای موجود باشد، این امکان وجود دارد که از روی آن بتوان برای آن حوضه هیدروگراف واحد t ساعته یا nt ساعته بسازیم (n می تواند هر عدد صحیحی باشد) بعنوان مثال جدول ۹-۳ را در نظر بگیرید فرض کنید که ارتفاع رواناب موثر برابر با ۱۴ میلیمتر می باشد:

جدول ۹-۳- محاسبات هیدروگراف واحد

عرض هیدروگراف واحد دو ساعته: ۲	جمع ستون های ۵ و ۶	هیدروگراف واحد با یک ساعت تاخیر	عرض هیدروگراف واحد: ۱.۴	رواناب مستقیم	دبی پایه	رواناب کل متر مکعب بر ثانیه	زمان ساعت
۰	۰	۰	۰	۰	۱۱۰	۱۱۰	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۱۲۲	۱۲۲	۲
۳۹.۲۸۵	۷۸.۵۷	۰	۷۸.۵۷	۱۱۰	۱۲۰	۲۳۰	۳
۲۰۳.۵۷	۴۰۷.۱۴۲	۷۸.۵۷	۳۲۸.۵۷	۴۶۰	۱۱۸	۵۷۸	۴
۳۵۳.۵۷	۷۰۷.۱۴۲	۷۳۲۸.۵	۳۷۸.۵۷	۵۳۰	۱۱۵	۶۴۵	۵
۳۰۳.۵۷	۶۰۷.۱۴۲	۳۷۸.۵۷	۲۲۸.۵۷	۳۲۰	۱۱۴	۴۳۴	۶
۱۷۸.۵۷	۳۵۷.۱۴۲	۲۲۸.۵۷	۱۲۸.۵۷	۱۸۰	۱۱۳	۲۹۳	۷
۹۶.۴۲	۱۹۲.۸۵	۱۲۸.۵۷	۶۴.۲۸	۹۰	۱۱۲	۲۰۲	۸
۵۰	۱۰۰	۶۴.۲۸۵	۳۵.۷۱	۵۰	۱۱۰	۱۶۰	۹
۲۲.۱۴۲	۴۴.۲۸	۳۵.۷۱	۸.۵۷	۱۲	۱۰۵	۱۱۷	۱۰
۴.۲۸	۸.۵۷	۸.۵۷۱	۰	۰	۹۰	۹۰	۱۱
۰	۰	۰	۰	۰	۸۰	۸۰	۱۲
۰	۰	۰	۰	۰			

- ✓ ابتدا مولفه های رواناب مستقیم (ستون دوم) را با کسر دبی پایه (ستون سوم) از دبی کل بدست می آوریم (ستون چهارم).
- ✓ عرض هیدروگراف واحد از تقسیم مقادیر بدست آمده از ستون چهارم بر میزان رواناب موثر (۱.۴ سانتی متر) بدست می آید. (ستون ۵)
- ✓ مقادیر بدست آمده از هیدروگراف واحد یک ساعته را به منظور بدست آوردن مقادیر هیدروگراف واحد دو ساعته، به اندازه یک ساعت تاخیر می دهیم در واقع فرض می شود که بارندگی ای مشابه بارندگی اول ولی با یک ساعت تاخیر رخ داده است.
- ✓ ستون ۵ و ۶ را با هم جمع میکنیم.
- ✓ این دو هیدروگراف مجموعاً ۲۰ میلیمتر رواناب دارند که یک واحد آن مربوط به هیدروگراف بارندگی اول و یک واحد دیگر مربوط به بارندگی دوم می باشد. بنابراین اگر مقادیر این ستون را بر عدد ۲ تقسیم کنیم مقادیر هیدروگراف واحد دو ساعته بدست می آید.
- برای تبدیل یک هیدروگراف واحد بلند مدت به کوتاه مدت از روش منحنی S استفاده می شود (این روش برای تولید هیدروگراف بلند مدت از کوتاه مدت نیز کاربرد دارد). در این مورد ابتدا لازم است هیدروگراف مجموع یا S ساخته و سپس آن را به مدت مورد نظر تبدیل کرد. اگر هیدروگراف واحد t ساعته ای را داشته باشیم و فرض شود که پس از پایان t ساعت باران مشابهی دیگری به همان مدت t ببارد و باز پس از تمام شدن آن باران مشابه دیگری آغاز شود هیدروگراف های واحد این باران ها نیز با تاخیر بطور مشابه تکرار خواهند شد که اگر با هم دیگر جمع شوند سرانجام دبی ثابت خواهد شد. مراحل انجام کار مطابق با جدول ۹-۴ خواهد بود.

[illegible]

هیدروگراف‌های واحدی که از تحلیل رگبارهای مختلف در یک حوضه آبرگیر به دست می‌آید، شکل‌های کاملاً متفاوتی خواهند داشت، حتی اگر مدت زمان باران مازاد آن‌ها مشابه باشد. این اختلافات در شکل ۹-۷ نمایش داده شده است و می‌تواند ناشی از تفاوت در الگوی رگبار، حجم رگبار و نحوه حرکت رگبار روی سطح حوضه آبرگیر و همچنین شرایط پیشین حوضه آبرگیر باشد.

مراحل زیر برای میانگین دو یا چند هیدروگراف واحد حاصل از رگبارهای مختلف در یک حوضه آبرگیر به کار می‌روند:

- ۱- متوسط‌گیری از شدت جریان‌های اوج هیدروگراف‌های واحد
 - ۲- متوسط‌گیری از زمان‌های رسیدن به شدت جریان‌های حداکثر
 - ۳- ترسیم هر یک از هیدروگراف‌های واحد در یک نمودار واحد
 - ۴- جانمایی نقطه تعریف شده با متوسط شدت جریان حداکثر و متوسط زمان رسیدن به شدت جریان حداکثر در نمودار به دست آمده از گام‌های ۱ و ۲
 - ۵- ترسیم هیدروگراف واحدی که میانگینی از شکل‌های هیدروگراف‌های واحد رخدادهای رگبار را با عبور از نقطه تعریف شده در گام ۴ ارائه می‌کند.
 - ۶- قرائت مقادیر هیدروگراف واحد متوسط ترسیم شده در گام ۵ و محاسبه حجم آن
 - ۷- اصلاح مقادیر هیدروگراف واحد ترسیم شده به طوری که دارای حجم رواناب مستقیم برابر با ۱ mm باشد؛ این اصلاحات معمولاً در شاخه پایین‌رونده هیدروگراف واحد انجام می‌گیرد.
- در روش متوسط‌گیری فرض می‌شود که همه هیدروگراف‌های واحد حاصل از رگبارهای مختلف دارای تداوم یکسان هستند. در غیر این صورت، باید با استفاده از روش هیدروگراف S (بخش ۶-۳-۱) قبل از اجرای متوسط‌گیری، اصلاح شوند.

باید تأکید شود که محاسبه متوسط مقادیر هیدروگراف‌های مختلف در هر زمان نادرست است. اگر به این صورت عمل شود، هیدروگراف متوسط‌گیری شده حوضه آبرگیر دارای شدت جریان حداکثر کم بوده و شکل آن نماینده هیدروگراف واحد درست نخواهد بود.

مثال: در شکل ۶-۹ هیدروگراف های واحد مختلفی برای پنج رخداد رگبار در وایت اوک بایو^۴ نشان داده است؛ داده ها از نمودارهای تهیه شده توسط هر^۵ (۱۹۷۰) اقتباس شده اند. تاریخ رخداد رگبارها به شرح زیر است:

✓ ۳۱ ژانویه - ۶ فوریه ۱۹۵۲

✓ ۲۸ آگوست - ۳ سپتامبر ۱۹۵۳

✓ ۳ فوریه - ۱۰ فوریه ۱۹۵۵

✓ ۱ فوریه - ۲ فوریه ۱۹۵۹

✓ ۲۶ ژوئن - ۲۸ ژوئن ۱۹۶۰

مقادیر هیدروگراف ها در جدول ۹-۵ ارائه شده اند. وایت اوک بایو دارای حوضه آبریزی به مساحت ۲۳۸ کیلومتر مربع است. مقادیر هیدروگراف واحد، شدت جریان حداکثر و زمان رسیدن به شدت جریان حداکثر برای هیدروگراف های واحد حاصل از رگبارهای مختلف در این جدول ارائه شده است. یک توزیع نرم از نقطه تعریف شده توسط $\bar{q}_p$ و $\bar{t}_p$ در شکل ۹-۸ با در نظر گرفتن شکل پنج هیدروگراف رخدادهای رگبار جانمایی شده است. مقادیر هیدروگراف واحد در بازه های زمانی ۲ ساعته از ترسیم اولیه هیدروگراف واحد متوسط به دست آمد و حجم زیر منحنی با استفاده از روش ذوزنقه محاسبه شد. به دلیل بیشتر بودن عمق هیدروگراف واحد از مقدار ۱ mmarea، مقادیر هیدروگراف واحد اصلاح شدند. مجموع مقادیر هیدروگراف واحد نهایی در نمودار زیر نشان داده شده است. به این ترتیب عمق به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{depth} = 32.18 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{mm}} (1 \text{ mm}) (2 \text{ h}) \left(\frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right) \left(\frac{1}{238 \text{ km}^2} \right) \left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \right)^2 = 0.97 \text{ mm}$$

فرض می شود که اختلاف ۰/۰۳ میلی متر، مربوط به حجم بازوی پایین رونده هیدروگراف واحد، خارج از زمان ۶۰ دقیقه ای رگبار است.

جدول ۹-۵- محاسبات هیدروگراف واحد حوضه آبریز وایت اوک بایو بر اساس هیدروگراف های واحد حاصل از پنج رگبار

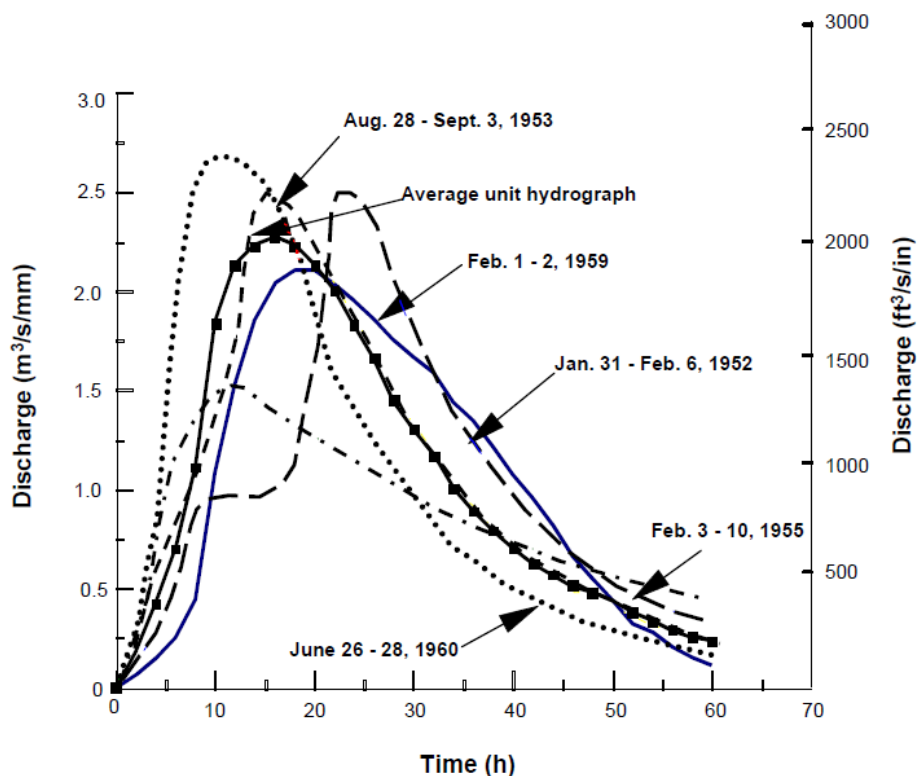
زمان (h)	شدت جریان هیدروگراف واحد (m ^۳ /s/mm)					UH متوسط (m ^۳ /s/mm)	UH بی بعد	
	۱۹۵۲	۱۹۵۳	۱۹۵۵	۱۹۵۹	۱۹۶۰		q/q _p	t/t _p
.	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰

جدول ۹- ۵- محاسبات هیدروگراف واحد حوضه آبخیز وایت اوک بایو بر اساس هیدروگراف های واحد حاصل از پنج رگبار

زمان (h)	شدت جریان هیدروگراف واحد ($m^3/s/mm$)					UH متوسط ($m^3/s/mm$)	UH بی بعد	
	۱۹۵۲	۱۹۵۳	۱۹۵۵	۱۹۵۹	۱۹۶۰		q/q _p	t/t _p
۲	۰.۰۶۷	۰.۲۱۲	۰.۲۳۴	۰.۱۱۱	۰.۳۱۲	۰.۱۸۹	۰.۰۸۳	۰.۱۲۵
۴	۰.۱۴۵	۰.۵۸۰	۰.۷۵۸	۰.۲۶۸	۰.۸۹۲	۰.۴۲۴	۰.۱۸۶	۰.۲۵۰
۶	۰.۲۵۱	۰.۷۹۱	۱.۱۸۲	۰.۵۰۲	۱.۹۷۳	۰.۷۰۲	۰.۳۰۹	۰.۳۷۵
۸	۰.۴۴۶	۱.۰۵۹	۱.۳۶۰	۰.۹۱۴	۲.۵۶۴	۱.۱۱۵	۰.۴۹۰	۰.۵۰۰
۱۰	۱.۰۸۱	۱.۳۴۹	۱.۴۷۱	۰.۹۸۱	۲.۶۷۵	۱.۸۳۹	۰.۸۰۹	۰.۶۲۵
۱۲	۱.۵۲۷	۱.۶۹۴	۱.۵۲۷	۰.۹۷۰	۲.۶۷۵	۲.۱۲۹	۰.۹۳۶	۰.۷۵۰
۱۴	۱.۸۵۰	۲.۴۸۶	۱.۴۶۰	۰.۹۲۵	۲.۵۹۷	۲.۲۲۹	۰.۹۸۰	۰.۸۷۵
۱۶	۲.۰۴۰	۲.۴۷۵	۱.۳۷۱	۱.۰۰۳	۲.۴۵۲	۲.۲۷۴	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰
۱۸	۲.۱۰۷	۲.۴۱۹	۱.۳۲۶	۱.۱۲۶	۲.۲۴۰	۲.۲۲۹	۰.۹۸۰	۱.۱۲۵
۲۰	۲.۱۰۷	۲.۲۴۰	۱.۲۷۱	۱.۶۳۹	۱.۸۹۵	۲.۱۲۹	۰.۹۳۶	۱.۲۵۰
۲۲	۲.۰۳۴	۲.۰۴۰	۱.۲۰۴	۲.۵۰۸	۱.۵۶۱	۲.۰۰۶	۰.۸۸۲	۱.۳۷۵
۲۴	۱.۹۵۱	۱.۸۷۳	۱.۱۴۸	۲.۵۰۸	۱.۴۱۶	۱.۸۲۸	۰.۸۰۴	۱.۵۰۰
۲۶	۱.۸۶۲	۱.۶۸۳	۱.۰۹۲	۲.۳۴۱	۱.۲۳۷	۱.۶۶۱	۰.۷۳۰	۱.۶۲۵
۲۸	۱.۷۵۰	۱.۴۷۱	۱.۰۲۵	۲.۰۱۸	۱.۰۹۲	۱.۴۴۹	۰.۶۳۷	۱.۷۵۰
۳۰	۱.۶۷۲	۱.۳۲۶	۰.۹۸۱	۱.۷۹۵	۰.۹۸۱	۱.۳۰۴	۰.۵۷۴	۱.۸۷۵
۳۲	۱.۵۸۳	۱.۱۹۳	۰.۹۲۵	۱.۵۸۳	۰.۸۳۶	۱.۱۷۰	۰.۵۱۵	۲.۰۰۰
۳۴	۱.۴۳۸	۱.۰۲۵	۰.۸۶۹	۱.۳۴۹	۰.۷۲۵	۱.۰۰۳	۰.۴۴۱	۲.۱۲۵
۳۶	۱.۳۴۹	۰.۹۱۴	۰.۸۲۵	۱.۲۳۷	۰.۶۶۹	۰.۸۹۲	۰.۳۹۲	۲.۲۵
۳۸	۱.۲۱۵	۰.۸۰۳	۰.۷۸۰	۱.۰۹۲	۰.۵۶۸	۰.۷۹۱	۰.۳۴۸	۲.۳۷۵
۴۰	۱.۰۷۰	۰.۷۰۲	۰.۷۲۵	۰.۹۴۷	۰.۵۱۳	۰.۷۰۲	۰.۳۰۹	۲.۵۰۰
۴۲	۰.۹۵۹	۰.۶۲۴	۰.۷۰۲	۰.۸۵۸	۰.۴۵۷	۰.۶۲۴	۰.۲۷۵	۲.۶۲۵
۴۴	۰.۸۲۵	۰.۵۵۷	۰.۶۶۹	۰.۷۵۸	۰.۴۱۲	۰.۵۶۸	۰.۲۵۰	۲.۷۵۰
۴۶	۰.۶۶۹	۰.۴۹۰	۰.۶۳۵	۰.۶۶۹	۰.۳۶۸	۰.۵۱۳	۰.۲۲۵	۲.۸۷۵
۴۸	۰.۵۴۶	۰.۴۵۷	۰.۶۰۲	۰.۶۰۲	۰.۳۳۴	۰.۴۷۹	۰.۲۱۱	۳.۰۰۰
۵۰	۰.۴۳۵	۰.۴۱۲	۰.۵۶۸	۰.۵۳۵	۰.۳۰۱	۰.۴۳۵	۰.۱۹۱	۳.۱۲۵
۵۲	۰.۳۲۳	۰.۳۵۷	۰.۵۳۵	۰.۴۶۸	۰.۲۶۸	۰.۳۷۹	۰.۱۶۷	۳.۲۵۰
۵۴	۰.۲۷۹	۰.۳۱۲	۰.۵۱۳	۰.۴۳۵	۰.۲۴۵	۰.۳۳۴	۰.۱۴۷	۳.۳۷۵
۵۶	۰.۲۰۱	۰.۲۷۹	۰.۴۹۰	۰.۳۹۰	۰.۲۲۳	۰.۲۹۰	۰.۱۲۷	۳.۵۰۰
۵۸	۰.۱۵۶	۰.۲۴۵	۰.۴۶۸	۰.۳۵۷	۰.۲۰۱	۰.۲۵۶	۰.۱۱۳	۳.۶۲۵
۶۰	۰.۱۱۱	۰.۲۲۳	۰.۴۵۷	۰.۳۳۴	۰.۱۷۸	۰.۲۳۴	۰.۱۰۳	۳.۷۵۰
مجموع	۳۲.۰۴۷	۳۲.۲۹۲	۲۷.۱۷۶	۳۱.۲۲۲	۳۲.۸۶۱	۳۲.۱۸۱		

جدول ۹-۵- محاسبات هیدروگراف واحد حوضه آبرگیر وایت اوک بایو بر اساس هیدروگراف های واحد حاصل از پنج رگبار

زمان (h)	شدت جریان هیدروگراف واحد ($m^3/s/mm$)					متوسط UH ($m^3/s/mm$)	UH بی بعد	
	۱۹۵۲	۱۹۵۳	۱۹۵۵	۱۹۵۹	۱۹۶۰		q/q_p	t/t_p
عمق (mm)	۰.۹۷	۰.۹۸	۰.۸۲	۰.۹۴	۰.۹۹	۰.۹۷		
شدت جریان حداکثر ($m^3/s/mm$)	۲.۱۰۷	۲.۴۸۶	۱.۵۲۷	۲.۵۱۰	۲.۶۷۵	۲.۲۷۴		
زمان رسیدن به شدت جریان حداکثر (h)	۱۹.۰	۱۴.۸	۱۱.۴	۲۳.۴	۱۰.۹	۱۶.۰		



شکل ۹-۸- هیدروگراف های واحد مشاهداتی، وایت اوک بایو

استخراج هیدروگراف واحد با استفاده از ضرب عناصر هیدروگراف در حجم سیلاب (به میلیمتر یا اینچ) می تواند برای زمانی که رگبارها دارای توزیع تقریباً یکسان باشند مفید باشد اما متأسفانه در اکثر مواقع چنین اتفاقی نمی افتد لذا لازم است روشی ارائه شود که در صورت رخداد بارندگی با الگوی متفاوت باز هم بتوان هیدروگراف واحد را از هیدروگراف موجود استخراج نمود. با توجه به مثال حل شده در بخش تلفات بارندگی و هیدروگراف رواناب مستقیم ان مطابق با جدول ۹-۱ هیدروگراف رواناب مستقیم نتیجه ای از بارندگی اضافی شامل ۳ دوره زمانی مساوی ۱۵ دقیقه ای با مقادیر بارندگی اضافی ۰.۴۹، ۰.۲۹ و ۰.۰۹ اینچ می باشد. فرض

می شود که هیدروگراف از سه هیدروگراف مجزا منطبق با ۳ دوره یاد شده تشکیل شده باشد. به منظور استخراج ابعاد

هیدروگراف واحد مطابق به شکل زیر عمل می گردد:

نماده ای به کار رفته در محاسبات:

$Q(M)$ ذابعد هیدروگراف رواناب مستقیم (CFS)

$R(M)$ شدت بارندگی اضافی (inch/hr)

$U(M)$ ابعاد هیدروگراف واحد (CFS)

$$Q(1) = R(1) \times U(1) = 6 = 0.49 \times U(1)$$

$$Q(2) = R(1) \times U(2) + R(2) \times U(1) = 18 = 0.49 \times U(2) + 0.29U(1)$$

$$Q(3) = R(1) \times U(3) + R(2) \times U(2) + R(3) \times U(1) = 32 = 0.49 \times U(3) + 0.29U(2) + 0.09 \times U(1)$$

$$Q(4) = R(1) \times U(4) + R(2) \times U(3) + R(3) \times U(2) = 44 = 0.49 \times U(4) + 0.29U(3) + 0.09 \times U(2)$$

$$Q(5) = R(1) \times U(5) + R(2) \times U(4) + R(3) \times U(3) = 54 = 0.49 \times U(5) + 0.29U(4) + 0.09 \times U(3)$$

$$Q(6) = R(1) \times U(6) + R(2) \times U(5) + R(3) \times U(4) = 60 = 0.49 \times U(6) + 0.29U(5) + 0.09 \times U(4)$$

$$Q(7) = R(1) \times U(7) + R(2) \times U(6) + R(3) \times U(5) = 59 = 0.49 \times U(7) + 0.29U(6) + 0.09 \times U(5)$$

$$Q(8) = R(1) \times U(8) + R(2) \times U(7) + R(3) \times U(6) = 53 = 0.49 \times U(8) + 0.29U(7) + 0.09 \times U(6)$$

$$Q(9) = R(1) \times U(9) + R(2) \times U(8) + R(3) \times U(7) = 45 = 0.49 \times U(9) + 0.29U(8) + 0.09 \times U(7)$$

$$Q(10) = R(1) \times U(10) + R(2) \times U(9) + R(3) \times U(8) = 37 = 0.49 \times U(10) + 0.29U(9) + 0.09 \times U(8)$$

$$Q(11) = R(1) \times U(11) + R(2) \times U(10) + R(3) \times U(9) = 30 = 0.49 \times U(11) + 0.29U(10) + 0.09 \times U(9)$$

$$Q(12) = R(1) \times U(12) + R(2) \times U(11) + R(3) \times U(10) = 23 = 0.49 \times U(12) + 0.29U(11) + 0.09 \times U(10)$$

$$Q(13) = R(1) \times U(13) + R(2) \times U(12) + R(3) \times U(11) = 18 = 0.49 \times U(13) + 0.29U(12) + 0.09 \times U(11)$$

$$Q(14) = R(1) \times U(14) + R(2) \times U(13) + R(3) \times U(12) = 12 = 0.49 \times U(14) + 0.29U(13) + 0.09 \times U(12)$$

$$Q(15) = R(2) \times U(14) + R(3) \times U(13) = 9 = 0.29U(14) + 0.09 \times U(13)$$

$$Q(16) = R(3) \times U(14) = 3 = 0.09 \times U(14)$$

$$Q(17) = 0$$

بعد از حل معادلات فوق مقادیر ابعاد هیدروگراف واحد به صورت زیر خواهد بود:

$$U(1) = 12.2$$

$$U(2) = 29.5$$

$$U(3) = 45.6$$

$$U(4) = 57.4$$

$$U(5) = 67.8$$

$$U(6) = 71.7$$

$$U(7) = 65.5$$

$$U(8) = 56.2$$

$$U(9) = 46.5$$

$$U(۱۰) = ۳۷.۶$$

$$U(۱۱) = ۳۰.۴$$

$$U(۱۲) = ۲۲$$

$$U(۱۳) = ۱۸.۱$$

$$U(۱۴) = ۹.۷$$

فصل دهم

هیدروگراف واحد مصنوعی

۱۰- فصل دهم: هیدروگراف واحد مصنوعی

۱۰-۱- مقدمه

در برخی از حوضه های آبریز به دلیل نبود ایستگاه های آبسنجی و باران سنجی مجبور به تولید هیدروگراف واحد مصنوعی هستیم. برای این منظور چندین روش در منابع مختلف ارائه شده است که سه روش معروف آن روش اشنايدر (Snyder) و حفاظت خاک آمریکا (SCS) و هیدروگراف واحد مثلی می باشد.

