دانشگاه شهید چمران اهواز
دانشکده مهندسی علوم آب
گروه سازه‌های آبی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
عنوان:
جایگزینی مساحت حوضه به جای طول آبراهه در روندیابی روان‌آب به روش روندیابی تأخیری

ارائه:
عصمت السادات علوی

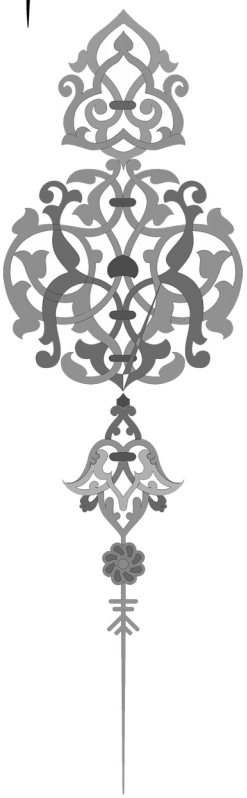
استاد راهنما:
دکتر علی محمد آخوندعلی

استاد مشاور:
دکتر مهدی قمشی

شهریور ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به



پدر عزیز

و مادر مهربانم

خدا در کتاب مقدسش فرمود:

إِنَّ فِی خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالأَرْضِ وَاخْتِلاَفِ اللَّیلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْکِ الَّتِی تَجْرِی فِی الْبَحْرِ بِمَا یَنفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنزَلَ اللّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِن مَّاءٍ فَأَحْیَا بِهِ الأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِیهَا مِن کُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِیفِ الرِّیاحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَینَ السَّمَاءِ وَالأَرْضِ لآیَاتٍ لِّقَوْمٍ یَعْقِلُونَ

به راستی که در آفرینش آسمانها و زمین، و آمد و شد شب و روز، و کشتیهایی که در دریا به سود مردم در حرکتند، و آبی که خداوند از آسمان نازل کرده، و با آن، زمین را پس از مرگ، زنده نموده، و انواع جنبندگان را در آن گسترده، و (همچنین) در تغییر مسیر بادها و ابرهایی که میان زمین و آسمان مسخرند، نشانه‌هایی است (از ذات پاک خدا و یگانگی او) برای آن قوم که عقل دارند و می‌اندیشند!

سوره بقره آیه ۱۶۴

و وصیت نمود رسول حق به این قوم که، علم بیاموزید، از گهواره تا گور، در چین یا ثریا، بر نیزه باشید یا غرقه موج دریا.

پس شکر خدای را و درود بر رسولش که سلمان و اهل سرزمینش را از "قوم یعقلون" نمود.

این مختصر حاصل زحمات بیست و چند ساله پدر عزیزم سید محمد علی علوی و مادر مهربانم سیده عذرا آهویی، همکاری برادرم سید عطاء اله علوی و تلاش هجده ساله ی کلیه مربیان، معلمین و اساتید عزیزم به خصوص جناب آقای دکتر آخوند علی است که مرا تا رسیدن به این مرحله یاری نموده اند. ضمن تشکر و قدردانی از تلاش همه آنها، عزت، سلامت و سربلندی این عزیزان را از خداوند متعال خواهانم.

پیشاپیش از همه خوانندگان این سطور بابت اشتباهات احتمالی موجود در متن این رساله پوزش می طلبم

عصمت السادات علوی

شهریور ۱۳۸۸

رمضان المبارک ۱۴۳۰

نام خانوادگی: علوی	**نام**: عصمت‌السادات
عنوان: **جایگزینی مساحت حوضه به جای طول آبراهه در روندیابی روان‌آب سطحی به روش روندیابی تأخیری**	
استاد راهنما: علی‌محمد آخوندعلی	**استاد مشاور**: مهدی قمشی
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته**: سازه‌های آبی
دانشکده: مهندسی علوم آب	**گروه**: سازه‌های آبی
تاریخ دفاع: ۱۳۸۸/۶/۲۲	**تعداد صفحات**: ۱۱۲ صفحه
واژه‌های کلیدی: روند یابی روان آب سطحی، روند یابی تأخیری، زمان تأخیر، Eastern Creek، زیر حوضه، طول آبراهه، مساحت زیر حوضه	

چکیده:

