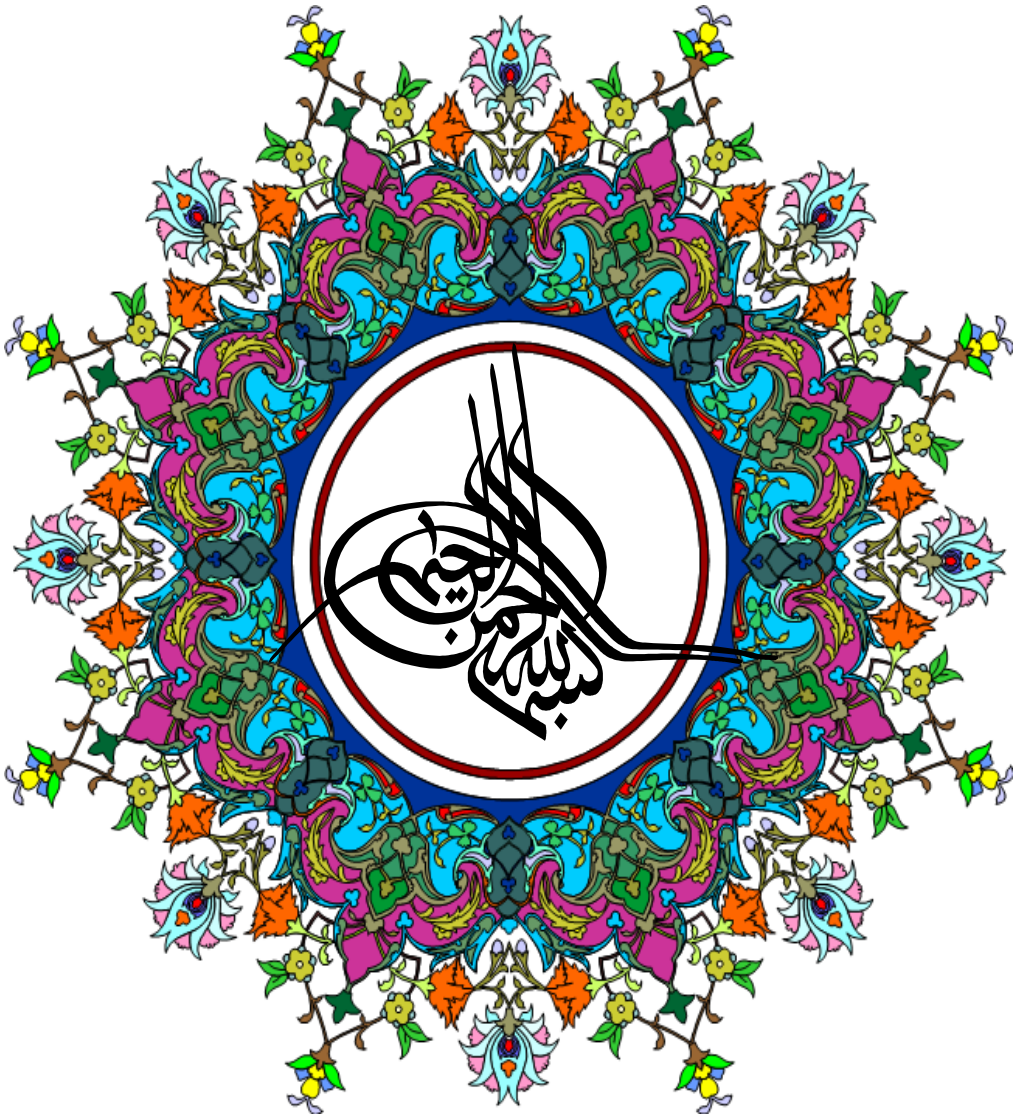
بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دانشکده مرتع و آبخیزداری

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc) در رشته مهندسی منابع طبیعی - آبخیزداری

ارزیابی و مقایسه روش‌های هیدرولوژیکی روندیابی حوزه آبخیز در رودخانه خشک شیراز، زیر حوزه کلستان

پژوهش و نگارش:

مهدی قاسمی

استاد راهنما:

دکتر عبدالرضا بهره مند

استاد مشاور:

دکتر واحدبردی شیخ

اسفند ۱۳۸۸

تقدیم به آستان حقیقت

و آنان‌که وصالش را می‌جویند

و آنان که در آغوشش کشیده اند

و آنان‌که خود، عین حقیقت اند

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردا نی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید
و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند

"این مجموعه را به

اسطوره استواری، **پدرم**

و

الهه مهربانی، **مادرم** تقدیم می کنم"

تشکر و قدردانی:

اکنون که به لطف خداوند مراحل نگارش این پایان نامه به اتمام رسیده است برخود لازم می دانم که از صمیم قلب مراتب تقدیر و تشکر خود را از استادان فرهیخته جناب آقای **دکتر عبدالرضا بهره‌مند** و جناب آقای **دکتر واحد بردی شیخ** که عهده دار مسئولیت راهنمایی اینجانب در پژوهش حاضر بوده - اند ابراز دارم که بی شک این پایان نامه حاصل هدایت، راهنمایی و نظارت مستمر آنان بوده است .

اینجانب بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای **دکتر عبدالرضا بهره‌مند** تشکر و قدردانی ویژه نمایم.

از خانواده مهربان و فداکارم، به پاس آسایشی که از خود دریغ کردند تا شاهد آسایش و موفقیت باشند و در تمامی مراحل زندگی و تحصیل صمیمانه و دلسوزانه همراه و یاورم بوده‌ند تشکر و قدردانی می- نمایم.