۱۰-۲- روش اشنايدر

یکی از کارشناسان گروه ارتش آمریکا روشی را پیشنهاد کرد که با استفاده از آن بتوان مشخصات هیدروگراف واحد یک حوضه آبریز را با توجه به مشخصات فیزیکی بدست آورد. پارامتر های مورد نیاز برای رسم هیدروگراف در این روش به شرح زیر می باشد:

زمان رسیدن به نقطه اوج- مدت زمان بارندگی- دبی اوج هیدروگراف- زمان تاخیر حوضه آبریز- پهنای هیدروگراف
برای ۷۵ درصد دبی اوج - پهنای هیدروگراف برای ۵۰ درصد دبی اوج- زمان پایه هیدروگراف
الف- زمان تاخیر حوضه آبریز با استفاده (رابطه ۱۰ - ۱) بدست می آید:

$$t_l = C_t(L \cdot L_{ca})^{0.2} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۱})$$

t_l : زمان تاخیر بر حسب ساعت

C_t : ضریبی که مقدار آن بین ۱.۴ تا ۱.۷ می باشد و هر چه توپوگرافی حوضه آبریز کوهستانی تر باشد به عدد ۱.۴ نزدیکتر است.

L : طول آبراهه اصلی بر حسب کیلومتر

L_{ca} : طول آبراهه اصلی از نقطه خروجی تا مرکز ثقل حوضه آبریز بر حسب کیلومتر

برای ساخت یک هیدروگراف واحد لازم است که زمان بارندگی با استفاده از (رابطه ۱۰ - ۲) بدست آید:

$$t_D = \frac{t_l}{5.5} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۲})$$

در هر صورت ممکن است زمان بدست آمده آن چیزی نباشد که ما نیاز داریم لذا لازم است ابتدا زمان تاخیر برای هیدروگراف مد نظر با استفاده از (رابطه ۱۰ - ۳) اصلاح گردد:

$$t_{IR} = t_l + 0.25(t_R - t_D) \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۳})$$

ب- دبی پیک

در مرحله بعد دبی پیک با استفاده از (رابطه ۱۰ - ۴) بدست می آید:

$$Q_p = C_p \frac{A}{t_l} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۴})$$

در این رابطه A مساحت حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع، C_p ضریب وابسته به نگهداشت آب سطحی و مقدار آن از ۰.۱۵ تا ۰.۱۹ بوده و Q_p دبی پیک هیدروگراف برای یک واحد رواناب بر حسب متر مکعب بر ثانیه است.

ج- زمان پایه هیدروگراف با استفاده از (رابطه ۱۰ - ۵) بدست می آید:

$$t_b = 24\left(3 + \frac{t_{IR}}{8}\right) \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۵})$$

واحد زمان ها ساعت می باشد.

د- عرض هیدروگراف در ۵۰ و ۷۵ درصد دبی اوج با بهره گیری از (رابطه ۱۰ - ۶) و (رابطه ۱۰ - ۷) بدست می آید:

$$W_{\Delta} = \frac{0.23A^{1.08}}{Q_p^{1.08}} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۶})$$

$$W_{V\Delta} = \frac{0.13A^{1.08}}{Q_p^{1.08}} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۷})$$

در سیستم انگلیسی رابطه های فوق به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$W_{\Delta} = \frac{735Q_p^{-1.075}}{A^{-1.075}} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۸})$$

$$W_{V\Delta} = \frac{434 Q_p^{-1.075}}{A^{-1.075}} \quad (\text{رابطه } 10 - 9)$$

مثال: هیدروگراف واحد مصنوعی را برای یک حوضه آبریز به مساحت ۸۷۵ مایل مربع که مقدار طول ابراهه ۸۳ مایل و فاصله تا مرکز ثقل برابر با ۴۰.۶ مایل می باشد بدست آورید.

$$t_l = C_t (L \cdot L_{ca})^{0.3} = C_{1.32} (83 * 40.6)^{0.3} = 15.1 \text{ HRS}$$

$$t_D = \frac{t_l}{5.5} = 2.75 \text{ HRS} \cong 3 \text{ HRS}$$

ساخت یک هیدروگراف سه ساعته مد نظر می باشد:

$$t_{IR} = t_l + 0.25(t_R - t_D) = 15.1 + 0.25 * (3 - 2.75) = 15.2 \text{ HRS}$$

$$Q_p = C_p \frac{A}{t_l} = 0.63 \frac{640 * 875}{15.2} = 23210 \text{ CFS}$$

$$t_b = 24 \left(3 + \frac{t_{IR}}{8} \right) = 24 \left(3 + \frac{15.2}{8} \right) = 117 \text{ HRS}$$

$$W_{\Delta} = \frac{735 Q_p^{-1.075}}{A^{-1.075}} = \frac{735 * 23210^{-1.075}}{875^{-1.075}} = 21.7 \text{ HRS}$$

$$W_{V\Delta} = \frac{434 Q_p^{-1.075}}{A^{-1.075}} = \frac{434 * 23210^{-1.075}}{875^{-1.075}} = 1$$

با مقایسه زمان ۵۰ و ۷۵ درصد عرض هیدروگراف به نظر می رسد که زمان پایه باید کمتر لحاظ گردد که می تواند این زمان ۴.۵ برابر زمان پیک در نظر گرفته شود.

۱۰-۳- هیدروگراف واحد مصنوعی SCS

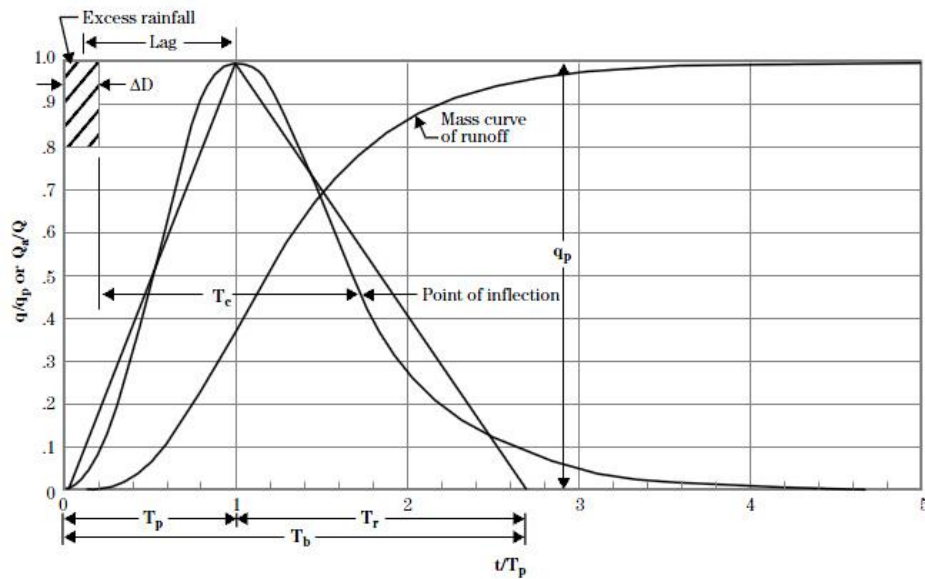
این روش با ارائه یک جدول (جدول ۱۰-۱ و شکل ۱۰-۱) که در آن نسبت زمان رخداد سیل به زمان رخداد پیک سیلاب و دبی به دبی پیک سیلاب آورده شده است، پارامترهای هیدروگراف را ارائه می نماید.

جدول ۱۰-۱- نسبت های هیدروگراف واحد SCS

ردیف	نسبت های زمان (t/T _p)	نسبت های شدت جریان (q/q _p)
۱	۰	۰.۰۰۰
۲	۰.۱	۰.۰۳۰
۳	۰.۲	۰.۱۰۰
۴	۰.۳	۰.۱۹۰
۵	۰.۴	۰.۳۱۰

جدول ۱۰-۱- نسبت های هیدروگراف واحد SCS

ردیف	نسبت های زمان (t/T_p)	نسبت های شدت جریان (q/q_p)
۶	۰.۵	۰.۴۷۰
۷	۰.۶	۰.۶۶۰
۸	۰.۷	۰.۸۲۰
۹	۰.۸	۰.۹۳۰
۱۰	۰.۹	۰.۹۹۰
۱۱	۱.۰	۱.۰۰۰
۱۲	۱.۱	۰.۹۹۰
۱۳	۱.۲	۰.۹۳۰
۱۴	۱.۳	۰.۸۶۰
۱۵	۱.۴	۰.۷۸۰
۱۶	۱.۵	۰.۶۸۰
۱۷	۱.۶	۰.۵۶۰
۱۸	۱.۷	۰.۴۶۰
۱۹	۱.۸	۰.۳۹۰
۲۰	۱.۹	۰.۳۳۰
۲۱	۲.۰	۰.۲۸۰
۲۲	۲.۲	۰.۲۰۷
۲۳	۲.۴	۰.۱۴۷
۲۴	۲.۶	۰.۱۰۷
۲۵	۲.۸	۰.۰۷۷
۲۶	۳.۰	۰.۰۵۵
۲۷	۳.۲	۰.۰۴۰
	۳.۴	۰.۰۲۹
۲۸	۳.۶	۰.۰۲۱
۲۹	۳.۸	۰.۰۱۵
۳۰	۴.۰	۰.۰۱۱
۳۱	۴.۵	۰.۰۰۵
۳۲	۵.۰	۰.۰۰۰



شکل ۱۰-۱- نمودار هیدروگراف واحد SCS

با توجه جدول فوق مقادیر دبی و زمان پیک را بایستی برای رسم و استخراج پارامتر های هیدروگراف را با استفاده از (رابطه ۱۰ - ۱۰) و (رابطه ۱۰ - ۱۱) برآورد نمود:

$$Q_p = \frac{0.208A}{t_p} \quad (\text{رابطه } 10 - 10)$$

$$t_p = \frac{D}{\gamma} + t_l \quad (\text{رابطه } 10 - 11)$$

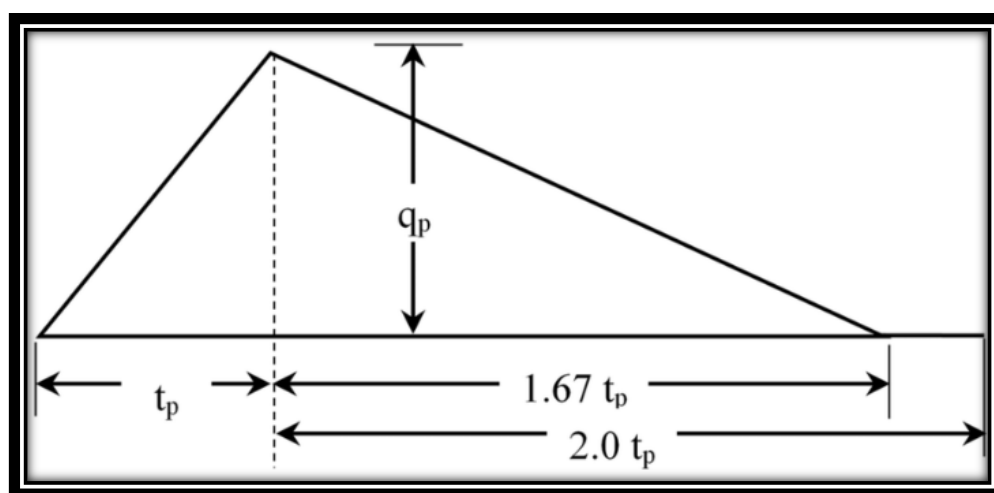
پیشنهاد SCS برای مقدار D (مدت زمان تداوم بارندگی) برابر با $0.133t_c$ می باشد.

$$D = 0.133t_c \quad (\text{رابطه } 10 - 12)$$

در این رابطه t_p و t_l و D و t_c به ترتیب زمان رسیدن به اوج، زمان تاخیر، مدت زمان تدام بارندگی و زمان تمرکز حوضه آبریز بر حسب ساعت، Q_p دبی پیک بر حسب متر مکعب بر ثانیه برای یک میلیمتر بارندگی، A مساحت حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع می باشد.

۱۰-۳-۱- هیدروگراف واحد مثلثی

SCS یک هیدروگراف واحد مثلثی را که در واقع ساده شده هیدروگراف واحد SCS می باشد گسترش داده است. این هیدروگراف واحد با استفاده از سه پارامتر Q_p ، t_p و t_b تعریف و ترسیم می گردد. (این هیدروگراف پس از T ساعت از شروع بارندگی به نقطه اوج می رسد).



شکل ۱۰-۲- نمایش شماتیک هیدروگراف واحد مثلثی

مقدار پارامتر t_p با استفاده از (رابطه ۱۰ - ۱۰) محاسبه می گردد:

$$t_p = \frac{t}{\gamma} + 0.6t_c \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۱۳})$$

و دبی پیک برای رواناب به عمق R و سطح حوضه آبریز A برابر است با (رابطه ۱۰ - ۱۴):

$$Q_p = \frac{484AR}{t_p} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۱۴})$$

فصل یازدهم

روند یابی سیل

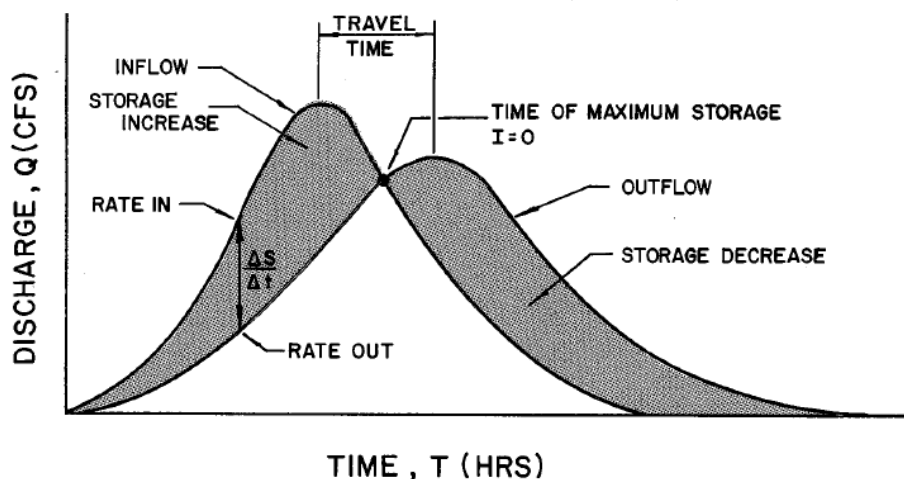
۱۱- فصل یازدهم: روند یابی سیل

۱۱-۱- مقدمه

یکی از مسائل پیچیده در مهندسی هیدرولوژی پیش بینی چگونگی طغیان و فروکش سیل یا صعود و نزول هیدروگراف رودخانه در نقطه ای مشخص از آن است. این مسئله را میتوان با روندیابی سیل مورد تحلیل قرار داد. یکی از کاربردهای این روش روندیابی پایین دست به منظور طراحی سازه های زهکشی می باشد. دو تا از کاربرهای وسیع برای روندیابی، تاثیر تغییرات کانال و یا رودخانه بر دبی پیک در رودخانه و طراحی سازه های زهکشی دارای سازه های تاخیری می باشد. از دیگر کاربردهای روندیابی هیدروگراف ها طراحی ایستگاه های پمپاژ و تخمین زمان سریز آب از روی خاکریز های بزرگراه ها است. این کاربردها می تواند در دو دسته تقسیم بندی شوند ۱- روندیابی کانال و روندیابی مخزن. تکنیک های روندیابی رودخانه زمانی استفاده می شود که جریان خروجی از یک بازه وابسته به جریان ورودی و ذخیره در بالادست می باشد این در حالی است که زمانی از تکنیک های روندیابی مخزن استفاده می گردد که جریان خروجی از یک بازه وابسته به ذخیره در بالادست باشد.

۱۱-۲- روندیابی کانال

روندیابی روشی است که هیدروگراف پایین دست با استفاده از یک هیدروگراف شناخته شده در بالادست تخمین زده می شود. هیدروگرافی که به سمت پایین دست حرکت می کند به دلیل ذخیره در بالادست شکل آن در پایین دست دستخوش تغییر می گردد. ذخیره در کانال یا رودخانه از دو بخش تشکیل شده است ۱- ذخیره منشوری و زمانی است که جریان ورودی و خروجی برابر باشد و ۲- ذخیره لبه ای که متناسب با اختلاف بین جریان ورودی و خروجی می باشد. هیدروگراف حاصل از روندیابی سیل مطابق با شکل ۱۱-۱ می باشد.



شکل ۱۱-۱- نمایش شماتیک روندیابی سیل

به منظور روندیابی رودخانه یا کانال دو روش ماسکینگهام و ماسکینگهام گانج استفاده میگردد.

۱۱-۲-۱- روش ماسکینگهام

معادله ذخیره عمومی برای روندیابی رودخانه براساس معادله پیوستگی بوده و از مجموع تمام جریان ها در خلال بازه ها بدست می آید. معادله ذخیره را میتوان به صورت (رابطه ۱۱ - ۱) نوشت:

$$\frac{ds}{dt} = I - O \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۱})$$

که در این رابطه ds تغییرات ذخیره، I و O به ترتیب جریان ورودی و خروجی در خلال زمان dt می باشد. بسیاری از روش های که به منظور روندیابی مورد استفاده قرار می گیرند، اساس آن ها بر معادله فوق می باشد. یکی از پرکاربردترین روش ها برای روندیابی روش ماسکینگهام می باشد. اساس این روش بر این فرض استوار است که ذخیره در طول بازه ای از رودخانه از (رابطه ۱۱ - ۲) تبعیت می کند:

$$S = K[XI + (1 - X)O] \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۲})$$

در این رابطه K ضریب تجربی ای می باشد که معادل متوسط زمان طی شده برای مسافت برابر با طول بازه رودخانه و مورد مطالعه می باشد. X ثابت تجربی دیگری است که با توجه به نسبت جریان ورودی به خروجی وزن دهی می شود و

مقدار آن بین ۰ تا ۰.۵ متغیر است. در گام اول هیدروگراف ورودی و خروجی درون چندین دوره زمانی تقسیم می شوند (Δt). مدت زمان در نظر گرفته شده برای روندیابی بایستی کوچکتر از زمان مورد نیاز برای طی طول بازه مطالعاتی باشد تا تاج موج در دوره زمانی روندیابی به طور کامل از بازه رودخانه خارج نشود. معادله پیوستگی می تواند به شکل (رابطه ۱۱ - ۳) نوشته شود:

$$I_1 + I_r + \frac{rS_1}{\Delta t} = \frac{rS_r}{\Delta t} + O_r \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۳})$$

با جایگذاری (رابطه ۱۱ - ۳) در (رابطه ۱۱ - ۱) روابط زیر بدست می آیند:

$$O_r = C.I_r + C_1 I_1 + C_r O_1 \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۴})$$

$$C_r = \frac{-KX + 0.5 \Delta t}{K - KX + 0.5 \Delta t} \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۵})$$

$$C_1 = \frac{KX + 0.5 \Delta t}{K - KX + 0.5 \Delta t} \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۶})$$

$$C_r = \frac{K - KX - 0.5 \Delta t}{K - KX + 0.5 \Delta t} \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۷})$$

$$C_r + C_1 + C_r = 1 \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۸})$$

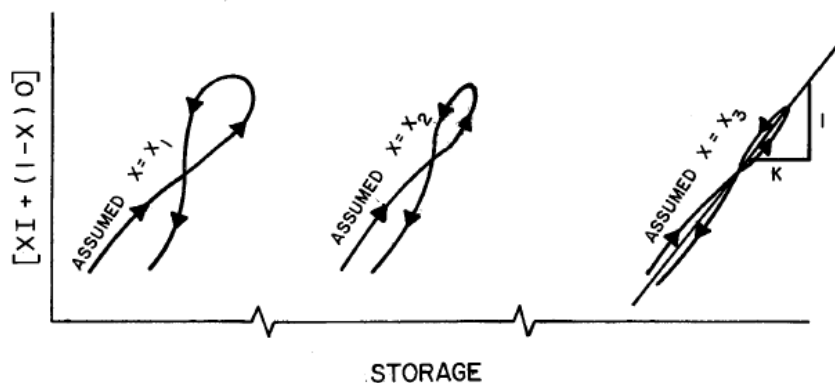
در روابط فوق I_r و O_r جریان ورودی و خروجی در انتهای بازه زمانی Δt و I_1 و O_1 جریان ورودی و خروجی در ابتدای این بازه زمانی می باشد. سختی کار در این روش در بدست آوردن مقادیر X و K می باشد. به منظور بدست آوردن مقدار O_r میتوان به ترتیب زیر عمل نمود:

✓ برای حل (رابطه ۱۱ - ۴) باید مقادیر I_1 ، I_r و O_1 در دوره زمانی Δt معلوم باشند. همچنین مقادیری بایستی برای ضرایب K و X فرض نمود.

✓ یک هیدروگراف سیل ورودی و یک هیدروگراف سیل خروجی را از آمار سیل های قبلی که در مسیر اندازه گیری شده باشند در نظر بگیرید. چنین هیدروگراف هایی برای تخمین X و K الزامی است.

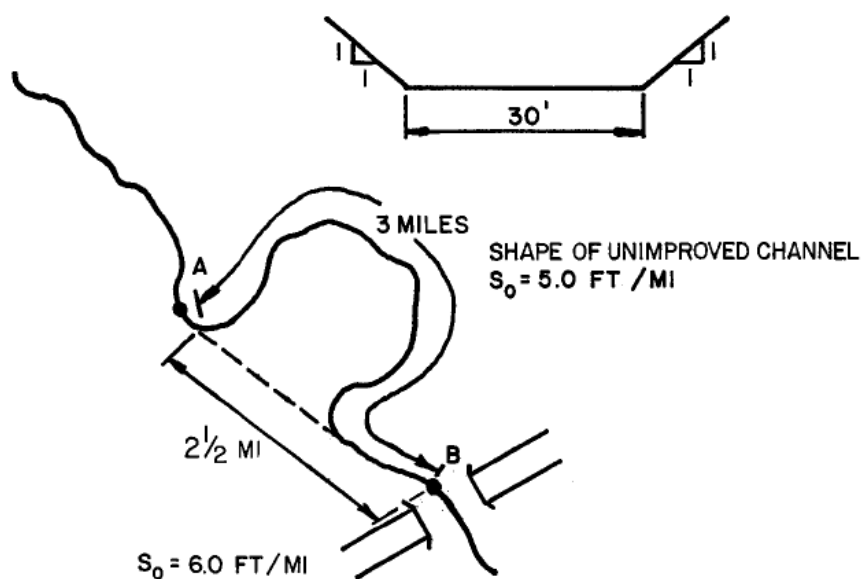
- ✓ در دوره های مختلف زمانی مقدار سیل ورودی و خروجی را از روی این دو هیدروگراف به دست آورید.
- ✓ مقداری را برای X بین صفر تا نیم انتخاب کنید و سپس $[XI + (1 - X)O]$ را محاسبه کنید.
- ✓ در هر دوره زمانی از روی هیدروگراف های ورودی و خروجی بند ۲ گفته شد مقدار $(I - O)$ را که در واقع همان ذخیره واقعی هست، بدست آورید.
- ✓ حال به ازای هر Δt با داشتن S (ذخیره واقعی) و $XI + (1 - X)O$ در یک دستگاه مختصات تغییرات را رسم کنید.
- اگر شکل بدست آمده به صورت تقریباً یک خط بود آنگاه مقدار X بدرستی فرض شده است در غیر این صورت نمودار یک حلقه (لوپ) را به نمایش خواهد گذاشت که نشان از آن دارد که بایستی مقدار دیگری برای X فرض کرد (شکل ۱۱-۲)

- ✓ عکس شیب خط بدست آمده حاصل از فرض درست X همان مقدار K است (شکل ۱۱-۲).



شکل ۱۱-۲-روش بدست آوردن ضریب K

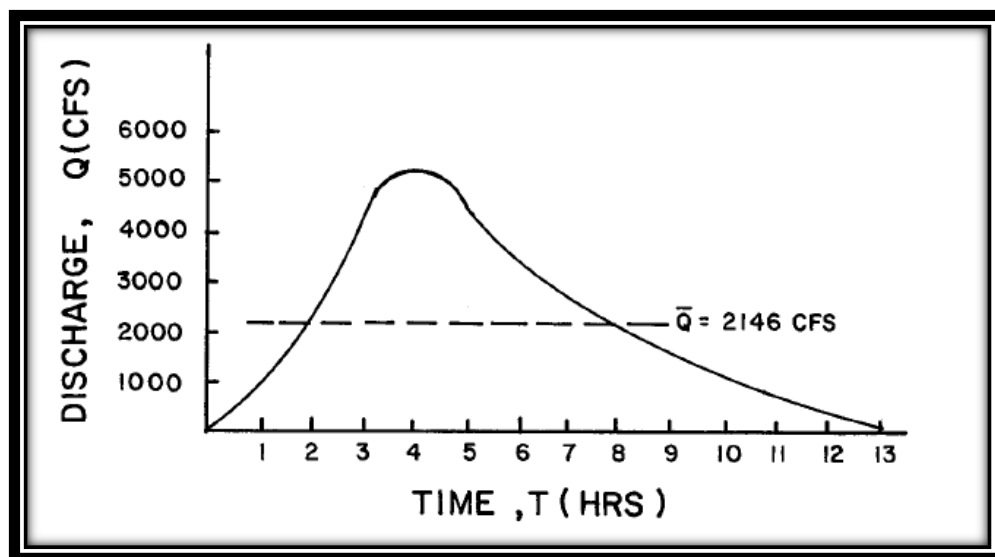
- مثال: یک بازه ۳ مایلی از یک رودخانه در شکل زیر نمایش داده شده است. یک کانال برای کاهش طول کانال و حذف خم پیشنهاد شده است. حذف این خم چه تاثیری بر دبی در محل تقاطع با مسیر دارد؟



PROPOSED CHANNEL IMPROVEMENT

شکل ۱۱-۳- نمایش پلان رودخانه مطرح شده در مثال

با استفاده از یکی از روش های تولید هیدروگراف مصنوعی، هیدروگراف طرح مطابق با شکل زیر با دبی حداکثر ۵۲۰۰ فوت مکعب بر ثانیه استخراج شده است.