محاسبه مقدار و شکل و شرایط سیلاب همواره یکی از اهداف علم هیدرولوژی بوده که نتایج آن در دیگر شاخه‌های علوم آب دارای اهمیت حیاتی است. با توجه به این موضوع که اکثر روان‌آب‌ها بر اثر بارندگی به وجود می‌آیند و گستردگی شبکه باران‌سنجی در کشور روش‌های روندیابی روان‌آب سطحی به ما این فرصت را می‌دهند که با هزینه کمتر در ابتدای مسیر رودخانه قبل از هر ایستگاه آب‌سنجی یا مخزن هر سد، در حین بارندگی، اقدام به روندیابی روان‌آب سطحی کرده و میزان سیلاب محتمل را قبل از وقوع پیش‌بینی کرده از خسارات احتمالی پیشگیری کنیم. در این زمینه، محقق پیشنهاد اصلاح روش روندیابی روان‌آب سطحی روندیابی تأخیری را دارد. به این صورت که در این روش و برای محاسبه زمان تأخیر هر زیرحوضه، K_i، به نمایندگی از سطح زیرحوضه، به جای استفاده از طول آبراهه زیرحوضه از جذر مساحت استفاده شود. با توجه به بارش باران بر سطح حوضه این پیشنهاد منطقی‌تر از فرض فعلی به نظر می‌رسد. برای این منظور روی حوضه تحقیقاتی Eastern Creek به مساحت ۲۴/۹ کیلومتر مربع با ۱۵ رخداد روش پیشنهادی با روش مبنا مقایسه شد. برای از بین بردن تأثیرات دیگر عوامل سعی شد با مهندسی معکوس تأثیر خطا در محاسبه باران مازاد به حداقل برسد. برای مقایسه این دو روش از مقایسه دبی‌های اوج و زمان وقوع دبی اوج و شکل آبنمود محاسباتی با مقادیر مشاهداتی، توسط توابع آماری متوسط خطای پیش‌بینی (E_{a})، شیب خط برازش (a)، ضریب همبستگی (R^2) و متوسط جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. در تمام موارد مقایسه‌ای کیفی و کمی روش پیشنهادی نتیجه بهتری نسبت به روش اصلی داشت. به جز متوسط جذر میانگین مربعات خطای دبی‌های هم‌عرض (RMSE) که تفاوت معنی‌داری بین خروجی دو روش وجود نداشت. در کل در حوضه مورد بررسی روش پیشنهادی به روش روندیابی تأخیری ارجحیت داشت.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه:..... ۱

فصل دوم: پیشینه تحقیق:.....۶

۲-۱ مروری بر روش‌های روندیابی روان آب سطحی..... ۷

۲-۱-۱هیدروگراف‌های واحد.....۸

۲-۱-۲ هیدروگراف واحد لحظه‌ای ۱۰

۲-۱-۳ هیدروگراف مصنوعی.....۱۱

۲-۱-۳-۱ هیدروگراف اشنایدر ۱۱

۲-۱-۳-۲ هیدروگراف SCS.....۱۲

۲-۱-۳-۳ هیدروگراف مثلثی.....۱۳

۲-۱-٤ روش مدت-مساحت ۱۵

۲-۱-۵ روش روندیابی تأخیری ۱٦

۲-۲ پیشینه تحقیق:..... ۱۷

فصل سوم: شرح روش تأخیری(روش مبنا)و تئوری مسئله:.....۲۳

۳-۱ کلّیات..... ۲٤

۳-۱-۱روندیابی مخزن.....۲٤

۳-۱-۲ روندیابی در رودخانه:.....۲۶

۳-۲ روش روندیابی تأخیری:..... ۳۱

۳-۳ روش پیشنهادی:..... ۳۳

فصل چهارم: مواد و روش ها:.....۳۶

٤-۱ معرفی حوضه آبریز:..... ۳۷

٤-۲ داده‌های بررسی شده:..... ٤۰

٤-۳ محاسبه میزان باران مازاد برای هر زیرحوضه ٤۳

٤-٤ محاسبه مرکز ثقل زمانی آبنمود و هیدروگراف..... ٤٥

٤-٥ محاسبه ضرایب روندیابی ٤۷

٤-٦ روندیابی حوضه..... ٤۷

فصل پنجم: نتایج و بحث:.....۴۹

٥-۱ مقدمه: ٥۰

٥-۲ شاخص‌های آماری مورد استفاده: ٥۰

٥-۳ نتایج به دست آمده و بحث ٥۲

٥-۳-۱ حجم روان‌آب ٥۳

٥-۳-۲ ضریب ∝.....٥۳

۵-۳-۳ ضریب K ٥٤

۵-۳-٤ دبی اوج ٥٦

۵-۳-۵ زمان رسیدن به دبی اوج ٥٨

۵-۳-٦ مقایسه دبی‌های هم‌عرض ٦١

۵-۳-۷ زمان شروع آبنمود ٦٢

۵-۳-۸ طول بازه زمانی وقوع هیدروگراف روان‌آب سطحی ٦٣

۵-٤ نمونه یک رخداد مورد بررسی ٦٣

۵-٤-۱ اطلاعات آبنمود ٦٥

۵-٤-۲ اطلاعات باران و تلفات ٦٦

۵-٤-۳اطلاعات روندیابی ٦٦

۵-٤-٤ متغیرهای آماری به دست آمده برای این نمونه ٦٨

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات: ۷۱

٦-۱ نتیجه‌گیری ۷۲

٦-۲ پیشنهادات ۷٤

منابع ۷۵

ضمیمه ۸۱

فهرست اشکال

فصل دوم

شکل۲-۱ هیدروگراف مجموع و محاسبه هیدروگراف واحد t' ساعته..... ۹

شکل۲-۲ نمودار شماتیکی هیدروگراف واحد SCS و جدول نسبت‌های آن ۱۳

شکل۲-۳ هیدروگراف مثلثی ۱۴

فصل سوم

شکل۳-۱ روندیابی مخزن.....۲۵

شکل۳-۲ ذخیره آب در مسیر رودخانه.....۲۷

شکل۳-۳ تغییرات ذخیره در طی جریان.....۲۸

شکل۳-۴ روش آزمون و خطا برای یافتن مقدار X وK.....۳۰

فصل چهارم

شکل۴-۱ نقشه زیرحوضه‌ها و موقعیت باران‌سنج‌ها در حوضه Eastern Creek.....۳۸

شکل۴-۲ شکل شماتیکی ارتباط بین آبراهه زیرحوضه‌ها.....۳۹

شکل۴-۳ هیتوگراف باران و تلفات اولیه، پیوسته و باران مازاد.....۴۴

فصل پنجم

شکل۵-۱ اختلاف دبی‌های اوج محاسبه شده از خط ۴۵ درجه.....۵۷

شکل۵-۲ پراکندگی خطای نسبی محاسبه دبی اوج در دو روش روندیابی.....۵۸

شکل۵-۳ اختلاف زمان‌های وقوع دبی اوج محاسبه شده از خط ۴۵ درجه..... ۶۰

شکل۵-۴ پراکندگی خطاهای نسبی محاسبه زمان وقوع دبی اوج در دو روش روندیابی ۶۰

شکل۵-۵ باران، تلفات و باران مازاد باران سنج ایستگاه۱ در رخداد نمونه..... ۶۹

شکل۵-۶ باران، تلفات و باران مازاد باران سنج ایستگاه ۲ در رخداد نمونه..... ۶۹

شکل۵-۷ آبنمودهای محاسباتی و مشاهداتی رخداد نمونه..... ۷۰

فهرست جداول

فصل چهارم

جدول۴-۱ مساحت، طول آبراهه تا خروجی کل و تا تقطه بعد در روندیابی برای هر زیرحوضه..... ۳۹

جدول۴-۲ ضرایب تأثیر میزان باران ثبت شده درهر باران‌سنج روی زیرحوضه‌ها..... ۴۲

فصل پنجم

جدول۵-۱ نتایج میزان همبستگی، متوسط خطای نسبی و اختلاف با خط ۴۵درجه در برآورد دبی اوج برای دو روش روندیابی تأخیری و روش پیشنهادی..... ۵۶

جدول۵-۲ نتایج میزان همبستگی، متوسط خطای نسبی و اختلاف با خط ۴۵درجه در برآورد زمان وقوع دبی اوج برای دو روش روندیابی تأخیری و روش پیشنهادی..... ۵۹