شکل ۱۱-۴- هیدروگراف سیل ورودی مثال مطرح شده

متوسط دبی طرح با توجه به شکل بالا ۲۱۴۶ فوت مکعب بر ثانیه می باشد. با توجه به مقطع دوزنقه ای که در شکل ارائه شده است و با به کارگیری رابطه مانینگ مدت زمان حرکت جریان به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$V = \frac{1.49}{0.025} R^{2/3} S^{1/2}, \quad T = \frac{Lenght}{Velocity}$$

با استفاده از رابطه بالا مقدار T برای کانال با وضعیت اولیه برابر با ۰.۷ ساعت و برای کانال بهینه شده با طول ۲.۵ مایل برابر با ۰.۵۵ ساعت بدست خواهد آمد. برای وضعیت اولیه ضرایب C ، C_1 و C_2 با فرض $\Delta t = 1 \text{ hrs}$ و $x = 0.2$ و $k = 0.7 \text{ hrs}$ به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$C_0 = \frac{-0.7 * 0.2 + 0.5 * 1}{0.7 - 0.7 * 0.2 + 0.5 * 1} = 0.3396$$

$$C_1 = \frac{0.7 * 0.2 + 0.5 * 1}{0.7 - 0.7 * 0.2 + 0.5 * 1} = 0.6038$$

$$C_2 = \frac{0.7 - 0.7 * 0.2 - 0.5 * 1}{0.7 - 0.7 * 0.2 + 0.5 * 1} = 0.0566$$

ابعاد هیدروگراف خروجی میتواند با استفاده از زیر محاسبه شود برای $t = 1 \text{ hrs}$ خواهیم داشت:

$$O_1 = 0.3396 * 800 + 0.6038 * 0 + 0.0566 * 0 = 272 \text{ CFS}$$

و برای $t = 2 \text{ hrs}$:

$$O_2 = 0.3396 * 2000 + 0.6038 * 800 + 0.0566 * 272 = 1178 \text{ CFS}$$

جدول هیدروگراف ورودی و خروجی برای وضعیت اولیه مطابق جدول زیر می باشد:

جدول ۱۱- ۱- مقادیر هیدروگراف

ورودی و خروجی برای وضعیت موجود

ردیف	دبی ورودی	دبی خروجی
۰	۰	۰
۱	۸۰۰	۲۷۲
۲	۲۰۰۰	۱۱۷۸
۳	۴۲۰۰	۲۷۰۱
۴	۵۲۰۰	۴۴۵۵
۵	۴۴۰۰	۴۸۸۶
۶	۳۲۰۰	۴۰۲۰
۷	۲۵۰۰	۳۰۰۹
۸	۲۰۰۰	۲۳۵۹

جدول ۱۱- ۱- مقادیر هیدروگراف
ورودی و خروجی برای وضعیت موجود

ردیف	دبی ورودی	دبی خروجی
۹	۱۵۰۰	۱۸۵۱
۱۰	۱۰۰۰	۱۳۵۰
۱۱	۷۰۰	۹۱۸
۱۲	۴۰۰	۶۱۰
۱۳	۰	۲۷۶
۱۴	۰	۱۶
۱۵	۰	۱

مطابق محاسبات بالا ضرایب C_1 ، C_2 و C_3 برای کانال بهینه شده به ترتیب برابر با ۰.۴۱۴۹، ۰.۶۴۸۹ و ۰.۰۶۳۸- می

باشد. جدول هیدروگراف ورودی و خروجی برای کانال بهینه شده مطابق با جدول زیر می باشد:

جدول ۱۱- ۲- مقادیر هیدروگراف
ورودی و خروجی برای وضعیت بهینه
شده

ردیف	دبی ورودی	دبی خروجی
۰	۰	۰
۱	۸۰۰	۳۳۲
۲	۲۰۰۰	۱۳۲۸
۳	۴۲۰۰	۲۹۵۶
۴	۵۲۰۰	۴۶۹۴
۵	۴۴۰۰	۴۹۰۰
۶	۳۲۰۰	۳۸۷۰
۷	۲۵۰۰	۲۸۶۷
۸	۲۰۰۰	۲۲۶۹
۹	۱۵۰۰	۱۷۷۵
۱۰	۱۰۰۰	۱۲۷۵
۱۱	۷۰۰	۸۵۸
۱۲	۴۰۰	۵۶۵
۱۳	۰	۲۲۳
۱۴	۰	۰

جدول ۱۱-۲- مقادیر هیدروگراف
ورودی و خروجی برای وضعیت بهینه
شده

ردیف	دبی ورودی	دبی خروجی
۱۵	۰	۰

دبی پیک سیلاب برای وضعیت اولیه و حالت بهینه شده به ترتیب برابر با ۴۹۰۰ و ۴۸۸۶ فوت مکعب بر ثانیه می باشد که تفاوت محسوسی با یکدیگر ندارند.

۱۱-۲-۲- روش ماسکینگهام کانج (Muskingam- Cunge)

کانج در سال ۱۹۷۵ با استفاده از ارتباط میان ضرایب K و X با خصوصیات هیدرولیکی جریان استفاده از روش ماسکینگهام را بهبود بخشید. این روش از معادلات به شرح زیر استفاده می نماید.

$$Q_{i+1}^{j+1} = C_1 Q_i^{j+1} + C_2 Q_i^j + C_3 Q_{i+1}^j \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۹})$$

Q_i^j دبی مربوط به مکان i و زمان j می باشد. برای حل این معادله لازم است که مقدار K و X را داشته باشیم تا مقادیر C_1 تا C_3 را بتوانیم بدست آوریم. مقادیر K و X از روابط زیر بدست می آید:

$$K = \frac{\Delta x}{C_k} = \frac{\Delta x}{\partial Q / \partial A} \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۱۰})$$

$$X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{BC_k S \cdot \Delta x} \right) \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۱۱})$$

که در این رابطه:

C_k سرعت منطبق با Q و B بر حسب متر بر ثانیه

B : غرض سطح آب بر حسب متر

Q : دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه

A: سطح مقطع عبوری جریان بر حسب متر مربع

S: شیب کف بستر

Δx : فاصله در مکان

کانگ همچنین نشان داد که اگر X و K براساس روابط بالا محاسبه گردند، این روش یک حل تقریبی از معادله پخشیدگی اصلاح شده را ارائه می کند. برای گسترش روش ماسکینگهام گانج عدد کورانت (C) و عدد رینولدز (D) می تواند توسط (رابطه ۱۱ - ۱۲) و (رابطه ۱۱ - ۱۳) بدست محاسبه گردند:

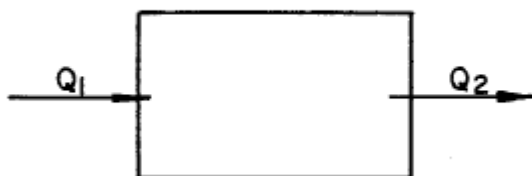
$$C = c \left(\frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۱۲})$$

$$D = \left(\frac{Q}{S \cdot c B \Delta x} \right) \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۱۳})$$

پارامتر ها همان است که برای (رابطه ۱۱ - ۱۱) تشریح گردید.

۱۱-۳- روند یابی مخزن

هر زمانی که جریان خروجی از رودخانه وابسته به ذخیره در بالادست آن بازه از رودخانه باشد تکنیک روندیابی مخزن می تواند مورد استفاده قرار گیرد. شرایط تشریح شده را میتوان در بزرگراه ها مشاهده کرد جایی که آب بوسیله خاکریز ها ذخیره می شود. یکی دیگر از کاربردهای این روش در طراحی حوضچه ها تاخیری می باشد تا پیک جریان را کاهش دهد. اساس استفاده از این روش نیز معادله پیوستگی است.



O در مقابل $O + \frac{2S}{\Delta t}$ شکل ۱۱-۵- رسم مقادیر بدست آمده

در جعبه نشان داده شده در شکل ۱۱-۵ با یک وضعیت ماندگار روبرو هستیم که در آن جریان ورودی (Q_1) و خروجی Q_2 معادل می باشند. اگر مقدار Q_1 بزرگتر از Q_2 باشد مقدار اضافی بعنوان ذخیره داخل جعبه قرار می گیرد. و اگر Q_2 بزرگتر از Q_1 باشد آنگاه مقدار ذخیره شده آزاد می گردد. اگر جریان ورودی را با I و جریان خروجی را با O و مقدار ذخیره را با ΔS نشان داده شود همچنان می توان از رابطه پیوستگی استفاده کرد. این معادله را میتوان به صورت زیر بیان کرد:

$$I_1 + I_2 + \frac{\Delta S_1}{\Delta t} = \frac{\Delta S_2}{\Delta t} + O_2 \quad (\text{رابطه ۱۱ - ۱۴})$$

این فرم از معادله بسیار مفید می باشد اگر جریان خروجی (O) فقط تابعی از ذخیره باشد، سپس ترم های سمت چپ معادله شناخته شده هستند و مقدار O_2 می تواند محاسبه گردد. برای استفاده از این معادله نیاز است رابطه میان دبی، ذخیره و تراز سطح آب برای مخزن مشخص گردد. روش استفاده از این روش با استفاده از مثال زیر توضیح داده می شود. مثال: طراحی میخواد یک کالورت با دبی با دوره بازگشت ۵۰ ساله طراحی نماید به طوری که تراز سطح آب یک فوت زیر جاده می باشد. چه ابعادی برای کالورت بایستی انتخاب گردد؟

هیدروگراف سیل ۵۰ ساله مطابق با جدول ۱۱-۳ می باشد:

جدول ۱۱-۳- مقادیر هیدروگراف سیل طراحی مثال روندیابی مخزن

ردیف	زمان (ساعت)	دبی (فوت مکعب بر ثانیه)
۱	۰	۰
۲	۱	۲۰
۳	۲	۴۰
۴	۳	۶۰
۵	۴	۴۰
۶	۵	۲۰
۷	۶	۰

همچنین ارتباط میان دبی و تراز سطح آب به صورت جدول ۱۱- ۴ می باشد:

جدول ۱۱- ۴- ارتباط میان تراز سطح آب و دبی در مثال روندیابی مخزن

هد آب (فوت)							
قطر (فوت)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۲	۰	۴.۱	۱۲.۶	۲۰	۲۶	۳۱	۳۵
۲.۵	۰	۵	۱۶	۲۹	۳۷	۴۵	۵۱
۳	۰	۶	۱۸	۳۵	۵۰	۶۱	۷۰
۳.۵	۰	۷	۲۰.۵	۴۱	۶۰	۸۰	۹۲
۴	۰	۸	۲۲.۵	۴۶	۷۱	۹۰	۱۱۲

هنگامی که ارتفاع آب بیشتر از ۷ فوت باشد، خاکریز بعنوان سرریز لبه پهن عمل کرده و در عمق ۷ فوتی دبی تنها به دلیل سرریز برابر با ۱۷۰ فوت مکعب بر ثانیه می باشد. به منظور استفاده از این روش بایستی رابطه بین عمق و ذخیره را نیز داشته باشیم که در این مثال به صورت جدول ۱۱- ۵ می باشد:

جدول ۱۱- ۵- رابطه میان عمق - ذخیره در مثال روندیابی مخزن

ردیف	عمق آب (فوت)	ذخیره (فوت مکعب)
۱	۰	۰
۲	۱	۲۰۰۰
۳	۲	۴۵۰۰
۴	۳	۷۷۸۰
۵	۴	۱۱۹۰۰
۶	۵	۱۷۵۰۰
۷	۶	۲۸۹۰۰
۸	۷	۴۵۷۰۰

با استفاده از مقادیر ارائه شده مقدار $\frac{\tau S}{\Delta t} + O$ برای اندازه های مختلف کالورت محاسبه می شود. نکته اینکه بایستی مقداری برای Δt فرض گردد. در این مثال این مقدار یک ساعت در نظر گرفته میشود. بعد از انجام این محاسبات مقدار

پارامتر $\frac{\tau S}{\Delta t} + O$ در مقابل O ترسیم می گردد (شکل ۱۱- ۵).

حال گام های زیر به منظور روندیابی هیدروگراف سیل ورودی بایستی طی گردد:

✓ یک مقدار اولیه برای O_1 فرض کنید (معمولاً معادل با جریان ورودی)

✓ از منحنی $\frac{\tau S}{\Delta t} + O$ در مقابل O مقدار O_1 را پیدا کنید.

✓ مقدار $O_1 - \frac{2S_1}{\Delta t}$ را از رابطه $\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1 - 2O_2$ بدست می آوریم.

✓ مقدار $O_2 + \frac{2S_2}{\Delta t}$ را از (رابطه ۱۱ - ۱۴) بدست آورید.

✓ از منحنی ترسیم شده و با استفاده از مقدار بدست آمده در مرحله قبلی مقدار O_2 را بدست آورید.

✓ به گام ۳ برگردید و با استفاده از مقدار $O_2 - \frac{2S_2}{\Delta t}$ مراحل را ادامه دهید تا روندیابی کامل گردد.

بعنوان نمونه روندیابی کالورت ۱ فوتی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۴-۱- روند یابی سیل برای مثال قبل برای کالورت ۱ فوتی

t	I	$\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1$	$\frac{2S_1}{\Delta t} - O_1$	$\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$	O_2 (از نمودار)
۰	۰	۰	۰	۲۰	۲۰
۱	۲۰	$\frac{2 * 778.0}{36.0} + 20 = 24.3$	$24.3 - 40 = -15.7$	$40 + 20 - 15.7 = 44.3$	۳۲.۵
۲	۴۰	۴۴.۳	$44.3 - 2 * 32.5 = -20.7$	$(60 + 40) - 20.7 = 79.3$	۶۰
۳	۶۰	۷۹.۳	$79.3 - 2 * 60 = -40.7$	$(40 + 60) - 40.7 = 59.3$	۴۲
۴	۴۰	۵۹.۳	$59.3 - 2 * 42 = -24.7$	$(40 + 20) - 24.7 = 35.3$	۲۸
۵	۲۰	۳۵.۳	$35.3 - 2 * 28 = -20.7$	$(20 + 0) - 20.7 = -0.7$	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰

فصل دوازدهم

آنالیز ریسک و تعیین دوره بازگشت

فصل دوازدهم: آنالیز ریسک و تعیین دوره بازگشت

۱۲-۱- مبانی و روش آنالیز

آنالیز ریسک اساس برآورد حداقل هزینه مورد انتظار (Least Total Expected Cost) یا همان LTEC به منظور طراحی سازه بدون آسیب می باشد. آنالیز ریسک اجازه آنالیز ضرر های اقتصادی براساس دوره بازگشت برای گزینه های مختلف طراحی را فراهم می نماید. این ضرر ها می تواند شامل خسارت به خاکریز ها، دارائی های مردم، آبشستگی یا آسیب به سازه های کنترل و هدایت سیلاب، ضرر های ناشی از اختلال در ترافیک و آسیب های انسانی باشد و به طوری کلی تمام ضررها بایستی در آنالیز ریسک دیده شود. خسارات ناشی از هر یک از بخش های فوق در اثر سیل را میتوان با استفاده از پرسش نامه یا مراجع مربوطه دریافت نمود. همچنین خسارت غیر مستقیم مانند در خطر افتادن مشاغل نیز بایستی در برآورد لحاظ گردد. جمع کل هزینه ها شامل هزینه ریسک اقتصادی، هزینه های ثابت و بهره برداری سالیانه می باشد که در اختیار داشتن این پارامتر برای تمام گزینه های طراحی به طراح اجازه انتخاب بهترین گزینه را می دهد. اگر بعد از بررسی های بعمل آمده و مدل سازی هیدرولیکی مشخص گردید که یکی از موارد زیر احتمال آسیب به آن وجود دارد بایستی آنالیز ریسک انجام گیرد:

الف- خطر قابل توجه برای مردم

ب- خطر قابل توجه به اموال مردم

با یک مثال موضوع فوق تشریح می گردد.

مثال: مطلوب است طراحی یک کالورت لوله ای برای یک بزرگراه دو خطه. طول کالورت ۱۰۰ فوت است. ترافیک متوسط

روزانه ۳۰۰۰ خودرو در روز، عمر مفید سازه ۳۵ سال می باشد.

بازه سیل استفاده شده در آنالیز در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۱۲-۱- مقادیر دبی در مقابل دوره بازگشت

دبی	احتمال	دوره بازگشت
۱۰۰	۰.۲	۵
۱۵۰	۰.۱	۱۰
۱۷۰	۰.۰۵	۲۰
۱۹۰	۰.۰۲۵	۴۰
۲۰۰	۰.۰۱۲۵	۸۰
۲۳۰	۰.۰۰۶۲۵	۱۶۰

گزینه های طراحی هم به صورت زیر می باشد:

کالورت به قطر های ۴۸-۵۴-۶۰-۶۶

هزینه های ناشی از اختلال در ترافیک و برگشت آب و خسارت به خاکریز ها مطابق با جدول زیر برآورد شد است:

جدول ۱۲-۲- هزینه های ناشی از اختلال در ترافیک و برگشت آب و خسارت به خاکریز ها

قطر	احتمال وقوع					
	۰.۲	۰.۱	۰.۰۵	۰.۰۲۵	۰.۰۱۲۵	۰.۰۰۶۲۵
۴۸	۰	۱۵۰	۳۷۵	۴۹۰	۶۵۰	۹۲۸
۵۴		۰	۱۰۵	۲۷۵	۴۶۰	۷۱۰
۶۰				۰	۱۵۹	۵۱۰
۶۶					۰	۲۴۸

هزینه های ثابت و متغیر سالیانه در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۱۲-۳- برآورد هزینه های اولیه، ثابت و متغیر برای هر کالورت با قطرهای مختلف

هزینه سالیانه کل	هزینه های متوسط بهره برداری	هزینه ثابت سالیانه	هزینه های ساخت کل	قطر لوله
۳۸۰	۲۵	۳۵۵	۴۰۹۰	۴۸
۴۸۳	۲۰	۴۶۳	۵۳۴۰	۵۴
۵۸۸	۱۵	۵۷۳	۶۶۰۰	۶۰
۷۳۲	۱۰	۷۲۲	۸۳۲۰	۶۶

هزینه های خطر سالیانه برای کالورت ۴۸ به صورت جدول زیر محاسبه می گردد:

جدول ۱۲-۴- برآورد هزینه های سالیانه کالورت ۴۸ اینچ

ریسک سالیانه	اختلاف احتمال	متوسط زیان	زیان اقتصادی	احتمال	دبی
			۰	۰.۲	۱۰۰
۷.۵	۰.۱	۷۵			
			۱۵۰	۰.۱	۱۵۰
۱۳.۱۳	۰.۰۵	۲۶۲.۵			
			۳۷۵	۰.۰۵	۱۷۰
۱۰.۸۱	۰.۰۲۵	۴۳۲.۵			
			۴۹۰	۰.۰۲۵	۱۹۰
۷.۱۲۵	۰.۰۱۲۵	۵۷۰			
			۶۵۰	۰.۰۱۲۵	۲۰۰
۴.۹۳	۰.۰۰۶۲۵	۷۸۹			
			۹۲۸	۰.۰۰۶۲۵	۲۳۰
۵.۸	۰.۰۰۶۲۵	۹۲۸			
			۹۲۸	۰	

$$Risk = 7.5 + 13.13 + 10.81 + 7.13 + 4.93 + 5.8 = 49.30$$

هزینه مورد انتظار کل (Total Expected Cost) یا TEC برای کالورت ۴۸ اینچ برابر با مجموع هزینه ریسک سالیانه و هزینه ثابت و متغیر سالیانه می باشد. این محاسبات در جدول زیر برای سایر کالورت ها با قطرهای دیگر نیز ارائه شده است:

جدول ۱۲-۵- برآورد هزینه های سالیانه برای کالورت با اندازه های مختلف

هزینه مورد انتظار کل	هزینه ریسک سالیانه	هزینه اصلی سالیانه	قطر
۴۲۹.۳	۴۹.۳	۳۸۰	۴۸
۵۰۳.۰۷	۲۰.۰۷	۴۸۳	۵۴
۵۹۴.۲۸	۶.۲۸	۵۸۸	۶۰
۷۳۴.۳۲	۲.۳۲	۷۳۲	۶۶

محاسبات بالا با این فرض بود که سازه هیدرولیکی بر اثر سیل تخریب نگردد در غیر این صورت هزینه ساخت مجدد سازه را بایستی مد نظر قرار گیرد. تخریب سازه مطابق با محاسبات برای دبی ۱۹۰ فوت مکعب بر ثانیه و بیشتر اتفاق خواهد (جدول ۱۲-۶) افتاد لذا برآورد ها مطابق با جدول زیر تغییر خواهد کرد:

جدول ۱۲-۶- برآورد هزینه های سالیانه برای کالورت ۴۸ با اندازه های مختلف با فرض تخریب سازه در صورت

رخداد سیل

ریسک سالیانه	اختلاف احتمال	متوسط زیان	زیان	احتمال	دبی
			۰	۰.۲	۱۰۰
۷.۵	۰.۱	۷۵			
			۱۵۰	۰.۱	۱۵۰
۱۳.۱۳	۰.۰۵	۲۶۲.۵			
			۳۷۵	۰.۰۵	۱۷۰
۶۱.۹۳	۰.۰۲۵	۲۴۷۷.۵			
			$۴۰۹۰ + ۴۹۰ = ۴۵۸۰$	۰.۰۰۲۵	۱۹۰
۵۸.۲۵	۰.۰۱۲۵	۴۶۶۰			
			$۴۰۹۰ + ۶۵۰ = ۴۷۴۰$	۰.۰۱۲۵	۲۰۰
۳۰.۴۹	۰.۰۰۶۲۵	۴۸۷۹			
			$۴۰۹۰ + ۹۲۸ = ۵۰۱۸$	۰.۰۰۶۲۵	۲۳۰
۳۱.۳۶	۰.۰۰۶۲۵	۵۰۱۸			
			۵۰۱۸	۰	

$$Risk = ۷.۵ + ۱۳.۱۳ + ۶۱.۹۳ + ۵۸.۲۵ + ۳۰.۴۹ + ۳۱.۳۶ = ۲۰۲.۶۶$$

با فرض تخریب سازه هیدرولیکی مجموع هزینه مورد انتظار (TEC) برای گزینه های مختلف طراحی به صورت جدول زیر خواهد بود:

جدول ۱۲-۷- برآورد خسارت قبل از توسعه بدون ایجاد سازه های کنترل و هدایت سیل

هزینه مورد انتظار کل	هزینه ریسک سالیانه	هزینه اصلی سالیانه	قطر
۵۸۲.۶۶	۲۰۲.۶۶	۳۸۰	۴۸
۵۰۳.۰۷	۲۰.۰۷	۴۸۳	۵۴
۵۹۴.۲۸	۶.۲۸	۵۸۸	۶۰
۷۳۴.۳۲	۲.۳۲	۷۳۲	۶۶

با توجه به محاسبات انجام شده کالورت با سایز ۵۴ اینچ گزینه بهینه برای این پروژه خواهد بود.

با توجه به گسترش شهرسازی و تغییرات در کاربری اراضی به منظور تعیین دوره بازگشت طراحی لازم است تا اثرات این تغییرات در قالب برآورد های مالی و آنالیز ریسک دیده شود. لذا تعیین دوره بازگشت در هر پروژه ای بایستی براساس روش گفته شده در این نشریه که در قالب مثالی تشریح گردید محاسبه شود.

فصل سیزدهم

استفاده از الگوریتم های یادگیری

ماشین

۱۲- فصل سیزدهم: استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین

۱۳-۱- مبانی و الگوریتم های مورد استفاده در یادگیری ماشین

به طور کلی، مدل سازی فرآیند-محور سعی می کند رفتار مشاهده شده را توضیح دهد و می تواند به عنوان یک رویکرد از پایین به بالا توصیف شود که در آن پدیده های سطح بالاتر (مانند رواناب از یک حوضه) از طریق فرآیندهایی در سطح پایین تر (انتقال آب از طریق خاک) توضیح داده می شوند. روش دیگر، یک رویکرد داده گرا به دنبال شناسایی و توصیف الگوها در مجموعه داده های هیدرولوژیکی تک متغیره یا چند متغیره است، سعی می کند آنها را تعمیم دهد، و سپس پیش بینی هایی را در مورد وضعیت سیستم انجام می دهد. در سال های اخیر استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در زمینه پیش بینی های سیل و بارندگی و یا مدیریت رواناب های سطحی در حال گسترش بوده و بزودی به طور کامل جایگزین بسیاری از روش های سنتی و تجربی خواهد شد. نتایج بسیاری از تحقیقات نشان از آن دارد که به کارگیری روش های نوین نتایج و پیش بینی ها و عملکرد بهتری نسبت به روش های تجربی دارد. روش های فرآیند محور و داده محور به تنهایی کامل نبوده اما در ترکیب با یکدیگر می توانند پتانسیل بزرگی برای مدلسازی هیدرولوژیکی فراهم نمایند. این الگوریتم ها به دو بخش با نظارت و بدون نظارت تقسیم بندی می شوند. روش های مورد استفاده در الگوریتم های با نظارت سری داده هایی را در بر میگیرند که دارای لیبل و نتیجه می باشند. بعنوان مثال الگوریتمی را در نظر بگیرید که قرار است سیل هایی که ایجاد خسارت را می نماید را پیش بینی کند. اگر داده های ورودی به مدل برای آموزش آن دارای برچسب یا نتیجه باشد یعنی مشخص شده باشد که سیل ها خسارت ایجاد کرده اند یا خیر آنگاه با استفاده از الگوریتم های با نظارت این پیش بینی انجام خواهد شد در غیر این صورت با مسئله و روش حل های بدون نظارت روبرو خواهیم بود. استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین (Machine Learning به اختصار ML) شامل پیش پردازش داده ها، آموزش (Train) و تست (Test) می باشد. در این بخش به بیان الگوریتم ها و روش انجام کار پرداخت می شود. در هر مرحله ای از مطالعات که داده های کافی بدین منظور وجود داشته باشد مشاور طراح بایستی این اطلاعات را از سازمان های مربوطه دریافت و پیش بینی و تخمین مقادیر هیدرولوژیکی را با این روش یا در ترکیب با روش های

تجربی و سنتی انجام دهد. استفاده از یادگیری ماشین می تواند در پیش بینی بارندگی، سیل یا خسارت ناشی از آن و به طور ویژه برای محاسبه میزان رسوب در صورت در اختیار داشتن آمار مورد و . همچنین در کالیبره کردن ضرایب می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

الگوریتم های مطرح در یادگیری ماشین به شرح زیر می باشد:

a- رگرسیون خطی (Linear Regression)

b- رگرسیون لجستیک (Logistic Regression)

c- k نزدیکترین همسایه (K-neighbors)

d- درخت تصمیم (Decision Tree)

e- جنگل تصادفی (Random Forest)

f- ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine)

g- آدوبوست (AdaBoost)

h- لاسو (Lasso)

✓ شبکه های عصبی (Neural Network)

✓ K-means (Unsupervised)

✓ DBSCAN (Unsupervised)

✓ پیش پردازش داده ها

قبل از پیاده سازی و تشریح الگوریتم های فوق لازم است تا پیش پردازش داده ها (preprocessing) انجام شود. در پیش پردازش داده ها بایستی فرایندها مطابق آنچه که در ادامه تشریح می گردد صورت پذیرد. فرض کنید اطلاعات در قالب یک فایل با پسوند csv در اختیار طراح قرار گرفته است.