جدول۵-۳ شاخص RMSE هر رخداد برای دو روش روندیابی ۶۲

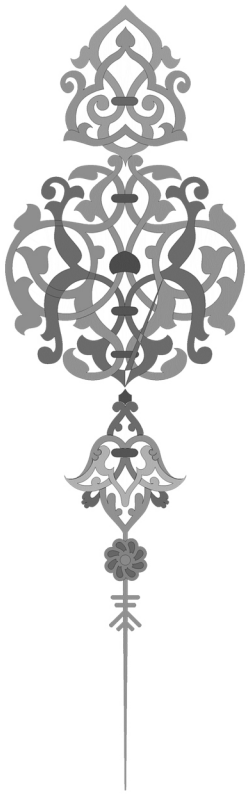
جدول۵-۴ جدول داده‌های ورودی و خروجی‌های انتهایی روندیابی در رخداد نمونه ۶۴

جدول۵-۵ ضرایب روندیابی به روش روندیابی تأخیری..... ۶۷

جدول۵-۶ضرایب روندیابی به روش روندیابی تأخیری ۶۷

جدول۵-۷ متغیرهای آماری به دست آمده در روندیابی رخداد نمونه..... ۶۸

فصل اول



مقدمه

مقدمه

جمعیت جهان در حال افزایش است. مراکز صنعتی، شهری و کشاورزی در حال گسترش است. جاده‌ها و پل‌ها ابزار ارتباطی بین آنها هستند که باید در مقابل سیلاب‌ها از آنها حفاظت کرد. سدها که خود برای کنترل سیل، تولید برق و ذخیره آب برای مواقع کم آبی ساخته می‌شوند نیاز به محافظت در مقابل سیلاب‌های مخرب دارند. در هنگام طراحی هر سازه اعم از شهری، ارتباطی، صنعتی و خود سازه‌های انتقال و کنترل آب مثل کالورت یا کانال انتقال آب و سازه‌های مربوط به آن باید به سیلاب‌های مخاطره‌آمیز توجه کرد.

امکان کنترل سیلاب‌ها با دانستن خصوصیات آنها ممکن است. مهندسین در هنگام طراحی با دانستن شرایط سیلابی که طرح را تهدید می‌کند می‌توانند طرح را از مخاطرات آینده حفظ کنند. تخمین درست حجم سیلاب، میزان دبی اوج آن، فاصله زمانی وقوع دبی اوج از شروع سیلاب و زمان فروکش سیلاب، به طراح کمک می‌کند تا طرح را با دقت و حفاظت بالا بدون صرف هزینه اضافه برای طراحی و اجرای طرح‌های محتاطانه محاسبه کند.

اکثر جریانات سیلابی در رودخانه‌ها و مسیل‌ها بر اثر بارندگی در سطح حوضه اتفاق می‌افتد، با توجه به گستردگی شبکه باران‌سنجی در سطح کشورها امکان تخمین میزان سیلاب با کمک میزان بارندگی وجود دارد. بسیاری از حوضه‌های آبریز فاقد ایستگاه آب‌سنجی و آمار کافی از میزان روان‌آب است و تصمیم‌گیری در مورد حجم آب قابل استحصال این حوضه‌ها برای بخش‌های صنعت، کشاورزی و شرب، بدون مدل مناسب غیرممکن است. همچنین طراحی هر سازه کنترل سیلاب یا سیستم تخلیه زه‌آب به آگاهی از میزان روان‌آب تولیدی و دبی اوج آن دارد. روش‌های روندیابی روان‌آب سطحی این امکان را به ما می‌دهد که با داشتن میزان بارندگی در سطح حوضه،

آبنمود حاصل از روان‌آب سطحی را در خروجی حوضه به دست آوریم. روندیابی روان‌آب سطحی در حوضه یک آبراهه راهی است برای محاسبه آبنمود حاصل از بارش در نقطه تمرکز حوضه که می‌توان آن را نقطه آغازین روندیابی سیلاب در سیستم رودخانه دانست. به این طریق اطلاعات هیتوگراف باران که توسط باران‌سنج‌ها ثبت می‌شود به عنوان داده ورودی به کار می‌رود و داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی داده شاهد خواهند بود.[۱۱] این آبنمود که در ابتدای مسیر رودخانه‌ای هر حوضه به دست می‌آید، به عنوان داده ورودی در روش‌های روندیابی سیلاب قابل استفاده است. در این صورت در بالادست هر سد یا ایستگاه هیدرومتری، برای هر بارندگی تخمینی از شکل و حجم آبنمود و میزان و زمان دبی اوج آن که پارامترهای اصلی هر آبنمود هستند را خواهیم داشت. از دیگر مزیت‌های روش‌های روندیابی روان‌آب سطحی برآورد آبنمود حاصل از بارندگی هم زمان با بارش و بدون تأخیر است. از این روش با توجه به سرعت آن در سیستم‌های هشدار سیلاب استفاده می‌شود که مدت زمان بیشتری را برای تدبیر و پیشگیری از حوادث در اختیار مسئولین مربوطه قرار می‌دهد.

طبق آمار ۵۰ ساله ستاد حوادث غیرمترقبه از مجموع خسارات ۲۰۰ میلیارد ریالی سالانه حوادث غیرمترقبه استان خوزستان ۷۸٪ ناشی از سیل بوده است که بخش اعظم آن در صورت پیش‌بینی سریع و دقیق میزان سیلاب قابل اجتناب خواهد بود.[۱۰]

روش‌های مختلفی برای روند یابی روان‌آب سطحی وجود دارد مثل روش هیدروگراف واحد کلارک، هیدروگراف واحد SCS ، روندیابی تأخیری[1] و غیره. روش روندیابی تأخیری در واقع تعمیم روش ماسکینگام[2] در روندیابی سیلاب در سیستم رودخانه به سطح حوضه است. در این روش

[1] lag & route method
[2] muskingum

سطح حوضه متناسب با شبکه باران‌سنجی به چند زیرحوضه تقسیم می‌شود. آنگاه هیتوگراف بارانی را که بر سطح زیرحوضه‌ها باریده به عنوان هیدروگراف‌های ورودی در نظر می‌گیرند. در این روش برای روندیابی از ضرایب ماسکینگام استفاده شده و در محاسبات طول آبراهه به نمایندگی سطح زیرحوضه در فرمول محاسبه K یا زمان تأخیر حوضه وارد شده است. K در این روش روندیابی برابر زمانی که طی آن هیتوگراف باران سطح حوضه به هیدروگراف روان‌آب سطحی در خروجی تبدیل می‌شود.

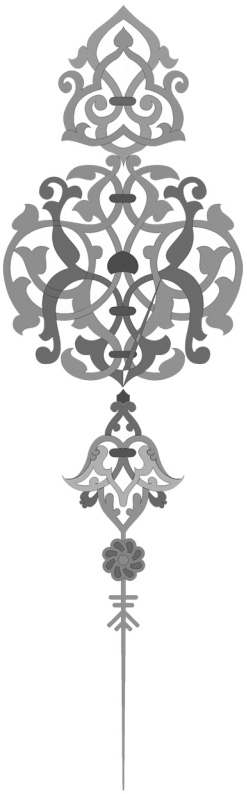
اما بارندگی در اصل در کل سطح زیرحوضه‌ها اتفاق افتاده است و تغییرات هیتوگراف ورودی تا تبدیل شدن به آبنمود در خروجی نه تنها در آبراهه که در کل سطح حوضه اتفاق افتاده است. پس منطقی‌تر به نظر می‌رسد که به جای طول آبراهه در روابط از مساحت یا توانی از مساحت استفاده کنیم که نماینده بهتری از سطح حوضه است. این فرض نه تنها منطقی‌تر است، ما را از برداشت طول آبراهه‌ها بی‌نیاز می‌کند زیرا با جایگزینی مساحت به جای طول دیگر در هیچ‌یک از مراحل روندیابی نیازی به طول آبراهه نخواهد بود. در حالی که مساحت پیش از این برای محاسبه حجم جریان سطحی به کار رفته است. به این ترتیب اگر حتی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین دو روش روندیابی تأخیری و روش پیشنهادی نباشد، به دلیل کاهش یک ردیف از اطلاعات ورودی و یک سری از اندازه‌گیری‌ها روش پیشنهادی به روش قبل ارجحیت خواهد داشت.