✓ در ابتدای کار این اطلاعات در یک فرم اطلاعاتی (Data Frame) در محیط python ذخیره می شود.

```
import pandas as pd
```

```
df = pd.read_csv( " copy of the address file/filename.csv")
```

✓ اطلاعات کلی از df ایجاد شده با دستورات زیر استخراج می گردد:

```
df.describe( )
```

```
df.info()
```

✓ با استفاده از دستور زیر مقادیر Null در جامعه آماری برای هر ستون از داده ها شناسایی می شوند:

```
df.isnull( ).sum()
```

الگوریتم های مورد استفاده در ماشین لرنینگ تنها با داده با فرمت number آنالیز ها را انجام می دهند لذا بایستی

داده های از نوع string به float یا integer تبدیل شوند. بدین منظور از دو دستور زیر میتوان استفاده نمود:

```
df['A'] = df.A.apply(['a','b','c','d'].index)
```

```
df['Ap'] = pd.get_dummies(df['A'])
```

در مثال فوق حروف a تا d رشته هایی هستند که در ستون A از دیتا فریم df بایستی به عدد تبدیل شوند.

برای دریافت اطلاعات کلی از سری داده های میتوان با استفاده از رسم نمودار متغیر ها نسبت به یکدیگر (میزان ارتباطات

هر متغیر با دیگری را استخراج کرد که این فرآیند می تواند در تعیین ورودی ها به الگوریتم های یادگیری ماشین و یا

حذف آن ها موثر باشد. برخی از نمودار های پر کاربرد به شرح شکل ۱۳- ۱۱ الی شکل ۱۳- ۶ و کدهای دستوری زیر می باشند:

```
import seaborn as sns
```

```
sns.scatterplot(data = df, x = ' A', y = ' B', size = ۲, hue = ' c')
```

```
sns.boxplot ( data = df , x = ' A', y = ' B', hue = ' c')
```

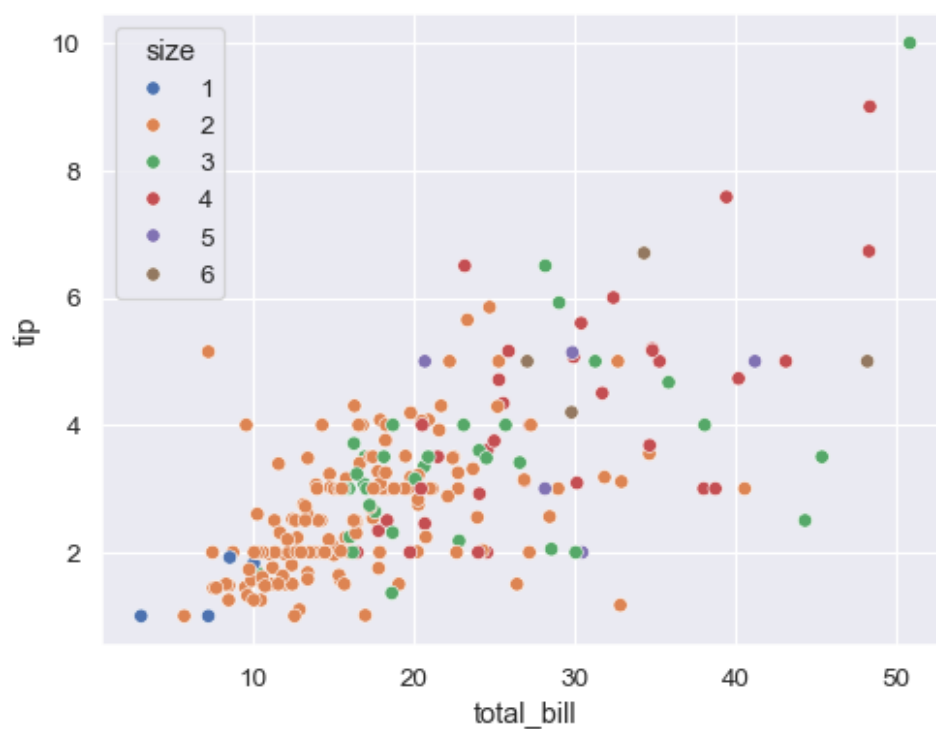
```
sns.countplot(df, x = ' A', hue = ' B')
```

```
sns.histplot(data = df , x = ' A')
```

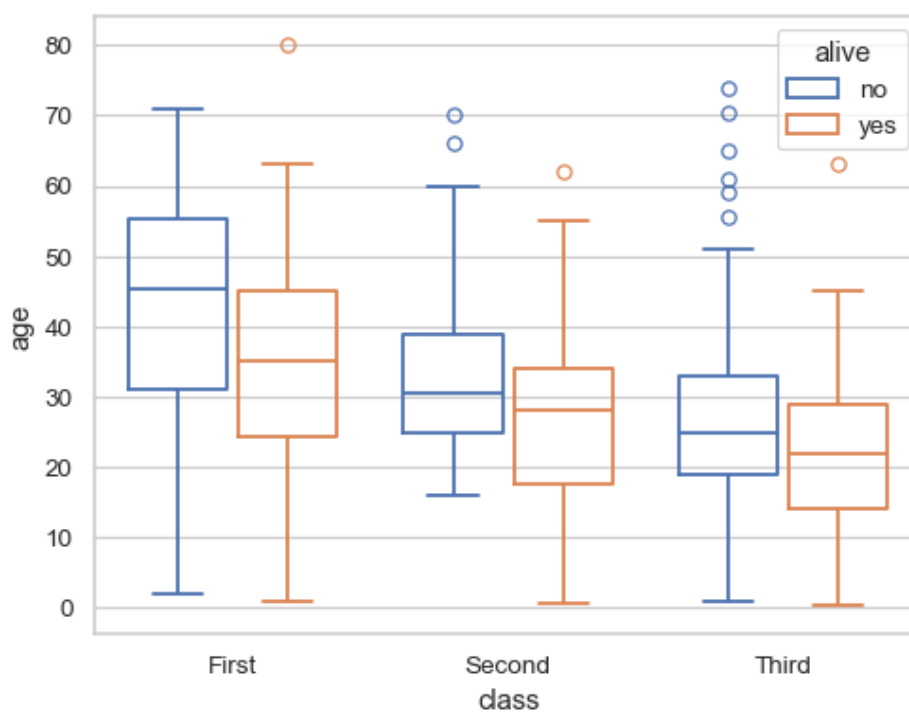
```
df.hist(columns = ' ph', by = ' potability')
```

```
sns.heatmap(df.A.corr( ), annot = True)
```

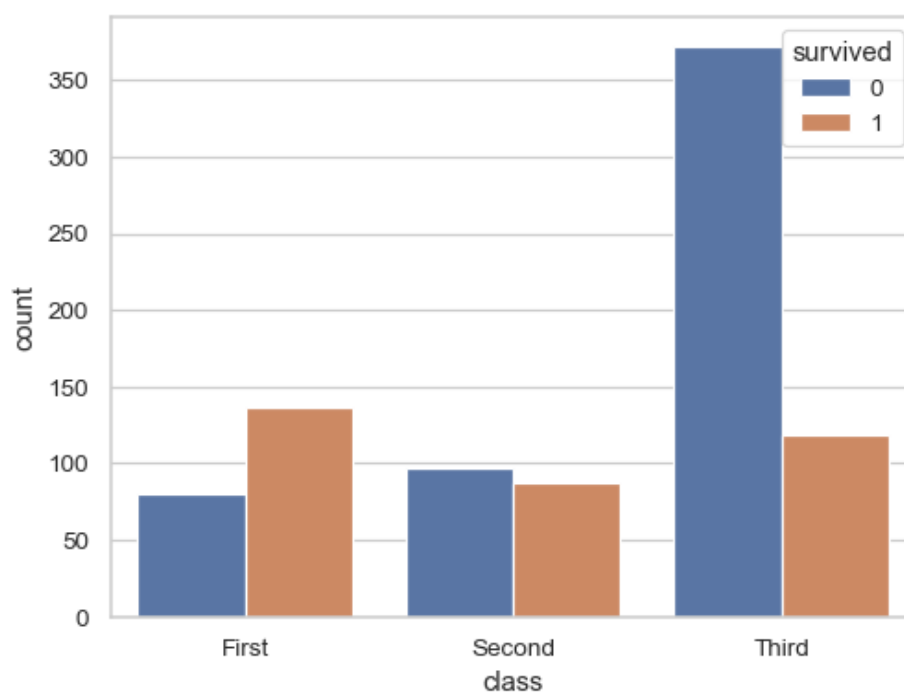
```
sns.pairplot(df, hue=' A')
```



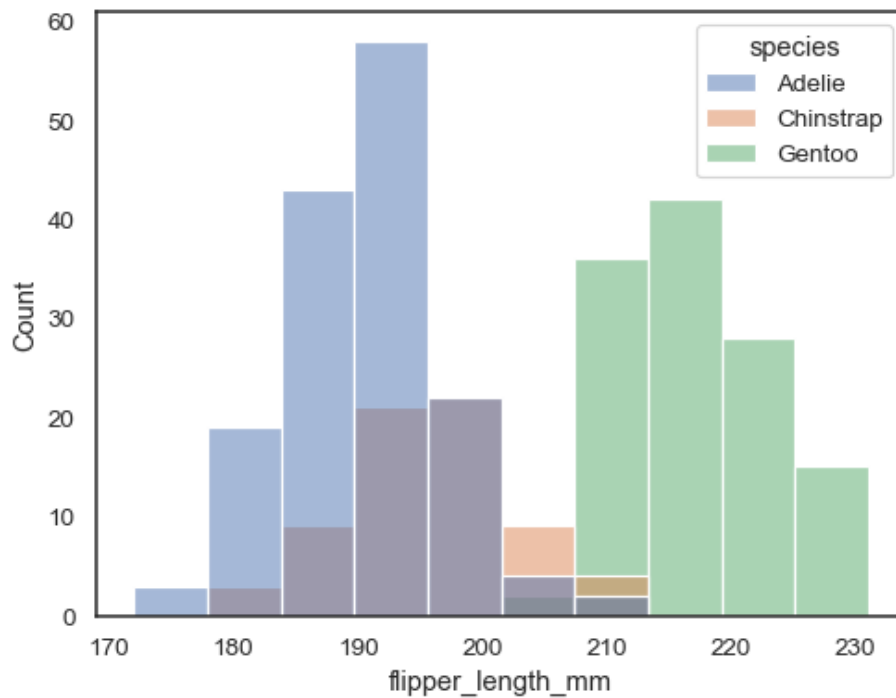
شکل ۱۳-۱- نمونه ای از scatterplot رسم شده در python



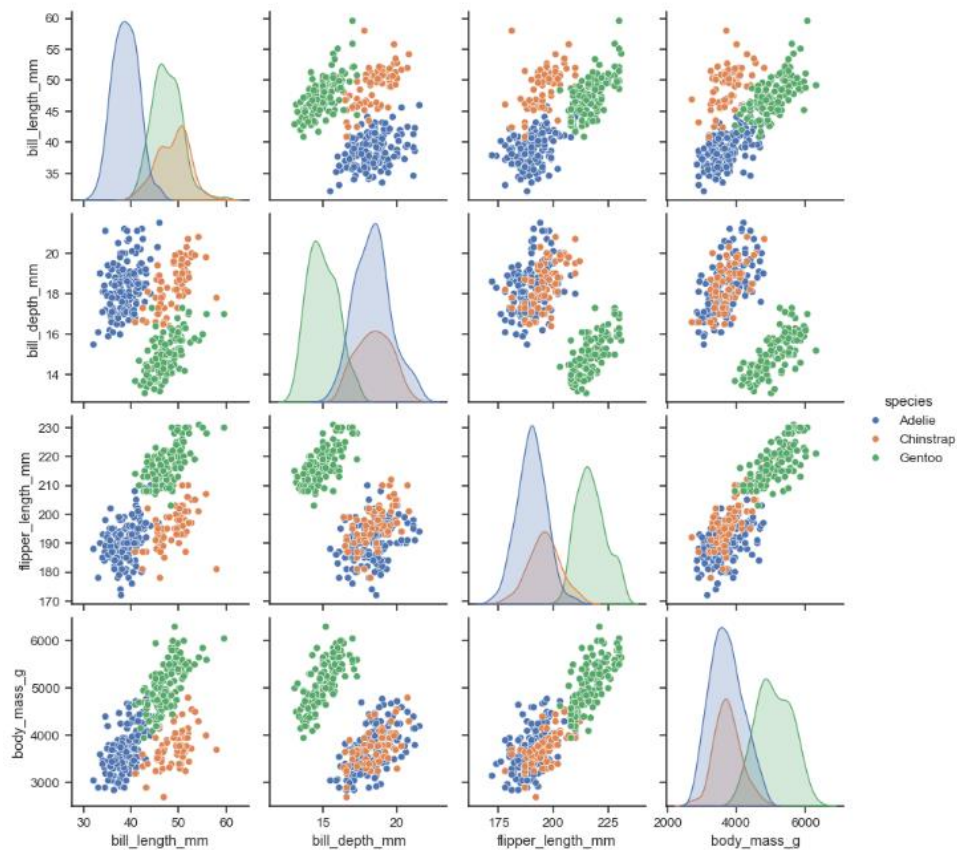
شکل ۱۳-۲- نمونه ای از boxplot رسم شده در python



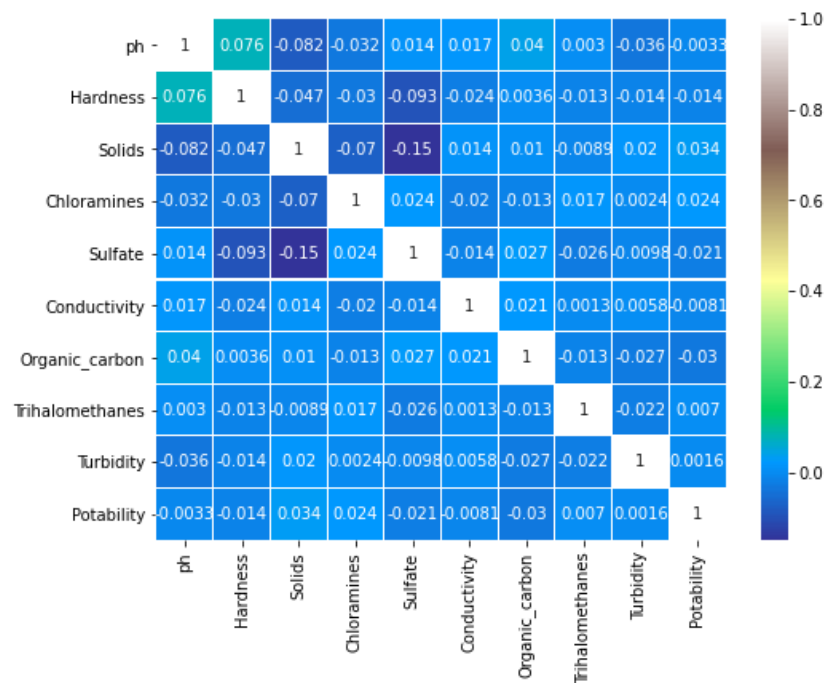
شکل ۱۳-۳ - نمونه ای از countplot رسم شده در python



شکل ۱۳-۴ - نمونه ای از histplot رسم شده در python



شکل ۱۳-۵- نمونه ای از pairplot رسم شده در python



شکل ۱۳-۶- نمونه ای از heatmap رسم شده در python برای پایش کرلیشن بین متغیر ها

همچنین با دستور زیر میتوان تعدا تکرار یک متغیر در یک ستون آگاهی پیدا کرد:

```
df.value_counts( )
```

دستور زیر به شما می گوید در یک ستون چه متغیر هایی وجود دارند:

```
df['A'].unique()
```

در برخی از داده ها اعداد ستون های مختلف در رنج های بسیار متفاوتی با یکدیگر قرار دارند لذا توصیه می گردد که

مقادیر آن ها نرمالیزه شوند. این عملیات در python با دستور زیر انجام می شود:

```
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
```

```
sc = StandardScaler( )
```

```
xp = sc.fit_transform(x)
```

به منظور پر کردن مقادیر Null میتوان از دستور زیر استفاده نمود:

```
df.fillna(df.mean( ), inplace = True )
```

برای مشاهده ردیف های ابتدایی و انتهایی df به صورت زیر عمل می گردد:

```
df.head( )
```

```
df.tail( )
```

در ادامه این بخش به تشریح برخی از الگوریتم ها پرداخته می شود.

✓ رگرسیون خطی

این الگوریتم را میتوان با ارائه رابطه خطی زیر که اساس استفاده از این الگوریتم می باشد توضیح داد :

$$h_{\theta}(x) = \theta_0 + \theta_1 x + \dots \theta_n x$$

در واقع یک رابطه خطی میان ورودی و خروجی اساس این روش می باشد. بدین منظور لازم است تابع هزینه به فرم زیر

مینیم گردد:

$$J(\theta_0, \theta_1) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (h_{\theta}(x_i) - y_i)^2$$

به منظور استفاده از این الگوریتم در یادگیری ماشین از دستور زیر استفاده می گردد:

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression
```

```

from sklearn.model_selection import train_test_split
xtrain,xtest,ytrain,ytest = train_test_split (X,Y,test_size = ۰.۳,random_state = ۴۲)
LR = LinearRegression( )
LR.fit(xtrain,ytrain)
predeiction = LR.predict(xtest)

```

برای پیش بینی تنها برای یک نمونه از دستور زیر استفاده می شود:

```
LR.predict([xtest.iloc[۱]])
```

✓ رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک یکی دیگر از الگوریتم های با نظارت قدرتمند در بحث یادگیری ماشین می باشد. این الگوریتم برای کلاس بندی مسائل باینری استفاده از یک تابع لجستیک به منظور دسته بندی استفاده می نماید. اختلاف اساسی رگرسیون لجستیک با خطی در خروجی آن است که محدود به اعداد ۰ و ۱ می باشد. همچنین برخلاف رگرسیون خطی نیاز به تشکیل رابطه خطی میان ورودی و خروجی نیست. مدل کردن مقادیر پیوسته در مقابل مقادیر گسسته یکی از کاربرد های این الگوریتم می باشد تابع لجستیک به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\text{logistic function} = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

در ML به منظور فراخوانی این الگوریتم از دستور زیر استفاده می شود:

```

from sklearn.linear_model import LogisticRegression
LR = LogisticRegression( penalty='l۱' or 'l۲', tol = ۰.۰۰۱, c
= ۱۰, solver='lbfgs', max_iter = ۱۰۰)

```

سایر مراحل همانند آنچه که برای رگرسیون خطی گفته شد برای این الگوریتم ها صادق است. در ادامه توضیحاتی در مورد پارامتر های مورد استفاده در این الگوریتم ارائه می گردد:

ترم *penalty*: این پارامتر به منظور جلوگیری از سرریز (*overfitting*) مدل استفاده می گردد و این اتفاق زمانی رخ می دهد که مدل بسیار پیچیده و داده ها همراه با نویز باشد. این عامل باعث می گردد پیش بینی داده های تست یا داده های جدید ضعیف باشد.

tol: تعیین عددی برای متوقف کردن دسته بندی (*tolerance*)

C: مقادیر بالای این پارامتر وزن بالایی را به داده های آموزشی و وزن پایین را به جریمه ناشی از پیچیدگی مدل می دهد. مقادیر پایین C به ما میگوید که داده های آموزشی بسیار قابل اعتماد می باشند در حالی که مقادیر پایین C بیانگر این می باشد که ممکن است این داده ها بیانگر وضعیت واقعی پروژه ها نباشند.

Solver: شامل چهار روش حل به ترتیب زیر می باشد:

(a) Sgd: این روش پارامتر ها را براساس گرادیان تابع هزینه آپدیت می کند. این روش برای داده های بزرگ موثر می باشد. اما برای استفاده بهینه از این روش نیاز به تنظیم دقیق سایر پارامتر ها می باشد.

(b) Lbfgs: این روش با استفاده از تخمین مارتریس هشین تابع هزینه برای بروز رسانی پارامتر ها استفاده می کند. این روش با توجه به درگیر شدن حافظه برای داده های بزرگ مناسب نیست.

(c) Sag: این روش بیشتر برای رگرسیون خطی مناسب می باشد و پارامتر ها براساس متوسط گرادیان هر داده بروز رسانی می شود. این روش برای داده های بزرگ مناسب می باشد و ممکن است به تلاش های بیشتری برای همگرایی نیاز داشته باشد.

(d) Saga: این روش حل یک زیر مجموعه از sag می باشد که همانند روش sag عمل کرده تنها با این تفاوت که از یک ترم تصحیح برای همگرایی بهتر استفاده می نماید.

Max_iter: تعداد سعی و خطالهای حداکثر را مشخص می نماید.

✓ الگوریتم K نزدیکترین همسایه (K-neighbors - knn)

این الگوریتم برای مسائل طبقه بندی و رگرسیون استفاده می گردد اگر چه از این الگوریتم بیشتر در مسائل طبقه بندی استفاده خواهد شد. از Knn بعنوان یادگیر مبتنی بر نمونه یا یادگیر تنبل هم یاد می شود. این الگوریتم با اکثریت آرا نزدیکترین همسایگان، کلاس را پیش بینی می کند. برای تعیین k پیشنهاد شده است که جذر تعداد کل داده ها بعنوان مقدار K لحاظ گردد.

```
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
```

```
from sklearn.neighbors import KNeighborsRegressor
```

```
KN = KNeighborsClassifier ( n_neighbors = ۲, weight = 'uniform')
```

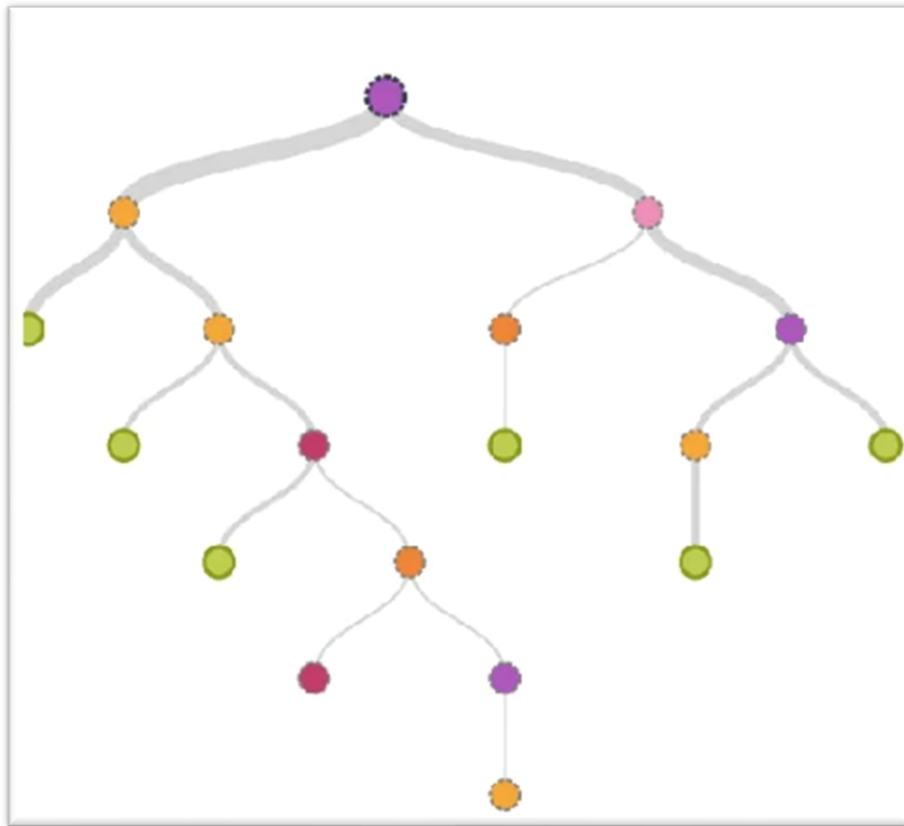
در این الگوریتم:

n_neighbors تعداد همسایه ها را مشخص می نماید.

Weight: مشخص کننده وزن تخصیص داده شده به هر همسایه می باشد به طوری که اگر این پارامتر uniform باشد وزن تمام همسایه ها یکسان در نظر گرفته می شود. در صورتی که این پارامتر distance لحاظ گردد وزن هر همسایه برابر با عکس فاصله آن ها خواهد بود.

✓ درخت تصمیم

درخت تصمیم (Decision Tree) یک الگوریتم یادگیری ماشین است که به صورت گسترده در مسائل دسته بندی و پیش بینی استفاده می شود. در این الگوریتم، برای هر نمونه از داده های ورودی، یک درخت تصمیم ساخته می شود که به صورت سلسله مراتبی شامل گره های تصمیم (Decision Node) و گره های برگ (Leaf Node) است (شکل ۱۳-۷). گره های تصمیم مربوط به تصمیم گیری هستند که با بررسی یک ویژگی از داده ها، به یک شاخه از درخت می روند. گره های برگ شامل برچسب یا خروجی نهایی هستند که توسط درخت تصمیم برای هر نمونه از داده های ورودی پیش بینی می شود.



شکل ۱۳-۷- نمایش شماتیک الگوریتم درخت تصمیم

در این الگوریتم میتوان از داده های عددی و دسته بندی شده استفاده نمود. الگوریتم درخت تصمیم می تواند درخت بسیار پیچیده ای تولید کند که باعث ایجاد overfitting گردد. این مشکل میتواند بوسیله استفاده از درخت های تصمیم در قالب یک مجموعه (ensemble) حل شود.