در این تحقیق تأثیر جایگزینی پارامتر جذر سطح بجای طول آبراهه در روش روندیابی تأخیری (Lag & Route M.) که یکی از روش‌های روندیابی سیلاب است بررسی شده است. سعی شده تأثیر این جایگزینی، روی پارامترهای اصلی آبنمود حاصله مورد بررسی قرار گیرد. همان‌گونه

که اشاره رفت، با این تغییر حتی اگر تفاوت معنی‌داری بین نتایج روندیابی با روش اصلی وجود نداشته باشد به دلیل حذف یک سری داده ورودی - طول آبراهه – و یک خط از محاسبات، بر روش اصلی ارجحیت می‌یابد. در کل هدف از این تحقیق یافتن روشی است که با دقت و سرعت مناسب و هزینه کم‌تر، با استفاده از اطلاعات بارندگی بر سطح حوضه، سیلابی را که در پایین‌دست حوضه رخ خواهد داد را محاسبه و پیش‌بینی نمود.

فصل دوم

پیشینه تحقیق



۲-۱ مروری بر روش‌های روندیابی روان آب سطحی

روش‌های متعددی برای روندیابی روان آب سطحی پیشنهاد شده‌اند. انواع هیدروگراف‌های واحد، روش‌های تأخیر و تنسیق، هیدروگراف‌های مصنوعی، روش مدت - مساحت و روش‌های تجربی دیگر جزیی از این روش‌ها هستند. پایه اکثر این روش‌ها معرفی هیدروگرافی با شرایط خاص برای هر حوضه است. در این میان هیدروگراف‌های واحد از میان دیگر روش‌ها بسط و توسعه بیشتری یافته‌اند. هیدروگراف واحد به روشی اطلاق می‌شود که در آن برای هر حوضه آبنمودی متناظر با باران مازاد به حجم واحد و شدت ثابت در واحد زمانی مشخص، معرفی می‌شود که با ایجاد تناسب بین هیدروگراف واحد و باران موجود که واحد زمانی برابر با هیتوگراف واحد دارد، آبنمود حاصل از باران محاسبه می‌شود. مسلماً یافتن بارانی با حجم واحد و شدت ثابت برای مدت زمانی دلخواه، بعید به نظر می‌رسد. روش‌هایی برای تبدیل واحد زمانی آبنمود واحد به واحد زمانی دلخواه وجود دارد اما یافتن بارندگی با شرایط خاص هنوز هم سخت و پیچیده است. روش‌های مصنوعی برای ساخت آبنمود واحد وجود دارد که با فرض یک شکل مرجع برای آبنمود و ربط دادن اجزاء آن به مولفه‌های مختلف مرتبط با حوضه و یک سری از ضرایب که شکل هیدروگراف را با آبنمودهای حوضه مطابقت دهد، هیدروگرافی را به عنوان هیدروگراف واحد حوضه معرفی می‌کنند. یافتن شکل مرجع مناسب و ضرایب مورد نظر به آزمون و خطا و مقایسه بین روش‌های مختلف نیاز دارد. در این روش‌ها همواره ارتفاع هیدروگراف روان‌آب حوضه واحد در نظر گرفته می‌شود و چون بی‌نهایت واحد زمانی می‌توان برای هیتوگراف در نظر گرفت پس هر حوضه بی‌نهایت هیدروگراف واحد دارد.[۲۲]

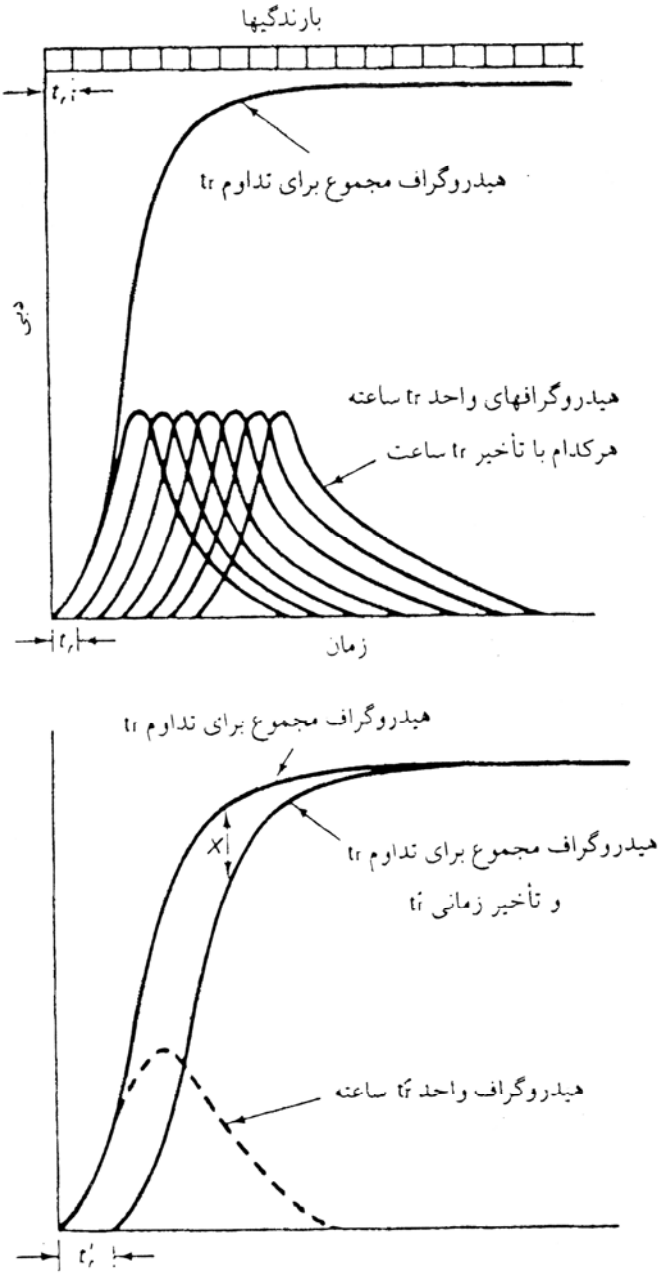
۲-۱-۱ هیدروگراف‌های واحد

آغاز معرفی این روش‌ها به سال ۱۹۳۲ برمی‌گردد که مهندسی امریکایی به نام شرمن[1] مفهوم هیدروگراف واحد[2] (UH) را پیشنهاد کرد. این هیدروگراف بر حسب تعریف دارای ارتفاع واحد است یعنی اگر حجم آبنمود بر سطح حوضه تقسیم شود نتیجه یک واحد طول عمق روان‌آب می‌شود. بر حسب مدت باران مازادی که این هیدروگراف را به وجود آورده هیدروگراف واحد مشخص می‌شود. پس برای بارانی t ساعته هیدروگراف واحد t ساعته داریم. با داشتن هیدروگراف واحد t ساعته هر حوضه می‌توان تمام بارش‌هایی را که با گام‌های زمانی t ساعته ثبت گردیده‌اند با برقراری تناسبی بین مقدار بارش مازاد در هر گام زمانی با مقدار واحد و ضرب آن در هیدروگراف واحد سپس جمع هیدروگراف‌های متوالی با رعایت تأخر زمانی هر یک نسبت به گام زمانی قبلی هیدروگراف باران مورد نظر محاسبه می‌گردد.

هیدروگراف واحد t_r ساعته قابلیت تبدیل به هیدروگراف واحد t'_r ساعته را دارد. فرض می‌کنیم بارانی با شدت ثابت که هیدروگراف واحد t_r ساعته از روی آن ساخته شده است به صورت مداوم ببارد هیدروگراف آن با جمع کردن تعداد نامتناهی از هیدروگراف‌های واحد که هر کدام نسبت به قبلی t_r ساعت تأخیر دارد، به دست می‌آید. این هیدروگراف که هیدروگراف مجموع یا S نام دارد بعد از گذشت چند بازه زمانی به دبی اوج ثابت و پایدار می‌رسد. برای یافتن هیدروگراف واحد t'_r ساعته، باید هیدروگراف S با t'_r ساعت تأخیر از خودش کم می‌شود. دبی‌های به دست آمده برای این هیدروگراف را در $\frac{t_r}{t\prime_r}$ ضرب می‌کنیم تا دارای ارتفاع روان‌آب واحد شود.

[1] Sherman
[2] unit hydrograph

هیدروگراف حاصل از این روش هیدروگراف t'_r ساعته مورد نظر برای حوضه است. در شکل ۲-۱ این روش حل نشان داده شده است.[۹]



شکل۲-۱ هیدروگراف مجموع و محاسبه هیدروگراف واحد 't ساعته