```
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor
DTM = DecisionTreeClassifier ( critertion =' gini'or 'gain', max _depth
= ۳۳ ,max_leaf_nodes = 3 )
```

انتخاب گره در حالت رگرسیون (regressor) با توجه به معیار های “squared_ error” (میانگین توان دوم اختلاف میان مقدار مشاهده شده و تخمین زده شده) یا “absolute_ error” (اختلاف مطلق اختلاف میان مقدار مشاهده شده و تخمین زده شده بدون توجه به علامت آن) یا “poison” (توزیع پواسون) می باشد.

انتخاب گره در این الگوریتم به حالت کلاس بندی با استفاده از ضریب Gain یا ضریب Gini بدست می آید. ضریب Gini با استفاده از رابطه زیر تعریف می گردد:

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum \frac{DS_V}{DS} Entropy(s|label)$$

پارامتر DS تعداد کل حالت های مربوط به ستون S و DS_V مربوط به تعداد داده های یکی از حالت های ستون S است. $Entropy$ به نام مقدار ناخالص یک گره تعریف می گردد که با استفاده از رابطه زیر تعریف می شود:

$$Entropy(S) = \sum_i^c -P_i \log_2 P_i$$

در رابطه فوق پارامتر S ستونی از داده ها می باشد که بعنوان گره در نظر گرفته می شود. پارامتر C تمام حالت های ممکن برای ستون S به شرط انجام شدن یا نشدن است. با یک مثال روابط فوق را توضیح بیشتری می دهیم: فرض کنید در یک بازی تنیس داده های مطابق با جدول زیر در اختیار باشد:

جدول ۱۳-۱- داده های مربوط به شرایط آب و هوایی برای برگزاری یا عدم برگزاری یک بازی تنیس

Action	Wind	Temp	Humidity
play	weak	mild	M
play	weak	cold	M
stop	strong	cold	M
play	weak	warm	M
stop	weak	warm	high
play	weak	mild	low
play	strong	mild	high

میخواهیم با توجه به ستون Wind و با در نظر گرفتن برچسب های مربوط به ستون Action ضریب Gain را محاسبه نماییم. این مسئله مربوط به پیش بینی این موضوع می باشد که با شرایط مختلف آب و هوایی بازی برگزار می گردد یا خیر. در این مسئله ۷ داده وجود دارد که از این تعداد، ۵ بازی برگزار شده و دو بازی هم متوقف شده است. بنابراین داریم:

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum \frac{DS_V}{DS} Entropy(s|label)$$

$$Entropy(S) = \sum_i^c -P_i \log_2 P_i = -\frac{5}{7} \log_2 \frac{5}{7} - \frac{2}{7} \log_2 \frac{2}{7} = 0.6$$

در این مسئله ستون Wind دارای دو حالت *Weak* و *Strong* می باشد. که از ۵ حالت *Weak* تنها یک حالت بازی برگزار نشده و از ۲ حالت *Strong* یک بازی انجام و دیگری متوقف شده است. با توجه به این اطلاعات خواهیم داشت:

$$Entropy(s|weak) = -\frac{4}{5} \log_2 \frac{4}{5} - \frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{5} = 0.5$$

$$Entropy(s|weak) = -\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} = 0.9$$

با جایگذاری در رابطه اول خواهیم داشت:

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum \frac{DS_v}{DS} Entropy(s|label) = 0.6 - (\frac{5}{7} \times 0.5 + \frac{2}{7} \times 0.9) \cong 0$$

اگر همین عملیات را برای ستون های دیگر تکرار کنیم هر ستونی که Gain بیشتری داشته باشد در راس درخت قرار خواهد گرفت و شکست براساس آن انجام خواهد گرفت. ضریب دیگری که در این انتخاب به کار می رود ضریب Gini می باشد. این ضریب به صورت زیر تعریف می گردد:

$$Gini = 1 - \sum_{i=1}^c P_i^2$$

$$Ginisplit(A) = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{n} Gini$$

هر مقدار ضریب Gini مربوط به به یک ستون کمتر باشد شکست براساس آن انجام خواهد شد. مثال * مطابق با

جدول ۱۳-۲ نحوه محاسبه این پارامتر را بخوبی تشریح خواهد کرد:

جدول ۱۳-۲- داده های مربوط به مثال *

X	Y	Class
۱	۳	T
۱	۳	T
۱	۳	T
۱	۴	F
۲	۴	T
۲	۴	T
۲	۴	T
۲	۴	T
۲	۴	F

$$Gini(1) = 1 - \sum_{i=1}^c P_i^2 = 1 - \left(\frac{3}{4}\right)^2 - \left(\frac{1}{4}\right)^2 = 0.375$$

$$Gini(2) = 1 - \sum_{i=1}^c P_i^2 = 1 - \left(\frac{1}{5}\right)^2 - \left(\frac{4}{5}\right)^2 = 0.32$$

$$Ginisplit(A) = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{n} Gini = \frac{4}{9} Gini(1) + \frac{5}{9} Gini(2) = 0.34$$

برای ستون Y هم به همین ترتیب محاسبات را انجام می شود و در نهایت هر کدام که ضریب $Ginisplit$ کمتری داشت شکست بر اساس آن انجام خواهد شد.

✓ الگوریتم Random Forest

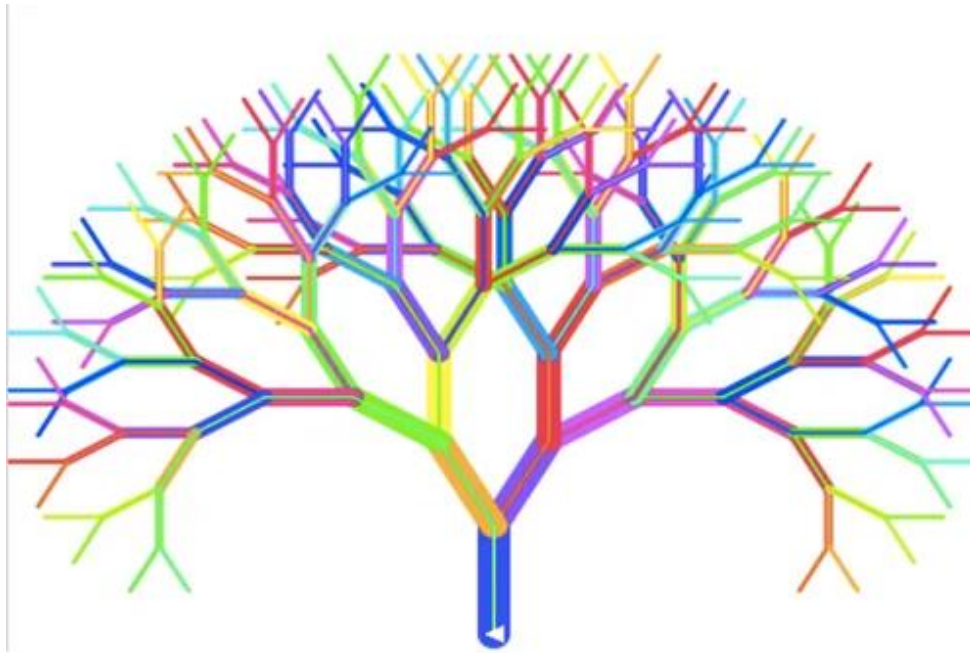
جنگل تصادفی (Random Forest)، یک الگوریتم یادگیری ماشین با قابلیت استفاده آسان است که اغلب اوقات نتایج بسیار خوبی را حتی بدون تنظیم فرابارامترهای آن، فراهم می کند. این الگوریتم به دلیل سادگی و قابلیت استفاده، هم برای دسته بندی (Classification) و هم رگرسیون (Regression)، یکی از پر کاربردترین الگوریتم های یادگیری ماشین محسوب می شود. جنگل تصادفی یک الگوریتم یادگیری نظارت شده محسوب می شود. همانطور که از نام آن مشهود است، این الگوریتم جنگلی را به طور تصادفی می سازد. «جنگل» ساخته شده، در واقع گروهی از درخت های تصمیم است (شکل ۱۳-۸).

کار ساخت جنگل با استفاده از درخت ها اغلب اوقات به روش کیسه گذاری (Bagging) انجام می شود. ایده اصلی روش کیسه گذاری آن است که ترکیبی از مدل های یادگیری، نتایج کلی مدل را افزایش می دهد. به بیان ساده، جنگل تصادفی چندین درخت تصمیم ساخته و آن ها را با یکدیگر ادغام می کند تا پیش بینی های صحیح تر و پایدارتری حاصل شوند. به طور کلی، آموزش دادن این الگوریتم ها سریع انجام می شود، اما پیش بینی کردن پس از آنکه مدل آموزش دید، اندکی کند به وقوع می پیوندد. یک پیش بینی صحیح تر نیازمند درختان بیشتری است که منجر به کندتر شدن مدل نیز می شود. در اغلب کاربردهای جهان واقعی، الگوریتم جنگل تصادفی به اندازه کافی سریع عمل می کند، اما امکان دارد شرایطی نیز وجود داشته باشد که در آن کارایی زمان اجرا حائز اهمیت است و دیگر رویکردها ترجیح داده می شوند. برای فراخواندن این الگوریتم در پایتون از دستور های زیر استفاده می گردد:


```

from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
RFC = RandomForestClassifier (n_estimator = ۵, max _depth = ۲, random_state
= ۴۲ , criterion = 'gini')

```



شکل ۱۳-۸- نمایش شماتیک الگوریتم جنگل تصادفی

$n_estimator$: تعداد درختانی است که الگوریتم پیش از دریافت آرای بیشینه یا دریافت میانگین پیش بینی ها می سازد. به طور کلی، تعداد بیشتر درخت ها، کارایی را افزایش می دهند و پیش بینی ها را پایدارتر می سازند، اما محاسبات را کندتر می کنند.

max_depth : ماکزیمم عمق و شاخه های درخت

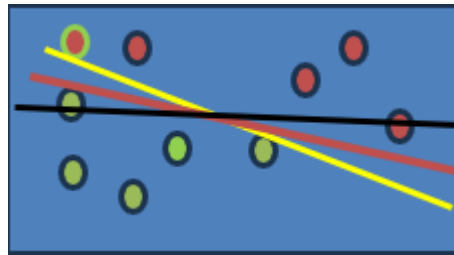
$criterion$, همان هست که در *DecisionTree* توضیح داده شد (برای classifier ضرایب gini و gain و برای

regressor استفاده از squared error یا absolute error)

✓ ماشین بردار پشتیبان

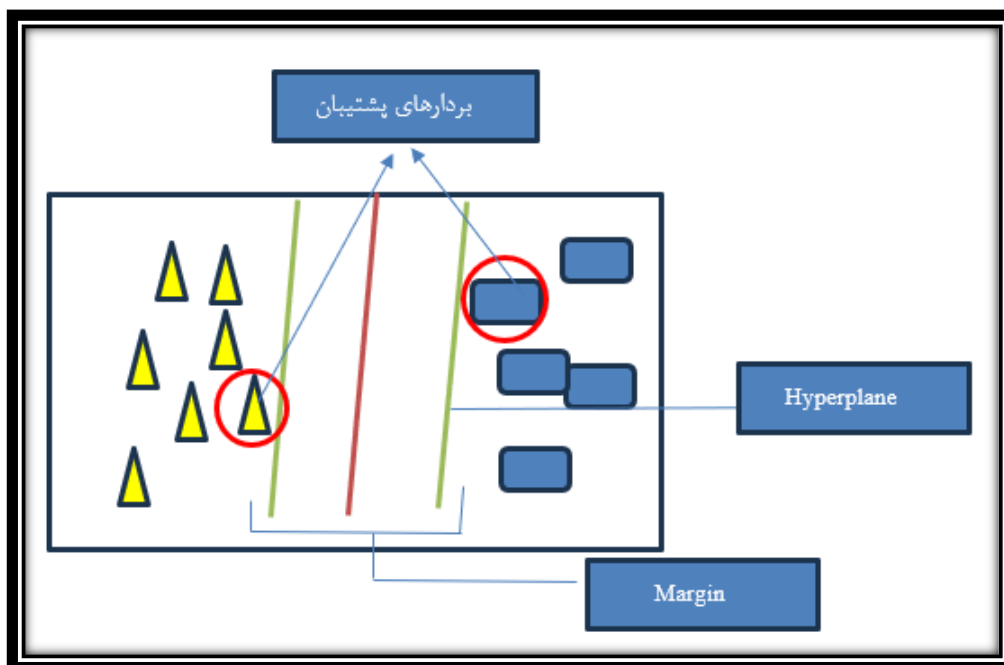
ماشین بردار پشتیبان یکی از الگوریتم های نظارت شده یادگیری ماشین است. بسیاری از افراد در ابتدا هنگامی که نام این الگوریتم را می شنوند تصور می کنند با یک الگوریتم بسیار پیچیده مواجه هستند که درک آن دشوار است. این در حالی

است که خوشبختانه با خواندن چند نوشتار می توان این الگوریتم را به خوبی درک کرد. فرض کنید یک سری داده مطابق با شکل ۱۳-۹ در دسترس می باشد.



شکل ۱۳-۹- نمایش شماتیک الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

فرض کنید قرار است تا دایره های سبز رنگ و قرمز را را بوسیله یک از یکدیگر جدا شوند. در این صورت سوال این است که کدام خط بهترین شرایط را برای این جداسازی خواهد داشت. وظیفه الگوریتم ماشین بردار پشتیبان پیدا کردن این خط می باشد. اصل اساسی ماشین بردار پشتیبان این است که یک هایپرپلین ترسیم کنیم (شکل ۱۳-۱۰) که دو کلاس را به بهترین شکل از یکدیگر جدا کند.



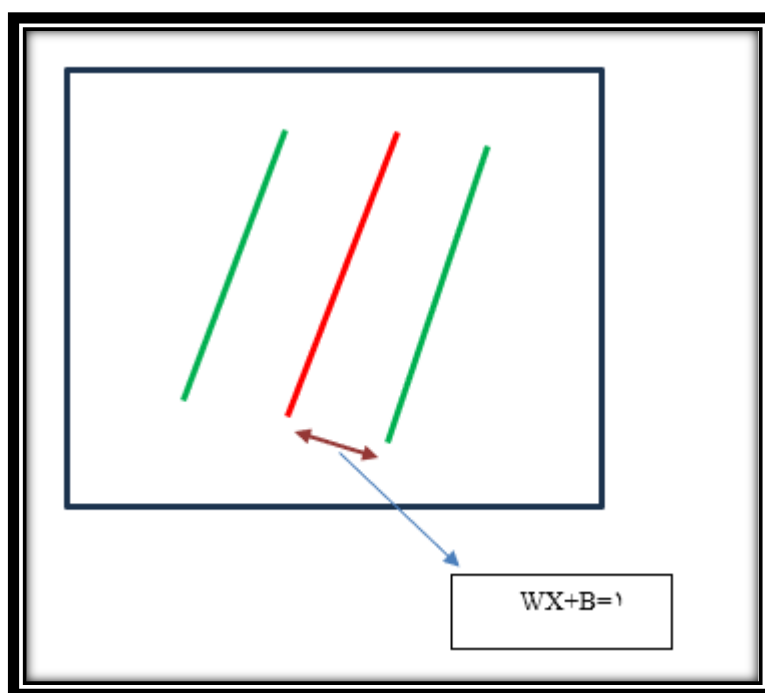
شکل ۱۳-۱۰- نمایش شماتیک الگوریتم تک لایه شبکه عصبی

نقاط داده نزدیک به هایپرپلین بردارهای پشتیبان (Support Vectors) نامیده می شوند؛ به همین دلیل است که به این الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) گفته می شود. اساساً هایپرپلین براساس این بردارهای پشتیبان ترسیم می شود.

به طور معمول هایپرپلینی که بیشترین فاصله از بردارهای پشتیبان را داشته باشد بهینه ترین هایپرپلین است. این فاصله ی میان هایپرپلین و بردارهای پشتیبان حاشیه (Margin) نامیده می شود.

در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای اینکه بتوان از دسته بندی خطی برای داده های غیر خطی استفاده کرد میتوان داده ها را به فضایی با ابعاد بزرگتر نگاشت کرد که توسط یک ابر صفحه به صورت خطی قابل تفکیک هستند که به آن حقه ی کرنل گفته می شود. کرنل های معروف شامل کرنل چند جمله ای (poly)، کرنل گوسی (rbf)، کرنل سیگموند (sigmoid)، تانژانت هایپربولیک (tanh) و خطی (linear) می باشد.

الگوریتم دیگر از این الگوریتم، ماشین بردار پشتیبان با حاشیه نرم می باشد. در ماشین بردار پشتیبان با حاشیه سخت داده ها بایستی با دقت ۱۰۰ درصد به دو دسته تقسیم گردند اما در حاشیه نرم برخی از داده ها حاشیه را رعایت نمی کنند و در محدوده آن قرار می گیرند. در بحث ماشین بردار پشتیبان هدف بدست آوردن یک خط با حداکثر حاشیه از داده های می باشد (شکل ۱۳- ۱۱).



شکل ۱۳- ۱۱- نمایش شماتیک الگوریتم چند لایه شبکه عصبی

به منظور بدست آوردن حاشیه لازم است تا عبارت زیر بهینه شود:

$$\frac{|W \cdot X + b|}{|W|} = \frac{1}{|W|}$$

که با توجه به اینکه این حاشیه در هر دو سمت قرار دارد در واقع عبارت $\frac{2}{W}$ بایستی بهینه می شود. از آنجایی که بهینه سازی این عبارت کار دشواری می باشد به جای آن عبارت $\frac{|W|^2}{2}$ را کمترین مقدار این عبارت محاسبه می شود. در ماشین بردار پشتیبان با حاشیه نرم مقداری خطا می تواند در نظر گرفته شود که این مقدار خطا را با استفاده از ضریب C در معادلات لحاظ می گردد:

$$L = \frac{|W|^2}{2} + C \sum_{i=1}^m e_i$$

هدف مینیم کردن عبارت فوق می باشد. هر مقدار ضریب C بزرگتر لحاظ گردد میزان خطا به صفر میل می کند و در واقع الگوریتم تبدیل به ماشین بردار با حاشیه سخت می شود. e_i مقدار خطای لحاظ شده در محاسبات می باشد. به منظور استفاده از این الگوریتم در محیط پایتون از دستورات زیر استفاده می گردد:

```
from sklnrn.svm import SVC
```

```
from sklearn.svm import SVR
```

```
SVC = SVC(kernel = 'poly', c = ۱۰۰, degree = ۲)
```

```
SVC = SVC(kernel = 'rbf', c = ۱, gamma = ۱۰)
```

Gamma: ضریب کرنل برای rbf ، sigmoid ، poly است. هرچه مقدار گاما بیشتر باشد، الگوریتم تلاش می کند برازش

را دقیقاً بر اساس مجموعه داده های تمرینی انجام دهد و این امر موجب تعمیم یافتن خطا و وقوع مشکل بیش برازش)

(Over-Fitting) می شود. مزایا و معایب استفاده از این روش به صورت زیر می باشد:

مزایا:

✓ در فضاها با ابعاد بالاتر کارایی بیشتری دارد.

✓ در شرایطی که ابعاد بیش از تعداد نمونه ها باشد نیز کار می کند.

معایب:

✓ برای مجموعه داده های بزرگ بخوبی عمل نمی کند.

✓ برای داده های دارای نویز عملکرد مناسبی ندارد.

✓ الگوریتم AdaBoost

با یک مثال این الگوریتم توضیح داده می شود. فرض کنید فضایی از داده ها مطابق با شکل زیر در اختیار باشد:

با استفاده از یک تابع توزیع مثل D_t کلاس بندی زیر انجام می شود در ابتدا وزن تمام داده ها یکسان و برابر با ۰.۱ در

نظر گرفته می شود:

همانطور که در دسته بندی بالا مشاهده می گردد ۳ داده مثبت اشتباه دسته بندی شده اند. در مرحله بعد وزن داده ها

بایستی اصلاح گردد. برای این کار ابتدا وزن مجموع داده های اشتباه محاسبه می شود:

$$J_1 = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10}$$

میزان خطای مدل بصورت زیر حساب می گردد:

$$e_1 = \frac{J_1}{\sum W_i} = \frac{\frac{3}{10}}{1} = \frac{3}{10}$$

به منظور اطلاع وزن ها برای داده های درست و اشتباه طبقه بندی شده از رابطه زیر استفاده می نماییم:

$W_i e^{a_i}$ درست طبقه بندی شده

$W_i e^{a_i}$ اشتباه طبقه بندی

مقدار ضریب a از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$a_i = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - e_i}{e_i} \right)$$

با جایگذاری در رابطه بالا مقدار e برابر با ۰.۴۲ و وزن جدید برای داده های اشتباه ۰.۱۵ و و داده های صحیح ۰.۰۷

محاسبه می شود. اگر این وزن ها با تقسیم بر مجموع وزن داده ای اشتباه و صحیح (۰.۹۲) تقسیم کنیم وزن ها برابر با

۰.۰۷ و ۰.۱۷ می شود که این مقادیر وزن های نرمال می باشند. بعد از این مرحله مجدداً با استفاده از مدل دسته بندی

مجدد انجام می شود و مراحل بالا مجدد تکرار می گردد. تعداد مرتبه حل کننده استفاده شده هر چه بیشتر باشد دقت

کار بیشتر خواهد بود اما از طرفی زمان اجرا افزایش خواهد یافت. نهایتاً با توجه به در نظر گرفتن خروجی تمامی مدل ها

(h_t) با استفاده از رابطه زیر کلاس هر داده مشخص می گردد:

$$H(x) = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^T a_i h_i\right)$$

در محیط پایتون با استفاده از دستورهای زیر میتوان این الگوریتم را پیاده سازی کرد:

```
from sklearn.ensemble import AdaBoostClassifier
from sklearn.ensemble import AdaBoostRegressor
ABM = AdaBoostClassifier(n_estimator = ۵, random_state = ۴۲)
```

✓ شبکه های عصبی

شبکه های عصبی از لایه های ساخته شده از گره ها، یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده اند. هر گره یک نورون مصنوعی است که به گره بعدی متصل می شود و هر گره دارای وزن و مقدار آستانه است. هنگامی که خروجی یک گره بالاتر از مقدار آستانه باشد، آن گره فعال می شود و داده های خود را به لایه ی بعدی شبکه می فرستد. اگر زیر آستانه باشد، هیچ داده ای از آن عبور نمی کند.

شکل فوق که مربوط به یک شبکه عصبی یک لایه است را میتوان در قالب رابطه ریاضی به صورت زیر نشان داد:

$$f(W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n) = \text{Output}$$

تابع مورد استفاده در شبکه عصبی می تواند یک تابع پله ای یا سیگموند باشد. بسیاری از مسائل را نمی توان با شبکه عصبی تک لایه نمایش داد لذا بایستی از شبکه های پرسپترون چند لایه استفاده کرد.

گاهی در شبکه های عصبی و در خروجی آن ها خطا وجود دارد با یک مثال شیوه رفع خطا تشریح می گردد.

مثال: شبکه چند لایه زیر را در نظر بگیرید و خروجی را پیش بینی نمایید. خروجی نهایی برابر با ۱ است (تابع تحریک سیگموند و ضریب یادگیری ۰.۹ می باشد).

حال مقادیر خروجی برای نوران های ۴ تا ۶ محاسبه می گردد:

$$N_4 = 0.2 * 1 + 0.4 * 0 - 0.5 * 1 - 0.4(\text{bias}) = -0.7$$

به همین ترتیب مقدار نورون ۵ برابر با ۰.۵۲۵ محاسبه می شود. حال برای خروجی با توجه به وزن های W_{56} و W_{45}

و بایاس نورون ۶ خروجی به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\text{Out} = -0.3 * 0.332 - 0.2 * 0.525 + 0.1 = -0.105$$

با توجه به تابع تحریک سیگموند خواهیم داشت:

$$Out = \frac{1}{1 + e^{-0.15}} = 0.474$$

لذا مدل خطا دارد که برای رفع خطا به ترتیب مراحل زیر طی خواهد شد.

$$e_y = (t - y)f(y) = (t - y)y(1 - y) = (1 - 0.474)(0.474)(1 - 0.474) = 0.1311$$

با توجه به خطای محاسبه شده برای نورون ۶ خطای نورون های مخفی به صورت زیر قابل محاسبه می باشد:

$$e_j = (ey * W_j)h_j(1 - h_j) \rightarrow e_5 = 0.1311 * 0.2 * 0.525 * (1 - 0.525) = -0.0065$$

به همین ترتیب برای سایر نورون ها مقدار ختال محاسبه می گردد. به منظور محاسبه وزن های جدید از رابطه زیر

استفاده می گردد:

$$W_{ij} = W_{ij}(old) + a * e_j * O_i \rightarrow W_{f6} = -0.3 + 0.9 * -0.1311(e_6) * 0.332(O_f) = -0.261$$

برای محاسبه خطای بایاس از رابطه زیر استفاده می گردد:

$$b_j = b_j(old) + ae_i \rightarrow b_{f6} = 0.1 + 0.9 * 0.1311(e_6) = 0.218$$

محاسبه خطا و اصلاح وزن ها تا جایی ادامه می یابد که خروجی مورد انتظار بدست آید. در این رابطه a ضریب یادگیری

می باشد.

به منظور استفاده از شبکه های عصبی در مبحث ماشین لرنینگ از دستور های زیر استفاده می گردد:

```
from sklearn.neural_network import MLPClassifier
```

```
from sklearn.neural_network import MLPRegressor
```

```
model = MLPClassifier(hidden_layer_size = (۷), max_iter = ۱۱, solver
```

```
    = 'sgd', random_state = ۱۰, learning_rate = ۰.۹)
```

در دستور فوق $hidden_layer_size$ تعداد نورن های مخفی به منظور محاسبات، max_iter تعداد تکرار برای پیش

بینی و همگرایی، $learning_rate$ نرخ یادگیری، $solver$ حل کننده برای بهینه سازی وزن ها که شامل سه حل کننده

adam، 'sgd' و lbfgs می باشد.

✓ الگوریتم Lasso

در دنیای امروز، حجم عظیمی از داده ها تولید و یا در حال تولید است. بررسی و تحلیل چنین حجم زیادی از مشاهدات

و متغیرها، زمان و هزینه زیادی به خود اختصاص می دهد. بنابراین ساده سازی مسائلی که به نظر پیچیده می آیند، در

تجزیه و تحلیل داده‌ها بسیار ضروری به نظر می‌رسد. در واقع ممکن است دنیا به پیچیدگی که فکر می‌کنیم نباشد و بتوان با تعداد متغیرهای کمتر نتایج تحلیل مناسب‌تری گرفت. با استفاده از رگرسیون لاسو سعی می‌کنیم، روش مناسب برای مدل‌سازی متغیر پاسخ براساس کمترین و البته مناسب‌ترین تعداد متغیرهای مستقل را ارائه دهیم. به این ترتیب با استفاده از یک تابع جریمه (Penalty) روی جمع قدرمطلق ضرایب مدل رگرسیونی، تعداد پارامترها کنترل می‌شود. در این حالت، مجموع مربعات خطای رگرسیونی لاسو به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j|$$

در این رابطه λ ارامتر تنظیم‌کننده است، به این معنی که اگر مقدارش برابر با صفر باشد، مدل به رگرسیون عادی تبدیل شده و همه متغیرها در آن حضور خواهند داشت و اگر مقدار آن افزایش یابد تعداد متغیرهای مستقل در مدل کاهش خواهند یافت.

from sklearn.linear_model import Lasso

LAM = Lasso(alpha = ۰.۱, normalize = True)

✓ الگوریتم K-means

روش‌ها و الگوریتم‌های متعددی برای تبدیل اشیاء به گروه‌های هم‌شکل یا مشابه وجود دارد. الگوریتم k-میانگین یکی از ساده‌ترین و محبوب‌ترین الگوریتم‌هایی است که در داده‌کاوی (Data Mining) بخصوص در حوزه یادگیری نظارت نشده (Unsupervised Learning) به کار می‌رود. به عنوان یک الگوریتم استاندارد برای خوشه‌بندی k-میانگین از الگوریتم لوید استفاده می‌شود. الگوریتم لوید به دو بخش مقدار دهی و به روز رسانی تقسیم می‌شود.

✓ بخش مقدار دهی: هر مشاهده یا شی را به نزدیکترین خوشه نسبت می‌دهیم. به این معنی که فاصله اقلیدسی هر مشاهده از مراکز، اندازه گرفته شده سپس آن مشاهده عضو خوشه‌ای خواهد شد که کمترین فاصله اقلیدسی را با مرکز آن خوشه دارد.

✓ بخش به روز رسانی: میانگین خوشه‌های جدید محاسبه می‌شود. الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که مقدار برچسب عضویت مشاهدات تغییری نکند. این الگوریتم دارای مزایا و معایب زیر می‌باشد:

این الگوریتم چندین مزیت از جمله سادگی، کارایی و توانایی مدیریت مجموعه داده های بزرگ را ارائه می دهد. با این حال، محدودیت های خاصی نیز دارد:

حساسیت به مقداردهی اولیه: مقداردهی اولیه مختلف ممکن است منجر به نتایج خوشه بندی متفاوتی شود که بر نیاز به استراتژی های دقیق مقداردهی اولیه تاکید دارد.

تعداد خوشه ها (K): این الگوریتم نیاز به تعداد خوشه ها دارد که از قبل تعریف شده باشد، که وقتی مقدار بهینه ناشناخته باشد می تواند چالش برانگیز باشد. حساسیت به نقاط پرت: نقاط پرت می توانند به طور قابل توجهی بر قرارگیری مرکز و در نتیجه بر نتایج خوشه بندی تأثیر بگذارند با یک مثال الگوریتم بالا تشریح می گردد.

مجموعه داده های زیر را در نظر بگیرید با استفاده از الگوریتم K-means کلاس بندی به صورت زیر انجام خواهد شد:

$$X = \{2, 3, 4, 10, 11, 12, 20, 25, 30\}$$

ابتدا دو مرکز زدسته به صورت تصادفی انتخاب می نماییم. به صورت تصادفی $C_1 = 3$ و $C_2 = 12$ در نظر گرفته می شود.

با استفاده از فاصله بین اعداد و مراکز دسته کلاس بندی انجام می گردد:

$$class1 = \{2, 3, 4\}$$

$$class2 = \{11, 12, 20, 25, 30\}$$

مطابق با مراحل الگوریتم مراکز دسته ها با توجه به دسته بندی بالا محاسبه می گردند ($C_1 = 3$ و $C_2 = 18$) و دسته

بندی مجدد انجام می شود:

$$class1 = \{2, 3, 4, 10, 11, 12\}$$

$$class2 = \{20, 25, 30\}$$

$$C_1 = 17, 5 \text{ و } C_2 = 19, 6$$

$$class1 = \{2, 3, 4, 10, 11, 12\}$$

$$class2 = \{20, 25, 30\}$$

همانطور که ملاحظه می گردد کلاس بندی تغییری نکرد لذا محاسبات پایان می یابد. به منظور استفاده از این الگوریتم

در محیط پایتون و بحث یادگیری ماشین از دستور های زیر استفاده می کنیم:

```
from sklearn.cluster import KMeans
```

```
kmeans = KMeans(n_clusters = ۳, random_state = ۴۲)
```

✓ الگوریتم DBSCAN

یکی دیگر از الگوریتم های بدون نظارت است. اسم کامل این الگوریتم، " خوشه بندی فضایی مبتنی بر چگالی در کاربردهای دارای نویز " است. در الگوریتم DBSCAN نیازی به این نیست که تعداد خوشه ها از ابتدا تعیین شود. این الگوریتم می تواند خوشه های دارای اشکال پیچیده را کشف کند. همچنین، می تواند نقاط داده ای که بخشی از هیچ خوشه ای نیستند (نقاط دورافتاده یا ناهنجار) را شناسایی کند. دو پارامتر `eps` و `min_samples` در الگوریتم DBSCAN وجود دارد. هر نقطه داده از دیگر نقاط داده فاصله دارد. هر نقطه ای که فاصله اش از یک نقطه مذکور کمتر از `eps` باشد بعنوان همسایه آن نقطه در نظر گرفته می شود. هر نقطه مفروضی که `n_samples` همسایه داشته باشد یک نقطه مرکزی محسوب می شود. نمونه های مرکزی که نسبت به یکدیگر نزدیکتر از فاصله `eps` باشند در یک خوشه قرار می گیرند.

تعیین مناسب پارامتر `eps` بسیار مهم است زیرا مشخص می کند که برای نقاط، نزدیک بودن چه معنایی دارد. تنظیم `eps` روی یک مقدار خیلی کوچک بدان معنا است که هیچ نقطه ای، نقطه مرکزی نیست و امکان دارد منجر به آن شود که همه نقاط به عنوان نویز برچسب گذاری شوند. تنظیم `eps` روی یک مقدار خیلی بزرگ ممکن است منجر به آن شود که همه نقاط در یک خوشه قرار بگیرند. به منظور استفاده از این الگوریتم در پایتون می توان از دستورات زیر استفاده نمود:

```
from sklearn.cluster import DBSCAN
kmeans = DBSCAN(eps = ۰.۵, min _samples = ۵)
```

✓ ارزیابی دقت مدل

به منظور ارزیابی دقت مدل میتوان از دستور های زیر استفاده کرد.

```
from sklearn.metrics import *
print(accuracy_score(ytest, predict))
print(precision_score(ytest, predict))
print(recal_score(ytest, predict))
print(f1_score(ytest, predict))
```

`accuracy_score` : برابر با تعداد پیش بینی های صحیح به کل داده ها می باشد.

precision_score: دقت در مورد نتایج مثبت مدل را نشان می دهد در واقع به ما می گوید مقادیر True را با چه دقتی نشان می دهد و این معیار زمانی ارزش دارد که false positive ارزش بالایی داشته باشد. این پارامتر برابر با مقادیر درست مثبت شده بر مجموع مقادیر درست مثبت شده و مقادیر غلط مثبت شده در نتیجه هر مقدار مقادیر به اشتباه مثبت شده پایین تر باشد ایم پارامتر افزایش خواهد یافت.

recall_score: این معیار زمانی ارزشمند است که false negative ارزش بالایی داشته باشد. این پارامتر برابر با مقادیر درست مثبت شده بر مجموع مقادیر درست مثبت شده و مقادیر غلط منفی شده در نتیجه هر مقدار پارامتر غلط منفی شده کمتر باشد این مقدار بالاتر خواهد بود.

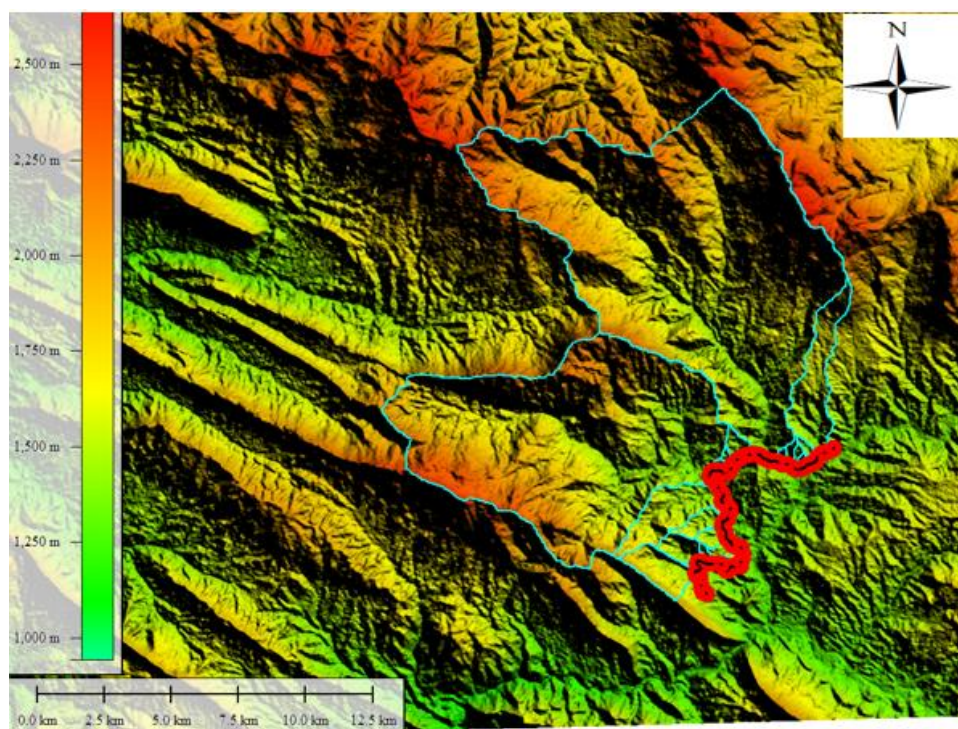
مثال کاربردی

محاسباتی که در ادامه ارائه خواهد گردید مربوط به مطالعات مسیر دسترسی سد معشوره در استان لرستان می باشد. که موقعیت آن بر روی نقشه ایران مطابق با شکل ۱۳- ۲ می باشد:



شکل ۱۳- ۱۲- موقعیت محدوده مطالعاتی بر روی نقشه ایران (دایره زرد رنگ)

هدف از انجام این مطالعات در نظر گرفتن سازه های هیدرولیکی مورد نیاز به منظور عبور سیلاب می باشد. از میان حوضه های آبریز ترسیم شده دو مورد آن مربوط به حوضه آبریز رودخانه ای می باشد که مشخصات و نمایش این حوضه ها مطابق با شکل ۱۳-۱۳ و جدول ۱۳-۳ می باشد:



شکل ۱۳-۱۳- نمایش حوضه های آبریز حوضه های رودخانه ای (۹B و ۴B) بر روی مدل رقومی منطقه مطالعاتی و مسیر طراحی (خط مارپیچ قرمز)

جدول ۱۳-۳- مشخصات حوضه آبریز و برآورد دبی با دوره بازگشت های ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال

Name	KM	A	P	C ^۳	۵۰Y	۱۰۰Y	۲۰۰Y	۱۰۰۰Y	۲۰۰۰Y	۱۰۰۰۰Y
۱۶B		۲.۸	۱۰۲۲۲	۱.۷	۲.۵	۳.۰	۴.۴	۶.۵	۷.۶	۹.۹
۱۵B		۱.۲	۵۸۴۴	۱.۵	۱.۷	۲.۱	۳.۱	۴.۷	۵.۴	۷.۰
۱۴B		۰.۲	۲۴۳۹	۱.۷	۱.۴	۱.۶	۲.۴	۳.۶	۴.۲	۵.۴
۱۳B	۸+۹۲۰	۰.۴	۳۴۷۲	۱.۵	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۸	۴.۴	۵.۷
۱۲B	۸+۵۲۲	۰.۵	۳۸۲۹	۱.۵	۱.۴	۱.۸	۲.۶	۳.۹	۴.۵	۵.۸
۱۱B	۷+۹۴۳	۱.۰	۶۶۲۸	۱.۸	۱.۷	۲.۱	۳.۱	۴.۶	۵.۴	۷.۰
۱۰B	۶+۸۶۶	۴.۷	۱۴۶۸۵	۱.۹	۳.۴	۴.۱	۵.۹	۸.۶	۱۰.۲	۱۳.۲
۹B	۵+۴۷۷	۶۵.۰	۴۷۱۴۷	۱.۶	۲۷.۸	۳۵.۶	۴۹.۲	۷۱.۲	۸۳.۵	۱۱۲.۸

Name	KM	A	P	C ^۳	۵۰Y	۱۰۰Y	۲۰۰Y	۱۰۰۰Y	۲۰۰۰Y	۱۰۰۰۰Y
۸B	۴+۶۶۵	۰.۲	۲۸۳۱	۲.۰	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۸	۴.۴	۵.۷
۶B	۱+۴۶۳	۰.۲	۲۷۸۷	۱.۸	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۷	۴.۳	۵.۶
۷B	۱+۴۶۳	۰.۱	۱۸۱۲	۱.۶	۱.۳	۱.۶	۲.۳	۳.۵	۴.۰	۵.۲
۵B	۲+۱۲۵	۰.۳	۳۴۸۵	۱.۸	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۸	۴.۴	۵.۸
۴B	۲+۳۸۰	۹۳.۹	۶۴۱۴۷	۱.۹	۳۹.۵	۵۰.۷	۷۰.۱	۱۰۱.۳	۱۱۸.۷	۱۶۰.۶
۳B	۰+۹۵۱	۰.۲	۳۲۰۴	۱.۹	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۸	۴.۴	۵.۷
۲B	۴+۱۲۴	۰.۶	۴۴۵۱	۱.۶	۱.۵	۱.۸	۲.۷	۴.۱	۴.۷	۶.۱
۱B	۰+۵۲۷	۶.۲	۲۰۱۰۷	۲.۳	۴.۱	۵.۰	۷.۱	۱۰.۴	۱۲.۴	۱۶.۱

در جدول فوق A مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع)، P محیط حوضه آبریز (متر)، C^۳ ضریب فشردگی حوضه آبریز . که از رابطه $\frac{0.28P}{\sqrt{A}}$ بدست می آید) می باشد.

برای استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین نیاز است تا آمار حداکثر دبی لحظه ای ایستگاه های هیدرومتری اطراف محل پروژه در اختیار طراح قرار گیرد. این آمار از سایت توسعه مدیریت منابع آب دریافت گردید که لیست این ایستگاه ها مطابق با جدول ۱۳-۴ می باشد:

جدول ۱۳-۴- مشخصات ایستگاه های هیدرومتری استان لرستان

ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی (درجه- دقیقه- ثانیه)	طول جغرافیایی (درجه- دقیقه- ثانیه)
افرینه-کشکان	۸۲۰	۳۳-۱۹-۵۱	۴۷-۵۳-۳۹
برآفتاب	۷۸۰	۳۳-۱۸-۲۰	۴۷-۴۸-۵۹
بهرام جو	۱۲۶۰	۳۳-۳۴-۳۰	۴۸-۱۷-۳۴
افرینه-کشکان	۸۲۰	۳۳-۱۹-۵۱	۴۷-۵۳-۳۹
بیاتون	۱۶۰۰	۳۳-۴۲-۲۱	۴۸-۵۸-۵۳
تپه چغا	۱۵۵۲	۳۳-۵۴-۰۶	۴۸-۴۳-۱۸
تنگ سیاب	۹۴۰	۳۳-۲۳-۲۵	۴۷-۱۲-۲۳
تنگ محمد حاجی(بزازنا)	۱۵۰۰	۳۳-۴۴-۱۲	۴۸-۴۵-۱۶
چم انجیر	۱۱۴۰	۳۳-۲۶-۳۶	۴۸-۱۴-۳۸
چم چیت	۱۲۹۰	۳۳-۲۲-۴۲	۴۸-۵۷-۵۷
چنار خشکه	۱۴۲۰	۳۳-۲۱-۱۷	۴۸-۳۱-۰۰
دره تخت-دره تخت	۱۹۴۰	۳۳-۲۱-۱۴	۴۹-۲۲-۲۳

ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه - ثانیه)	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه - ثانیه)
دره تخت-ماربره	۱۸۲۰	۳۳-۲۲-۵۱	۴۹-۲۳-۰۵
دره تنگ-کهمان	۱۷۳۰	۳۳-۵۶-۰۹	۴۸-۱۶-۳۶
دهنو-هرو	۱۷۷۰	۳۳-۳۰-۲۹	۴۸-۴۶-۵۸
دوآب ویسیان-کشکان	۹۵۰	۳۳-۲۹-۴۰	۴۷-۵۷-۵۱
دورود-تیره	۱۴۵۰	۳۳-۲۸-۳۶	۴۹-۰۳-۴۶
دورود-ماربره	۱۴۵۰	۳۳-۲۸-۳۲	۴۹-۰۴-۰۰
سرآب صید علی	۱۵۳۰	۳۳-۴۷-۱۱	۴۸-۱۲-۲۵
کاکا رضا-هرو	۱۵۵۰	۳۳-۴۳-۱۰	۴۸-۱۵-۲۷
کمندان	۲۰۵۰	۳۳-۱۸-۱۴	۴۹-۲۵-۳۶
کمالوند	۱۳۱۰	۳۳-۲۸-۰۵	۴۸-۲۶-۲۶
نور آباد-بادآور	۱۸۰۰	۳۴-۰۴-۵۵	۴۷-۵۸-۱۸
ونایی-سرآب سفید	۱۹۷۰	۳۳-۵۴-۵۱	۴۸-۳۵-۵۴

ویژگی های حوضه های آبریز مربوط به ایستگاه های هیدرومتری مطابق با جدول ۱۳- ۵ می باشد:

جدول ۱۳- ۵- مشخصات حوضه آبریز ایستگاه های هیدرومتری اطراف محل پروژه

ایستگاه	A	BL	P	BS	MSL	MSS	TL
افربنه-کشکان	۶۸۲۳	۱۰۳.۳	۶۴۲	۰.۲۵۲۲	۲۱۸	۰.۰۰۴۲	۴۳.۳
دوآب ویسیان-کشکان	۳۸۲۲	۹۵.۶	۶۷۱	۰.۲۶	۱۷۲	۰.۰۰۴۴	۴۲.۴۵
کاکا رضا-هرو	۱۱۵۶	۷۳.۶	۲۹۱	۰.۲۵	۵۲	۰.۰۰۲۸	۱۷.۷
نور آباد-بادآور	۶۰۹	۳۲.۵	۲۲۳	۰.۱۸	۳۴	۰.۰۰۶۵	۶.۱
بهرام جو	۴۲۵	۲۳.۷	۱۶۸	۰.۲۶	۲۲.۷۴	۰.۰۱۹	۳.۳
برآفتاب	۱۱۲۹	۶۹.۲	۲۷۲	۰.۱۵	۷۴.۳۱	۰.۰۰۹۱	۱۵.۴
بیاتون	۱۲۰	۲۰.۸	۸۰.۵	۰.۱۷	۲۰.۴	۰.۰۲	۳.۶۵
سرآب صید علی	۷۷۶	۳۲	۱۸۸	۰.۳	۴۳	۰.۰۲۲	۶.۶
تپه چغا	۴۶۹	۲۳.۵	۱۴۶	۰.۱۶	۲۲.۱	۰.۰۱۲	۴.۶
تنگ سیاب	۵۷۳	۳۵.۲	۱۹۶	۰.۱۹	۲۷	۰.۰۱۵	۶.۴
تنگه محمد حاجی	۲۱۹	۲۹.۶	۱۱۷	۰.۳۵	۲۰	۰.۰۱۵	۵
چم انجیر	۱۶۴۲	۴۹.۴	۳۱۴	۰.۲۲	۵۲	۰.۰۱۶	۸.۷
چم چیت	۴۵۸	۴۰.۹	۱۹۷	۰.۵	۴۵	۰.۰۲۶	۶.۸
چنار خشکه	۲۳۶	۲۵.۴	۱۱۷	۰.۲	۱۴	۰.۰۱۴	۴.۵
دره تخت	۳۷.۵	۶.۹	۳۴.۷	۰.۶	۲.۶	۰.۰۸	۰.۶

ایستگاه	A	BL	P	BS	MSL	MSS	TL
دره تخت-ماربره	۲۱۹۹	۵۴.۴	۳۸۲	۰.۱۲	۰.۶۹	۰.۰۰۶۷	۱۳
دره تنگ-کهمان	۱۴۸	۲۰.۳	۸۵.۷	۰.۴۶	۱۷.۲	۰.۰۴	۳.۴
دهنو هرو	۲۶۴	۱۹.۷	۱۰۶	۰.۲۲	۱۴	۰.۰۲	۳.۳

در جدول فوق:

A: مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع)

BL: طول حوضه آبریز (کیلومتر)

P: محیط حوضه آبریز (کیلومتر)

BS: شیب حوضه آبریز

MSL: طول آبراهه اصلی (کیلومتر)

MSS: شیب آبراهه اصلی

TL: زمان تاخیر

حال با توجه به آمار دبی ها، مقادیر دبی با دوره بازگشت های مختلف و با استفاده از آنالیز فراوانی بدست خواهد آمد (جدول ۱۳-۶):

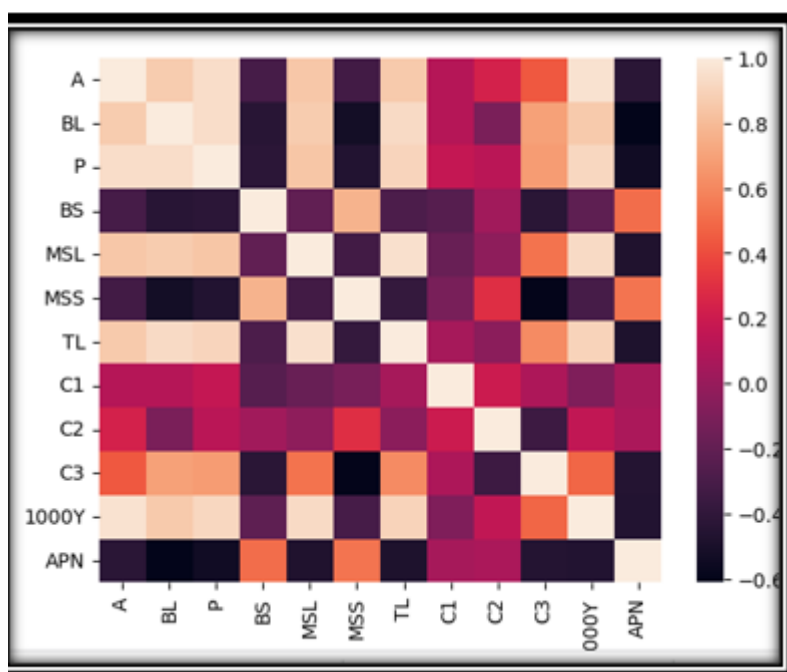
جدول ۱۳-۶- نتایج حاصل از آنالیز فراوانی ایستگاه هیدرومتری اطراف محل پروژه در استان لرستان

نام ایستگاه	سطح (کیلومتر مربع)	شیب حوضه آبریز	طول بزرگترین ابراهه (کیلومتر)	شیب آبراهه اصلی	دبی ۱۰۰۰۰ ساله	دبی ۲۰۰۰ ساله	دبی ۱۰۰۰ ساله	دبی ۲۰۰ ساله	دبی ۱۰۰۰ ساله	دبی ۵۰ ساله	دبی ۲۰ ساله
افراینه - کشک ان	۶۸۲۳	۰.۲۵۲	۲۱۸	۰.۰۰۴۲	۱۳۹۰۰	۹۵۵۰	۸۰۰۰	۵۰۴۰	۴۰۱۰	۳۱۲۰	۲۱۳۰
دو آب ویسان - کشک ان	۳۸۲۲	۰.۲۶	۱۷۲	۰.۰۰۴۴	۸۱۸۰	۶۲۰۰	۵۳۹۰	۳۶۷۰	۲۹۹۰	۲۳۶۰	۱۶۱۰
کاکا رضا	۱۱۵۶	۰.۲۵	۵۲	۰.۰۰۲۸	۱۷۷۰	۱۳۸۰	۱۲۲۰	۸۸۵	۷۵۱	۶۲۴	۴۶۸

نام ایست گاه	سطح (کیلومتر مربع)	شیب حوضه آبریز	طول بزرگترین ابراهه (کیلومتر)	شیب آبراهه اصلی	دبی ۱۰۰۰۰ ساله	دبی ۲۰۰۰ ساله	دبی ۱۰۰۰ ساله	دبی ۲۰۰ ساله	دبی ۱۰۰۰ ساله	دبی ۵۰ ساله	دبی ۲۰ ساله
نور آباد	۶۰۹	۰.۱۸	۳۴	۰.۰۰۶۵	۱۱۶۰	۸۳۸	۷۱۶	۴۶۹	۳۷۷	۲۹۵	۲۰۱
برآفت اب	۱۱۲۹	۰.۱۵	۷۴.۳۱	۰.۰۰۹۱	۱۶۲۰	۱۲۹۰	۱۱۴۰	۸۰۲	۶۵۶	۵۱۴	۳۴۰
بیاتون	۱۲۰	۰.۱۷	۲۰.۴	۰.۰۲	۲۵۲	۲۱۰	۱۸۹	۱۳۵	۱۱۱	۸۵.۶	۵۴.۱
سراب صید علی	۷۷۶	۰.۳	۴۳	۰.۰۲۲	۱۵۱۰	۱۱۲۰	۹۶۱	۶۳۴	۵۰۹	۳۹۶	۲۶۴
تپه چغا	۴۶۹	۰.۱۶	۲۲.۱	۰.۰۱۲	۱۷۱	۱۴۷	۱۳۵	۱۰۶	۹۲.۳	۷۸.۳	۵۹.۲
تنگ سیاب	۵۷۳	۰.۱۹	۲۷	۰.۰۱۵	۷۲۶	۴۲۳	۳۱۹	۱۴۱	۹۱.۸	۵۹.۳	۳۶.۶
تنگ محمد حاجی	۲۱۹	۰.۳۵	۲۰	۰.۰۱۵	۲۳۷	۲۲۲	۲۱۳	۱۸۶	۱۷۱	۱۵۳	۱۲۶
چم انجیر	۱۶۴۲	۰.۲۲	۵۲	۰.۰۱۶	۳۳۱۰	۲۳۷۰	۲۰۲۰	۱۳۳۰	۱۰۸۰	۸۵۷	۶۰۳
چم چیت	۴۵۸	۰.۵	۴۵	۰.۰۲۶	۲۴۶۰	۱۷۰۰	۱۴۲۰	۸۷۱	۶۷۸	۵۱۰	۳۲۶
چنار خشکه	۲۳۶	۰.۲	۱۴	۰.۰۱۴	۷۴۳	۵۹۷	۵۳۴	۳۸۹	۳۲۸	۲۶۹	۱۹۴
دره تخت	۳۷.۵	۰.۶	۲.۶	۰.۰۰۸	۴۳.۱	۳۸	۳۵.۶	۲۹.۵	۲۶.۶	۲۳.۵	۱۹
دره تخت مهابره	۲۱۹۹	۰.۱۲	۰.۶۹	۰.۰۰۶۷	۶۱۳	۵۵۶	۵۲۵	۴۳۶	۳۸۹	۳۳۷	۲۵۹
دره تخت کهمان	۱۴۸	۰.۴۶	۱۷.۲	۰.۰۰۴	۴۹۵	۳۸۷	۳۴۱	۲۳۵	۱۹۲	۱۵۰	۱۰۰
دهنو - هرو	۲۶۴	۰.۲۲	۱۴	۰.۰۰۲	۱۳۹۰	۱۰۰۰	۸۵۴	۵۶۰	۴۵۳	۳۵۷	۲۴۷
درود تیره	۶۰۷۵	۰.۱۶	۸۸	۰.۰۰۰۶	۹۵۸۰	۷۰۹۰	۶۰۵۰	۳۷۷۰	۲۸۹۰	۲۱۰۰	۱۲۲۰
کمندان	۳۰.۷۵	۰.۶	۶	۰.۰۲	۱۰۲	۸۷.۱	۸۰.۲	۶۳.۲	۵۵.۴	۴۷.۳	۳۶.۳
ونایی - سراب سفید	۴۶	۰.۴۷	۱۳.۷	۰.۰۰۹	۵۲.۶	۴۵.۳	۴۲.۱	۳۴.۱	۳۰.۶	۲۶.۹	۲۱.۹

نام ایست گاه	سطح (کیلومتر مربع)	شیب حوضه آبریز	طول بزرگترین ابراهه (کیلومتر)	شیب آبراهه اصلی	دبی ۱۰۰۰۰ ساله	دبی ۲۰۰۰ ساله	دبی ۱۰۰۰ ساله	دبی ۲۰۰ ساله	دبی ۱۰۰۰ ساله	دبی ۵۰ ساله	دبی ۲۰ ساله
کمال وند	۲۹۰	۰.۲	۲۴	۰.۰۲	۶۷۴	۴۴۵	۳۴۰	۱۱۷	۸۵.۶	۱۲۹	۶۶.۳

داده های محاسباتی فوق به عنوان ورودی به مدل تعریف خواهد شد. از میان این داده ها ۷۰ درصد بعنوان داده های آموزشی و ۳۰ درصد بعنوان داده های تست لحاظ می گردند. قبل از هر چیز بایستی مرحله پیش پردازش داده ها مطابق با آنچه که قبلا در تشریح الگوریتم گفته شده است انجام شود. عملیاتی مانند حذف داده های پرت و تبدیل حرف به داده عددی و ارتباط میان متغیرها در این مرحله صورت می پذیرد.



شکل ۱۳-۱۴- ارتباط میان پارامترها مختلف دخیل در تولید رواناب و سیل

در مرحله اول مدل با داده های مورد نظر با الگوریتم های مختلف آموزش داده شد. این آموزش با ترکیبی از پارامترهای مختلف حوضه آبریز انجام گردید که در نهایت با ترکیب مساحت ، محیط و ضریب فشردگی حوضه آبریز بهترین پاسخ بدست آمد . در این مطالعه از الگوریتم های رگرسیون خطی، جنگل تصادفی، لاسو، ماشین بردار پشتیبان و شبکه های

عصبی استفاده گردید که در نهایت شبکه های عصبی با دقت پیش بینی ۸۰ تا ۸۵ درصد بعنوان پیش بینی کننده انتخاب شد.

```
In [62]: from sklearn.preprocessing import StandardScaler

In [63]: SC=StandardScaler()
          xtrain_sc=SC.fit_transform(xtrain)
          xtest_sc=SC.fit_transform(xtest)

In [64]: from sklearn.neural_network import MLPRegressor

In [65]: #xtrain,xtest,ytrain,ytest=train_test_split(X,Y,test_size=0.3,random_stat

In [66]: MLPM=MLPRegressor(hidden_layer_sizes=100,max_iter=10000)

In [67]: MLPM.fit(xtrain,ytrain)

Out[67]:
MLPRegressor
MLPRegressor(hidden_layer_sizes=100, max_iter=10000)

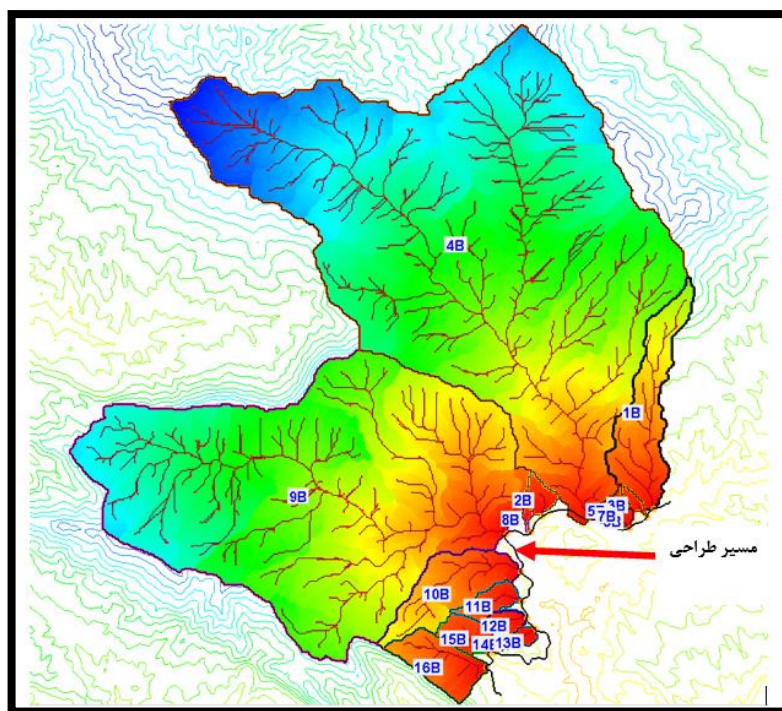
In [68]: predict_MLPM=MLPM.predict(xtest)

In [69]: from sklearn.metrics import *
          print(r2_score(predict_MLPM,ytest))

0.8536861931760931
```

شکل ۱۳- ۱۵- نتیجه حاصل از اجرای الگوریتم شبکه های عصبی

حوضه های آبریز ترسیم شده محدوده مطالعاتی به شرح شکل ۱۳- ۱۶ می باشد:



شکل ۱۳- ۱۶- نمایش حوضه آبریز های محدوده مطالعاتی

نتایج حاصل از مدل برای حوضه های آبریز محدوده مطالعاتی با دوره بازگشت های مختلف به شرح جدول ۱۳- ۷ می باشد:

جدول ۱۳- ۷- دبی برآورد شده توسط الگوریتم شبکه عصبی یادگیری ماشین

Name	KM	A	P	C ^۳	۵۰Y	۱۰۰Y	۲۰۰Y	۱۰۰۰Y	۲۰۰۰Y	۱۰۰۰۰Y
۱۶B		۲.۸	۱۰۲۲۲	۱.۷	۲.۵	۳.۰	۴.۴	۶.۵	۷.۶	۹.۹
۱۵B		۱.۲	۵۸۴۴	۱.۵	۱.۷	۲.۱	۳.۱	۴.۷	۵.۴	۷.۰
۱۴B		۰.۲	۲۴۳۹	۱.۷	۱.۴	۱.۶	۲.۴	۳.۶	۴.۲	۵.۴
۱۳B	۸+۹۲۰	۰.۴	۳۴۷۲	۱.۵	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۸	۴.۴	۵.۷
۱۲B	۸+۵۲۲	۰.۵	۳۸۲۹	۱.۵	۱.۴	۱.۸	۲.۶	۳.۹	۴.۵	۵.۸
۱۱B	۷+۹۴۳	۱.۰	۶۶۲۸	۱.۸	۱.۷	۲.۱	۳.۱	۴.۶	۵.۴	۷.۰
۱۰B	۶+۸۶۶	۴.۷	۱۴۶۸۵	۱.۹	۳.۴	۴.۱	۵.۹	۸.۶	۱۰.۲	۱۳.۲
۹B	۵+۴۷۷	۶۵.۰	۴۷۱۴۷	۱.۶	۲۷.۸	۳۵.۶	۴۹.۲	۷۱.۲	۸۳.۵	۱۱۲.۸
۸B	۴+۶۶۵	۰.۲	۲۸۳۱	۲.۰	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۸	۴.۴	۵.۷
۶B	۱+۴۶۳	۰.۲	۲۷۸۷	۱.۸	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۷	۴.۳	۵.۶
۷B	۱+۴۶۳	۰.۱	۱۸۱۲	۱.۶	۱.۳	۱.۶	۲.۳	۳.۵	۴.۰	۵.۲
۵B	۲+۱۲۵	۰.۳	۳۴۸۵	۱.۸	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۸	۴.۴	۵.۸

Name	KM	A	P	C۳	۵۰Y	۱۰۰Y	۲۰۰Y	۱۰۰۰Y	۲۰۰۰Y	۱۰۰۰۰Y
۴B	۲+۳۸۰	۹۳.۹	۶۴۱۴۷	۱.۹	۳۹.۵	۵۰.۷	۷۰.۱	۱۰۱.۳	۱۱۸.۷	۱۶۰.۶
۳B	۰+۹۵۱	۰.۲	۳۲۰.۴	۱.۹	۱.۴	۱.۷	۲.۵	۳.۸	۴.۴	۵.۷
۲B	۴+۱۲۴	۰.۶	۴۴۵۱	۱.۶	۱.۵	۱.۸	۲.۷	۴.۱	۴.۷	۶.۱
۱B	۰+۵۲۷	۶.۲	۲۰۱۰۷	۲.۳	۴.۱	۵.۰	۷.۱	۱۰.۴	۱۲.۴	۱۶.۱

ردیف هایی که با رنگ سبز مشخص شده اند محل احداث پل ها می باشند.

فصل چهاردهم

نرم افزار های مورد استفاده در مباحث

هیدرولوژی

۱۳- فصل چهاردهم: نرم افزار های مورد استفاده در مباحث هیدرولوژی

۱۴-۱- مقدمه

در این بخش به معرفی نرم افزارهای مورد استفاده در مدلسازی هیدرولوژیکی و برخی از کاربردهای آن ها در اعمال برخی از روش های هیدرولوژیکی برای بدست آوردن یک پارامتر خاص پرداخته می شود.

۱۴-۲- نرم افزار Aquaveo WMS

WMS یک نرم افزار تخصصی آب می باشد که به منظور ترسیم حوضه آبریز و برآورد مشخصات حوضه های آبریز استفاده می گردد. این نرم افزار بسیاری از مدل های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی همچون ^۱HEC-RAS, HEC-HMS, HEC-TR-۵۵ و ... را حمایت می کند. WMS برای اولین بار توسط دانشگاه جوانان بیرگهام در سال ۱۹۹۰ توسعه داده شد. از این نرم افزار در المپیک زمستانی ۲۰۰۲ به منظور مدل سازی حمله تروریستی به مخزن Jordanelle استفاده گردید. به منظور ترسیم حوضه های آبریز لازم است ابتدا Dem منطقه مطالعاتی به همراه یک سری از Shapefile ها که نشانگر عارضه های خاصی (مانند راه، دایک و ...) روی زمین می باشند به مدل معرفی شود. بدین منظور میتوان از دو روش استفاده نمود.

روش اول: در این روش بعد از ورود Dem و Shapefile های مورد نیاز (از طریق Open) طبق روال زیر عمل می گردد: تا این مرحله از کار خطوط جریان مشخص می گردند. حالا به منظور ترسیم حوضه آبریز بایستی نقطه تمرکز به صورت دستی مشخص گردد تا حوضه آبریز براساس آن بسته شوند:

در نقطه ای دلخواه در محل خروجی آبراهه با توجه به محدوده مطالعاتی و با استفاده از دستور بالا نقطه ای را مشخص می نماییم. در مرحله بعد بایستی مرز های حوضه آبریز و مشخصات آن مشخص گردد در این مرحله از نوار بالا از منوی DEM زیر منو های زیر را انتخاب می کنیم:

نهایتا با انتخاب زیر منوی Compute Basin Data مشخصات حوضه آبریز از قبیل سطح حوضه آبریز، طول حوضه آبریز و ... مشخص می گردد. در این نرم افزار همچنین میتوان مدل هیدرولوژیکی را تهیه و در نرم افزار هایی همچون HEC-HMS فراخوانی نمود. برای این کار ابتدا از نوار ابزار بالا بر روی Hydrologic Modeling Module کلیک نمایید. سپس از نوار ابزار مدل خود را از کشوی موجود در نوار ابزار بالا انتخاب کنید (مثلا HEC-HMS). از منو HEC-HMS ظاهر شده در منو بالا تنظیمات لازم از جمله تنظیم واحد (انگلیسی یا متریک) از زیر منوی Job Control، و روش های مورد استفاده در محاسبه رواناب، تلفات و ... همچون SCS را از گزینه Edit Parameter تعیین می نماییم. همچنین از گزینه Meteorologic parameters میتوان مدل هواشناسی مورد نیاز برای محاسبه دبی را انتخاب نمود. در نهایتا با انتخاب زیر منوی Save Hms File مدل هیدرولوژیکی را ایجاد می نماییم.

۱۴-۳- Global Mapper

از این نرم افزار میتوان به منظور دریافت مدل های رقومی و تبدیل فایل های مختلف به فرمت های دلخواه استفاده نمود. به منظور دریافت DEM بعد از مشخص کردن محدوده مورد نظر که میتواند از طریق فراخوانی یک فایل Kmz یا فایل Cad یا هر فرمت دیگری باشد با استفاده از زیر منوی Download Online Imagery از زیر منوی File میتوان این مدل های رقومی را دریافت کرد. همچنین به منظور تبدیل فرمت های مختلف به یکدیگر از منوی File و زیر منوی Export و سپس Export Vector/Lidar Format این عملیات انجام می پذیرد.

۱۴-۴- نرم افزار ARC GIS

با استفاده از این نرم افزار نیز میتوان حوضه های آبریز و مشخصات آن را نیز تعیین نمود. یکی دیگر از کاربرد های این نرم افزار ترسیم چند ظلعی های تیسن بوده و همچنین در ارتباط با نرم افزار های دیگر همچون Hec-Ras نیز می توان از این نرم افزار استفاده نمود. با توجه به مسیر زیر میتوان این کار را انجام داد. به منظور استفاده از روش تیسن برای تعریف بارندگی مسیر زیر طی می گردد:

ArcToolbox > Analysis tools > Proximity > Create Thiessen Polygons

با کلیک راست بر روی لایه و Attribute Table میتوان مشخصات پلی گون تشکیل شده رو استخراج نمود.

۱۴-۵- نرم افزار HEC-HMS

از این نرم افزار به منظور مدل سازی بارش رواناب استفاده می گردد. در این نرم افزار مدل های مختلفی جهت بارش به رواناب تعریف گردیده است. خروجی این نرم افزار که شامل دبی ماکزیمم و هیدروگراف می باشد بعنوان ورودی به مدل های هیدرولیکی استفاده می گردد. خروجی نرم افزار WMS می تواند در محیط HMS اجرا گردد. در این صورت مراحل آماده سازی مدل HMS در این نرم افزار انجام خواهد پذیرفت. در این صورت تنها به انجام تنظیمات ناچیزی در محیط HMS نیاز می باشد.

۱۴-۶- Hyfran Plus

از این نرم افزار به منظور تحلیل فراوانی داده های هواشناسی براساس توزیع های مختلف همچون لوگ پیرسون تیپ ۳، پیرسون تیپ ۳، نرمال، گامبل تیپ ۱ و (بارندگی و دبی سیلاب) به منظور برآورد بارندگی یا دبی سیلاب با دوره بازگشت طرح استفاده می گردد.

فصل پانزدهم

دریافت آمار و اطلاعات

۱۴- فصل پانزدهم: دریافت آمار و اطلاعات

به منظور دریافت اطلاعات و آمار بارندگی و یا دبی سیلاب رودخانه ها میتوان با ثبت نام در سایت شرکت مدیریت منابع آب به آدرس <https://data.wrm.ir> این اطلاعات را دریافت نمود. کافی است بعد از ثبت نام با ورود به قسمت آمار و اطلاعات و سپس پورتال ارائه آمار پایه، نسبت به دریافت اطلاعات مورد نیاز اقدام نمایید. روند دریافت اطلاعات به شرح شکل های زیر می باشد:





خانه چارت سازمانی شرح وظایف تولیدات دفتر مدیریت اسناد آمار و اطلاعات تماس



خانه چارت سازمانی شرح وظایف تولیدات دفتر مدیریت اسناد آمار و اطلاعات تماس

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران



پیشخوان رصد منابع آب

پورتال ارائه آمار پایه

گزارش هفتگی وضعیت بارش و سدها

گزارش بارندگی ایستگاه های مبنای وزارت نیرو داخل سازمان

گزارش تحلیلی روزانه وضعیت مخازن سدهای کشور داخل سازمان

ارائه آمار از طریق پنجره ملی خدمات دولت

پیشخوان رصد منابع آب

WDI

ارائه خلاصه آمار، اطلاعات و گزارش از وضعیت منابع آب کشور

پورتال ارائه آمار پایه

لازم به ذکر است آمار بارش و تبخیر روزانه به تفکیک استانی تا پایان سال آبی ۱۴۰۰-۹۹ به روزرسانی گردیده است.

به پورتال ارائه آمار پایه خوش آمدید!

شناسه کاربری

رمز عبور

انتخابها

ورود

فراموشی رمز عبور ثبت نام



توجه:

آمار روزانه بارش، تبخیر و آبخیز (دبی) منتهی به سال آبی ۹۶-۹۷ به تفکیک استان در سامانه قرار گرفت. برای دسترسی به این آمار در فرم زیر انتخاب "حوضه ای/استانی" را بر روی استانی تنظیم کرده، در فیلد بعدی استان مورد نظر، در فیلد بعدی "آب سطحی" و در فیلد بعدی برای دریافت بارش و تبخیر روزانه، آیتم "هواشناسی" و برای دریافت آبخیز روزانه، گزینه "هیدرومتری" را انتخاب کرده و دکمه "ثبت" را کلیک نمایید. بدین ترتیب در بین گزینه های صفحه بعدی می توانید بارش، تبخیر یا آبخیز (دبی) روزانه را از بین آبخیزهای موجود انتخاب کرده و دانلود نمایید. لازم به ذکر است آمار بارش روزانه تا سال آبی ۱۴۰۰-۹۹ به روزرسانی گردیده است

حوضه ای/استانی	لطفاً انتخاب نمایید
نام حوضه/استان	لطفاً انتخاب نمایید
آمار درخواستی	لطفاً انتخاب نمایید
نوع آمار	لطفاً انتخاب نمایید
نام محدوده مطالعاتی	لطفاً انتخاب نمایید

برای دریافت آمار براساس منابع و مسارف انتخاب محدوده مطالعاتی لازم است

نقشه مشترک محدوده های مطالعاتی و استانها

نقشه مشترک حوضه های آبریز درجه ۱ و استانها

نقشه مشترک حوضه های آبریز درجه ۲ و استانها

همچنین به منظور دریافت دم ۱۲ متری ابتدا باید وارد وبسایت vertex.daac.asf.alaska.edu شوید.

سپس در این وبسایت باید ثبت نام کنید و بعد از ثبت نام وارد شوید. افرادی که قبلاً از فرآورده ها و محصولات سایت های وابسته به USGS استفاده کرده اند حتماً ثبت نام کرده اند و فقط باید در این وبسایت وارد شوند. اگر در حین وارد شدن پیامی طبق تصویر زیر برای شما نمایان شد:

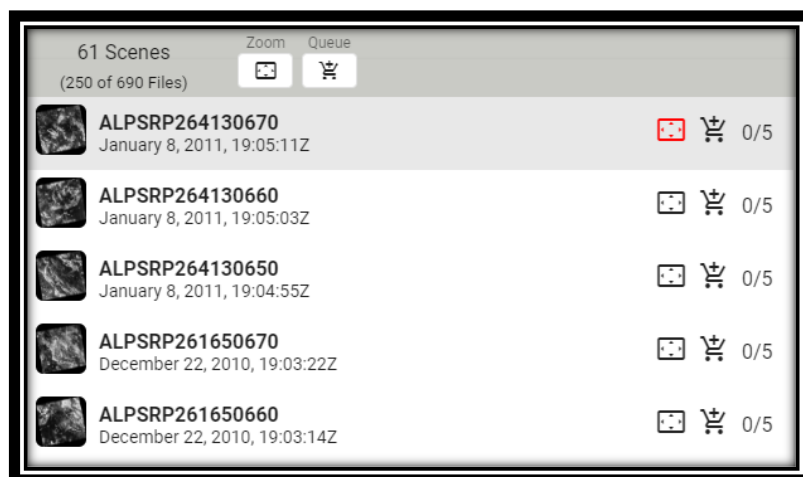


شما باید بر روی عبارت آبی رنگ که لینکدار شده است کلیک کنید و پروفایل خودتان رو کامل کنید. بعد از کامل کردن دوباره وارد شوید که به صورت اتومات در گوشه سمت راست سایت نام کاربری شما نمایش داده می شود بر روی نقشه محدوده مورد نظر خود را انتخاب کنید:

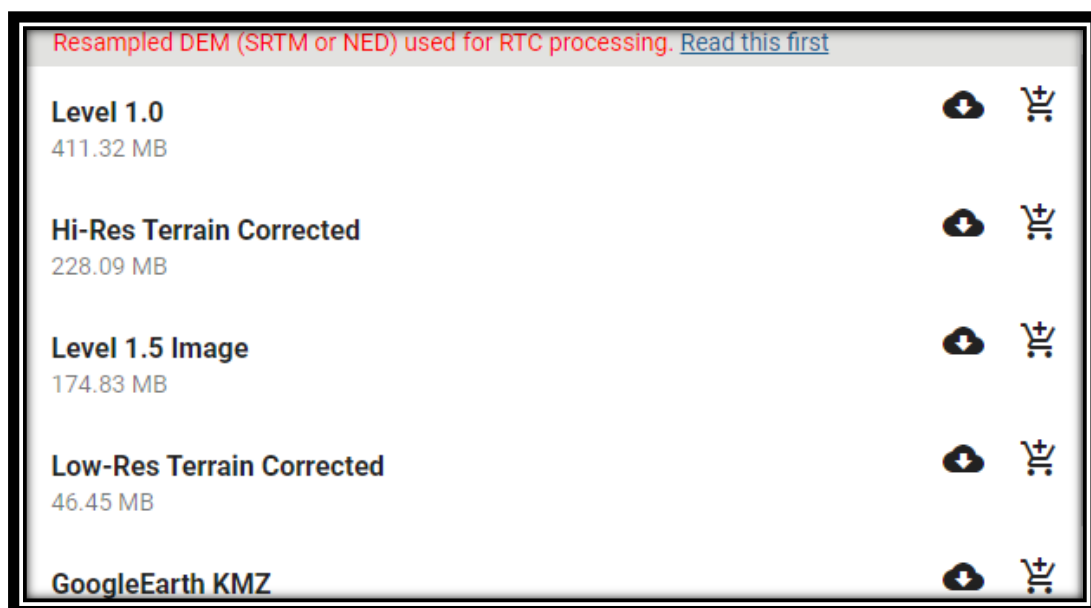


Number of Frames

سپس در گوشه سمت چپ بر روی Dataset فقط گزینه ALOS PALSAR را انتخاب می کنیم و بر روی دکمه سرچ کلیک می کنیم. از گوشه سمت راست بر روی کادر آبی رنگ که در تصویر زیر مشخص شده است کلیک می کنیم. پنجره ای برای ما باز می شود که تاریخ عکس برداری های انجام شده بر روی هر آن مشخص است.



تنها از مدل های رقومی میتوان استفاده کرد که دارای His-Res Terrain Connected باشند.



دانلود مدل رقومی از Google Earth Engine

می توان با استفاده از کد زیر در محیط Google Earth Engine مدل رقومی هر منطقه دلخواه را دانلود کرد:

```
Map.centerObject(geometry);
var DSM = ee.ImageCollection('JAXA/ALOS/AW3D30/V3_2')
    .mean()
    .select('DSM')
    .clip(geometry);
Map.addLayer(DSM, {}, 'DSM');

//DEM SRTM
var DEM = ee.Image('USGS/SRTMGL1_003')
    .select('elevation')
    .clip(geometry);
Map.addLayer(DEM, {}, 'DEM');

Export.image.toDrive({
  image: DEM,
  description: 'DEM_tehran',
  scale: 30,
  region: geometry,
  maxPixels: 1e9
});
```

;({

همچنین با استفاده از کد داده های بارندگی با استفاده از Google Earth Engine و داده های CHIRS را میتوان دریافت نمود:

```
1)select zone
2)import CHIRS( prcepitation global)

var roi=geometry
var date='2023-01-01'
var time_start='2020'
var time_end='2021'
var chirs=imageCollection.select('precipitation')
.filterDate(time_start,time_end)
print(ui.Chart.image.series(chirs,geometry).setChartType('ColumnChart'))
```

همچنین کد زیر با استفاده از gpm میتواند داده های بارندگی را در اختیار کاربر قرار دهد:

```
Map.centerObject(geometry);

var time_start='2020'
var time_end='2021'

var gpm=imageCollection.select('precipitation')
.filterDate(time_start,time_end)
print(gpm.size())
function temporal_collection(collection,start,count,interval,unit){
  var seq=ee.List.sequence(0,ee.Number(count).subtract(1));
  var orgin_date=ee.Date(start);
  return ee.ImageCollection(seq.map(function(i){
    var start_date=orgin_date.advance(ee.Number(interval).multiply(i),unit);
    var end_date=orgin_date.advance(ee.Number(interval).multiply(ee.Number(i).add(1)),unit);
    return collection.filterDate(start_date,end_date).sum()
    .set('system:time_start', start_date.millis())
    .set('system:time_end', end_date.millis())
  })))
}

var daily=temporal_collection(gpm,time_start,365,1,'days');
print(ui.Chart.image.series(daily,geometry,ee.Reducer.mean(),10000,'system:time_start').setChartType('ColumnChart'))

var weekly=temporal_collection(gpm,time_start,52,1,'week');
print(ui.Chart.image.series(weekly,geometry,ee.Reducer.mean(),10000,'system:time_start').setChartType('ColumnChart'))

var monthly=temporal_collection(gpm,time_start,12,1,'month');
print(ui.Chart.image.series(monthly,geometry,ee.Reducer.mean(),10000,'system:time_start').setChartType('ColumnChart'))
```

فهرست واژگان

فهرست واژگان

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
آزمون تصادفی و همگنی	Randomness and Homogeneity Test	از آزمون های آماری است که بر روی داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی به منظور بررسی تصادفی بودن داده ها انجام می گیرد.		
روند	Trend	از آزمون های آماری است که بر روی داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی به منظور بررسی تغییرات داده ها در طی یک دوره (معمولاً یک دهه) و تعیین تصادفی بودن آن ها انجام می گیرد.		
آزمون نکوئی برازش	goodness-of-fit test	مجموعه آزمون ها و عملیاتی است که برای انتخاب بهترین توزیع بر روی داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام می گیرد.		
آزمون کا اسکوتر	Chi square	از جمله آزمون ها برای انتخاب بهترین توزیع آماری می باشد.		
آزمون کلوموگراف اسمیرنوف	Kolomogrov-Smirnow	از جمله آزمون ها آماری برای مقایسه نتایج حاصل از توابع توزیع احتمال تجربی و تئوری و نهایتاً انتخاب بهترین توزیع آماری می باشد.		
بازسازی داده های هیدرولوژیکی و هواشناسی	Reconstruction of Hydrological and Meteorological Data	مجموعه روش ها که به منظور بازیابی و تخمین داده گمشده هواشناسی استفاده می گردد.		

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
روش میانگین گیری ساده	Simple Arithmetic Mean Method	یکی از روش های بازسازی داده های هیدرولوژیکی می باشد.		
روش نسبت نرمال	Normal ratio method	یکی از روش های بازسازی داده های هیدرولوژیکی می باشد.		
روش نرمال تصحیح شده	Modified normal ratio method	یکی از روش های بازسازی داده های هیدرولوژیکی می باشد.		
روش معکوس فاصله	Inverse distance method	یکی از روش های بازسازی داده های هیدرولوژیکی می باشد.		
روش وزنی ضریب همبستگی	Coefficient of Correlation Weighting Method (CCWM)	یکی از روش های بازسازی داده های هیدرولوژیکی می باشد.		
روش نسبت بارندگی-سطح	Aerial Precipitation Ratio (APR) method	یکی از روش های بازسازی داده های هیدرولوژیکی می باشد.		
تحلیل فروانی	Frequency Analysis	روشی برای بدست آوردن مقادیر پارامتر های طراحی با یک احتمال وقوع مشخص می باشد.		
توزیع نرمال	normal distribution	از توزیع های آماری پرکاربرد برای بدست آوردن پارامتر های طراحی (مانند دبی سیل) با یک احتمال وقوع مشخص می باشد.		
توزیع لوگ نرمال	log normal distribution	از توزیع های آماری پرکاربرد برای بدست آوردن پارامتر های طراحی (مانند دبی سیل) با یک احتمال وقوع مشخص می باشد.		
توزیع گامبل	Gumbel distribution	از توزیع های آماری پرکاربرد برای بدست آوردن پارامتر های طراحی (مانند دبی سیل) با یک احتمال وقوع مشخص می باشد.		

واحد	نماد	تعریف/تعاریف	عنوان به لاتین	عنوان به فارسی
		از توزیع های آماری پرکاربرد برای بدست آوردن پارامتر های طراحی (مانند دبی سیل) با یک احتمال وقوع مشخص می باشد.	log Pearson type III distribution	توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳
		شامل مجموعه ای از روش های مبتنی بر روابط ریاضی که برای پیش بینی مقادیر سیلاب و یا هر پارامتر دیگر با توجه به فیزیوگرافی حوضه آبریز و یا سایر پارامتر ها بدست می آید.	Regional regression	رگرسیون منطقه ای
		به مجموعه روابطی اطلاق می شود که توسط محققان مختلف برای پیش بینی مقادیر سیلاب ارائه شده اند.	Empirical Equations	معادلات تجربی
		از روش های تجربی پیش بینی سیلاب می باشد.	Fuller	رابطه فولر
		از روش های تجربی پیش بینی سیلاب می باشد.	Dicken	رابطه دایکن
		از روش های تجربی پیش بینی سیلاب می باشد.	Creager	رابطه کریگر
		روشی برای بدست آوردن دبی سیلاب مبتنی بر خصوصیات بارش می باشد.	Rational	روش منطقی
		روشی برای بدست آوردن دبی سیلاب مبتنی بر خصوصیات بارش می باشد.	SCS- NRCS-CN method	روش SCS
		ترسیم مقدار بارش در مقابل بازه های زمانی می باشد.	Rain Hyetograph	هایتوگراف بارش
		نموداری است که تغییرات دبی رواناب را نسبت به زمان نشان می دهد.	Hydrograph	هیدروگراف

واحد	نماد	تعریف/تعاریف	عنوان به لاتین	عنوان به فارسی
	UH	هیدروگرافی است که ارتفاع رواناب در آن به اندازه یک واحد باشد. یعنی اگر حجم رواناب این هیدروگراف را بر سطح حوضه تقسیم کنیم ارتفاع حاصل برابر با ۱ گردد.	Unit Hydrograph	هیدروگراف واحد
	SUH	هیدروگرافی است که براساس ویژگی های فیزیکی حوضه آبریز بدست آمده است و زمانی استفاده می گردد که آمار بارندگی و دبی در دسترس نباشد.	Synthetic Unit Hydrograph	هیدروگراف واحد مصنوعی
		از روش های است که برای تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی استفاده می گردد.	Snyder Method	روش اشنايدر
		روش هایی برای پیش بینی وضعیت سيل در نقطه ای مشخص از رودخانه و نحوه طغیان و فروکش کردن سيلاب می باشد.	Flood Routing	رونديابی سيل
		شامل مجموعه روش هایی برای روندیابی سيل در رودخانه ها و کانال ها می باشد.	Channel Routing	رونديابی کانال
		روشی برای روندیابی سيل در کانال ها و آبراهه های طبیعی می باشد.	Muskingum Method	روش ماسکینگهام
		روشی برای روندیابی سيل در کانال ها و آبراهه های طبیعی می باشد.	Muskingu cunge	روش ماسکینگهام گانج
		روشی برای روندیابی سيل در کانال ها و آبراهه های طبیعی می باشد.	Reservoir Routing	رونديابی مخزن
year	T	متوسط تعداد سال های بین دو واقعه حدى در هیدرولوژی می باشد.	Return Period	دوره بازگشت

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
آنالیز ریسک	Risk Analyze	به مجموعه روش ها یا اقداماتی گفته می شود که به منظور تعیین خسارات ناشی از سیل در دوره بازگشت های مختلف یا به منظور تعیین دوره بازگشت استفاده می گردد.	Risk	
آبراهه	Stream	محدوده ای از خط القعر ها که رواناب در میان کف و بدنه آن در زمان بارندگی جریان پیدا می کند. و یا ویژگی زمین طبیعی که بوسیله عبور رواناب بوجود آمده و یا محل عبور رواناب با عمق کم می باشد.		
رودخانه	River	یک آبراهه طبیعی که آب در ۹۰ درصد مواقع در آن جریان داشته و به اقیانوس یا دریا و یا یک رودخانه بزرگ دیگر ختم می شود.		
رود فصلی	seasonal river	نوعی رودخانه که فقط در زمان بارندگی آب در آن ها جریان دارد.		
دبی	Discharge	حجم آب عبوری از یک سطح مقطع معین در واحد زمان.	Q	m^3/s
حوضه آبریز	Drainage Basin	به مساحتی از زمین گفته می شود که اطراف آن را ارتفاعات در برگرفته و لذا رواناب حاصل از بارندگی روی این سطح در گودترین نقطه آن تمرکز می یابد و از آن نقطه خارج می گردد.		
آبراهه اصلی	Main Stream	بلندترین طول آبراهه حوضه آبریز که آبراهه های دیگر به آن می ریزد.		
طول حوضه آبریز	Length of Drainage Basin	معمولا برابر با طول بلندترین آبراهه اصلی.	BL	BL(Km)

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
نقطه تمرکز	Point of Concentration	در یک حوضه آبریز، رواناب سطحی در نقطه واحدی تجمع پیدا کرده و از آن نقطه خارج می گردد که به آن نقطه تمرکز می گویند.		
شیب حوضه آبریز	Drainage Basin Slope	از ویژگی های حوضه آبریز می باشد که تاثیر به سزایی در محاسبه زمان تمرکز دارد.	BS	%
سطح حوضه آبریز	Drainage Basin Area	از ویژگی های حوضه آبریز می باشد.	A	Km^2
شیب آبراهه اصلی	Main Stream Slope	از ویژگی های حوضه آبریز می باشد.	MSS	%
زمان تمرکز	Time of Concentration	حداکثر زمانی که طول می کشد تا آب از دورترین نقطه حوضه آبریز مسیر هیدرولوژیکی خود را طی کرده و به نقطه خروجی می رسد.	T_c	Min or Hr
زمان تاخیر	Lag Time	فاصله میان مرکز بارش و نقطه اوج هیدروگراف	T_L	Min or Hr
شبکه رودخانه یا شبکه زهکشی	Drainage System	به مجموعه آبراهه هایی گفته می شود که در سطح حوضه عمل تخلیه ی جریان های سطحی را انجام می دهد. برخی از این آبراهه ها به صورت دائم و برخی به صورت فصلی می باشند.		

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
رواناب سطحی	Runoff Surface	هر گاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ به داخل خاک بیشتر باشد بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی می ماند. این بخش بعد از پر کردن گودی های سطح زمین در امتداد و در جهت شیب جریان پیدا کرده و از طریق شبکه رودخانه از حوضه آبریز خارج می گردند. به این بخش از بارندگی رواناب سطحی گفته می شود.		
سیل	Flood	رویدادی ناگهانی است که در اثر ریزش نزولات جوی یا شکستن سد بوجود آمده و تغییرات عمق آب نسبت به زمان در آن بسیار سریع است. سیل باعث سریز آب از روی بدنه رودخانه یا مسیر طبیعی جریان شده و ممکن است باعث خسارات مالی و جانی گردد.		
سیل طرح	Design Flood	سیلابی که براساس آن طراحی یک سازه آبی انجام و اجرا می شود.	Q_d	m^3/s
حداکثر سیل محتمل	Probable Maximum Flood	به سیلی که در بحرانی ترین شرایط از نظر هیدرولوژیکی و هواشناسی و فیزیکی حوضه آبریز می تواند اتفاق افتد که آن را با نماد PMF نشان می دهند.	PMF	m^3/s
سیل براساس دوره بازگشت	Frequency Based Flood	سیلی که براساس تحلیل فراوانی داده های موجود و در نظر گرفتن دوره بازگشت بدست می آید.		

واحد	نماد	تعریف/تعاریف	عنوان به لاتین	عنوان به فارسی
m^3/s	PMP	بزرگترین بارانی که از نظر مقدار با یک تداوم مشخص احتمال وقوع آن را میتوان انتظار داشت و در شرایط هواشناختی موجود امکان تجاوز از آن وجود ندارد.	Probable Maximum Precipitation	حداکثر بارندگی محتمل
Mm or in	P_{24}	اگر در یک ایستگاه هواشناسی آمار بارش های روزانه را در نظر بگیریم، یک روز (۲۴ ساعت) در طول سال وجود خواهد داشت که مقدار بارندگی آن از بقیه رورهای سال بیشتر است.	Maximum Daily Rainfall	حداکثر بارش روزانه
		مقدار کل متوسط نزولات جوی در طول هر یک از ماه های سال که با استفاده از آمار دراز مدت تخمین زده می شود.	Mean Monthly Rainfall	متوسط بارندگی ماهانه
		به مقدار کل بارانی گفته می شود که به طور متوسط در طول سال در یک نقطه یا سطح حوضه آبریز با استفاده از آمار دراز مدت تخمین زده می شود.	Mean Annual Rainfall	متوسط بارندگی سالانه
mm/hr	i	مقدار بارندگی در واحد زمان است.	Rain Intensity	شدت بارندگی
		بیشترین مقدار دبی ثبت شده در رودخانه در طی یک سال می باشد.	Instantaneous Peak Flow	حداکثر دبی لحظه ای
		جریان متوسط در طول یک روز یا ۲۴ ساعت.	Daily Flow	دبی روزانه
		بیشترین دبی روزانه ثبت شده در یک ایستگاه هیدرومتری در طول یکسال می باشد.	maximum daily flow	حداکثر دبی سالانه
		مقدار جریان است که یک چهارم از سال دبی مساوی یا بزرگتر از آن باشد.		دبی نرمال در حالت پر آبی

عنوان به فارسی	عنوان به لاتین	تعریف/تعاریف	نماد	واحد
دبی نرمال در حالت کم آبی		مقدار جریانی است که سه چهارم از سال دبی مساوی یا بزرگتر از آن باشد.		
دبی عادی	Normal	مقدار جریانی است که نیمی از سال دبی مساوی یا بزرگتر از آن باشد.		
دبی میانگین	Mean	مقدار جریانی است که از حاصل جمع حجم آبی که از رودخانه عبور می کند و تقسیم آن بر زمان عبور بدست می آید.		
ضریب رواناب	Runoff coefficient	ضریبی که نشان دهنده درصدی از بارندگی است که به رواناب تبدیل می شود.	C	
شماره منحنی	Curve Number	نمایه ای است که نشاندهنده خصوصیت حوضه آبریز از نظر نفوذپذیری است.	CN	
تلفات بارندگی	Loss Of Rain	تلفات شامل بخشی از باران است که در رواناب مستقیم مشارکت نمی کند و از اختلاف بین هیتوگراف باران کل و هیتوگراف باران مازاد به دست می آید.	$\emptyset$	
منحنی شدت - مدت - فراوانی	Intensity- Duration - Frequency		IDF	
شدت نفوذ	Intensity of infiltrate	به ارتفاع آبی گفته می شود که اگر در روی زمین وجود داشته باشد می تواند در واحد زمان در زمین نفوذ کند.		
آب های زیر سطحی	Sub-Surface Water	به کلیه آب هایی گفته می شود که در زیر لایه سطحی زمین قرار گرفته اند.		

واحد	نماد	تعریف/تعاریف	عنوان به لاتین	عنوان به فارسی
		به آن قسمت از ابهای زیر سطحی گفته می شود که بتواند به صورت آزادانه در اثر نیروی ثقل در واحد زمان در داخل منافذ و یا درز و ترک ها حرکت نماید.	Ground Water	آب زیرزمینی
		زمینی که با پوششی از بقایای گیاهی ناشی از برداشت محصول پوشانده شده باشد.	Crop residue cover	پوشش یا بقایای گیاهی
		زمین های کشاورزی که محصولات آن پشت سرهم و در یک ردیف قرار داشته باشند.	Straight row	ردیف های مستقیم
		به زمین های کشاورزی ای گفته می شود که محصولات آن بر روی خطوط تراز قرار داشته باشند.	Contoured	کاشت روی خطوط تراز
		به زمین های کشاورزی ای گفته می شود که به صورت پله ای به منظور حفاظت از خاک منطقه ساخته شده اند و محصولات آن بر روی خطوط تراز قرار دارند.	Contoured & terraced	کاشت روی خطوط تراز بصورت پله ای
		رابطه تجربی حاکم بر کانال های روباز	Manning equation	معادله مانینگ
	n	ضریب بدون بعد استفاده شده در معادله مانینگ	Manning coefficient	ضریب زبری مانینگ
m	p	محیط مربوط به سطحی مقطعی که خیس است.	Wetted Perimeter	محیط خیس شده

واحد	نماد	تعریف/ تعاریف	عنوان به لاتین	عنوان به فارسی
m	R	نسبت سطح مقطع جریان به محیط خیس شده	Hydraulic Radius	شعاع هیدرولیکی

مراجع

- ۱- امین علیزاده (۱۳۹۴)، اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه امام رضا (ع) مشهد، مشهد
- ۲- راهنمای طراحی و اجرای سیستم زهکشی آب های سطحی و زیر سطحی در راه ها، راه آهن و فرودگاه (۱۳۸۹)، وزارت راه و ترابری پژوهشکده حمل و نقل
- ۳- فتحیان فرشاد (۱۴۰۱)، ارزیابی روندها و تغییرات مقادیر حدی متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت تاثیر تغییر اقلیم با استفاده از داده های پروژه CORDEX و روش جدید ریزمقیاسن مایی در ایران، صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور، تهران

- 4- Azizian,A (2018). Uncertainly analysis of time of concentration equations based on first-order analysis (FOA) method, American journal engineering and applied sciences, 11 (1): 327,341.
- 5- Ramachandra Rao.A (2000), Selection and Evaluation of Parent Distributions: Conventional Moments, CRC Press, Washangton DC.
- 6- Sultan, D (2022). Evaluation of lag time and time of concentration methods in small tropical watershed in Ethiopia, Journal of hydrology (science direct), 101025(1), p.1-11.
- 7- FHWA (2013). FHWA Order 1324.1B, Washington, DC, obtained from: [http://www.fhwa.](http://www.fhwa.dot.gov/legisregs/directives/orders/13241b.cfm)
- 8- [dot.gov/legisregs/directives/orders/13241b.cfm](http://www.fhwa.dot.gov/legisregs/directives/orders/13241b.cfm), last accessed August 18, 2016. Peterson,P, Hydrology 2 - Peak Flow for Ungaged Sites, www.PDH-PRO.com.
- 9- Raj.A (2017), Estimation of runoff using curve number method and its modifications, Journal of Structural and Transportation Studies, Volume 2 Issue 1, p.1-9.
- 10- Alifujiang.Y(2021), Trend analysis of annual and seasonal river runoff by using unnovative trend analysis with significant test, water,95, p.1-19.
- 11- Muluken.L(2020), Techniques of filling missing values of daily and monthly, Science Forecast Publications, 1034(1), p.1-5.
- 12- Jamali.A, Calibration of hydrological empirical methods for estimation the flood peak in Urmia Lake basin in Iran, The Advisory Committee on Water Information
- 13- Mahdavi,M (1999). Applying Hydrology, Tehran University press, 401 pages.
- 14- Sharad K.jain (2019),Engineering Hydrology, the mc grow.hill companies,608 pages.
- 15- Cakir.H (2021), Application of the Muskingum-Cunge routing method with variable parameters in a gauged creek reach, International Advanced Researches and Engineering Journal, 02,8, 268-274.
- 16- Mohammad.Q (2014), Calculating the Coefficients of Muskingum and Muskingum-Cunge Methods for a reach from Shatt-Al-Hilla river, Journal of Babylon University,4,5,749-762.
- 17- Best Practice Guidelines for Flood Risk Assessment (2009), the Mekong commission secretariat.
- 18- P.J.Ward (2011), How are flood risk estimates affected by the choice of return-periods? , Natural hazards and earth system science.

-
- 19- M. Q. I. Khan and et all (2001), International classification and codification of watershed and river basins, Journal of water resource planning and management, 2(10), p.306-315.
 - 20- Robert Horton (1932), 'Drainage-Basin characteristics', American geophysical union,
 - 21- Isabel Kaufmann Almeida et all (2014), Estimation on time of concentration of overland flow watershed: a review, São Paulo, UNESP, Geociências, v. 33, n. 4, p.661-671, 2014.

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. گزارش حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می باشد.

Abstract:

The Suburban Hydrological Design Manual is a reference for estimating rainfall and flood design. Hydrological parameters including return period, concentration time, etc. are estimated in this chapter and finally the discharge parameter is the output of this manual and is used as input to hydraulic study for simulating river and other hydraulic structures.

Regulations on Suburban Road and railway Hydrology

[No. 800 – 20]

Project Manager: Rahyab Melal Consulting Engineers

Borhan Rostami	Civil Engineer (Project Manager)
Mozaffar Biglar	Civil Engineer
Robabe Ghadiri	Civil Engineer
Loghman Rostami	M.Sc. of Civil Engineer

Writing and Editing:

Name	Job Title	Degree
Mehdi Naderi Paykam (MNP)	Designer (Rahyab Melal Consulting)	M.Sc.
Farshad Fathian	University Faculty (Vali-Asr University)	Ph.D.
Alireza Mohebzadeh Fatahi	Designer (Via International Consulting)	Ph.D.

Guidance and Steering Group Members:

Alireza Tootoonchi	Deputy for Technical and Executive Affairs, Consultants and Contractors at the Organization for Planning and Budget
Taher Fathollahi Marnani	Head of Technical and Executive Affairs, Consultants and Contractors at the Organization for Planning and Budget
Sajjad Heydari Hasanklou	Expert in Technical System Affairs, Consultants, and Contractors of the Planning and Budget Organization of the country
Borhan Rostami	Chairman of the Board of Rahyab Melal Consulting Engineers
Soheil Al-Rasoul	CEO Rahab Consulting Engineers

Islamic Republic of Iran
Planning and Budget Organization

Iranian Highways Manual (IHM)

Regulations on Suburban Road and railway Hydrology

IR-Code 800 – 20
Last Edition: 02.05.2025

Deputy of Technical, Infrastructure and Production
Department of Technical & Executive Affairs

Nezamfanni.ir

2025

این ضابطه

با عنوان "آیین نامه راه های ایران - هیدرولوژی راه های

برون شهری" پس از ارائه مقررات، در قالب ۱۵ فصل به مطالعه

و بررسی وضعیت منطقه از نقطه نظر هیدرولوژی و استخراج

پارامتر های مورد نیاز می پردازد.