در پایان از تمام دوستانم آقایان مهندس جمشید رجنی، مهندس قاسم قلیچی، مهندس رضا رونما، مهندس حسین سامان منش، مهندس اسماعیل خالقی، مهندس ایوب سالاری، مهندس محمد والی، مهندس علی اکبر بهمنی، مهندس محمد محمدی الوار، مهندس مهدی مردیان، مهندس هادی بی آزار، مهندس ابراهیم کریمی، مهندس حمید سیروسی، مهندس آرش امینی و سایر دوستانم که به نحوی در انجام مراحل مختلف پایان نامه با اینجانب همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می نمایم.

مهدی قاسمی

اسفند ۱۳۸۸

چکیده

یکی از نگرانی‌های هیدرولوژیست‌ها و کمیته‌های مدیریت منابع آب از زمان‌های بسیار دور، پیش‌بینی سیلاب در حوزه آبخیز بوده است . روندیابی حوزه جهت شبیه‌سازی سیل در حوزه آبخیز ضروری می‌باشد. روندیابی هیدرولوژیکی حوزه، هیدروگراف واحد لحظه ای (IUH) را توسط معادلات پیوستگی و دبی- ذخیره محاسبه می‌کند و پالس‌های بارش مازاد را تا خروجی حوزه روندیابی می‌کند. یکی از مدل های روندیابی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز، مدل ناش است. مدل ناش حوزه را بصورت مجموعه‌ای از مخازن خطی که بصورت سری و آبشاری بهم مرتبط اند، شبیه سازی می کند. در مدل ناش تعداد مخازن که از داده های مشاهداتی استخراج می شود، باید عدد صحیحی باشد؛ در حالی که معمولاً مقدار آن کسری بدست می آید که این مورد از نظر فیزیکی غیرواقع گرایانه است. مدل هیبرید (HM) تک مخزن‌های خطی مدل ناش را به دو مخزن سری، پیوسته، و نامساوی (یک واحد هیبریدی) شکافته است. درک حرکت انتقالی برای توصیف سیستم های دینامیک ضروری است، اما مدل هیبرید فاقد آن است. مدل هیبرید توسعه یافته (EHM) مدل HM را با وارد کردن یک کانال خطی میان دو مخزن هیبریدی جهت محاسبه اثرات انتقال توسعه می دهد. یکی دیگر از مدل های روندیابی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز مدل کلارک است. تفاوت روش کلارک با دیگر روش‌ها انعطاف‌پذیری این روش است که آن را قادر می سازد با تکنولوژی‌های جدید مانند GIS سازگار گردد. با توجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق جهت ارز یابی و مقایسه عملکرد مدل های روندیابی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز (مدل‌های ناش، هیبرید، هیبرید توسعه یافته و کلارک)، حوزه آبخیز کلستان انتخاب شد . ابتدا پارامتر مدل ها، با استفاده از داده های مشاهداتی تخمین زده شد و سپس با استفاده از هیدروگراف واحد برآوردی، سیلاب‌ها شبیه‌سازی شدند. پارامترهای مدل ناش هم به روش گشتاور و هم از طریق سعی و خطا تعیین شدند . عملکرد مدل‌ها بر اساس مقایسه چشمی، ضریب ناش- ساتکلیف، خطای نسبی و خطای نسبی استاندارد سنجیده شد. نتایج نشان داد که مدل کلارک بصورت آشکارا بهتر از دیگر مدل‌ها عمل کرده است. همچنین نتایج نشان داد که عملکرد مدل EHM بهتر از مدل HM و مدل ناش (گشتاور) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: روندیابی حوزه، مدل ناش، مدل هیبرید توسعه یافته، مدل کلارک، حوزه آبخیز کلستان

بسمه تعالی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی ـ پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱. قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.

۲. در انتشار نتایج پایان نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳. انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب مهدی قاسمی دانشجوی رشته مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری مقطع کارشناسی ارشد تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

امضاء

۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت تحقیق و طرح مسئله..... ٤

۱-۳- سوال‌های عمده تحقیق ٥

۱-٤- فرضیه‌ها..... ٥

۱-٥- اهداف و دامنه تحقیق..... ٥

۱-٦- معرفی عمومی فصل‌های پایان‌نامه ٥

۲- بررسی منابع ۹

۲-۱- مقدمه..... ۹

۲-۲- سابقه تحقیق..... ۹

۲-۲-۱ سابقه تحقیق در ایران..... ۹

۲-۲-۲- سابقه تحقیق در خارج از کشور ۱۳

۲-۳- جمع‌بندی..... ۲۲

۳- منطقه مورد مطالعه و روش تحقیق..... ۲٤

۳-۱- مقدمه..... ۲٤

۳-۲- منطقه مورد مطالعه ۲٤

۳-۲-۱- نقشه کاربری اراضی..... ۲۵
۳-۲-۲- نقشه شماره منحنی ۲۵
۳-۳- روش تحقیق..... ۳۱
۳-۳-۱- گردآوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز ۳۱
۳-۳-۲- انتخاب رخدادهای منفرد سیلاب..... ۳۱
۳-۳-۳- تهیه هیدروگراف واحد طبیعی..... ۳۲
۳-۳-٤- محاسبه ضریب رواناب ۳۲
۳-۳-۵- روندیابی حوزه آبخیز..... ۳۳
۳-۳-۵-۱- مدل‌های مورد مطالعه..... ۳۹
هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک ۳۹
مدل ارتفاع رقومی هیدرولوژیک ٤۳
اصلاح و بهینه‌سازی مدل ارتفاع رقومی..... ٤۳
تهیه نقشه جهت جریان..... ٤٤
بدست آوردن شبکه مقاومت وزنی..... ٤۵
تهیه نقشه طول جریان..... ٤۸
ته‌یه نقشه زمان پیمایش حوزه..... ٤۸

هیدروگراف واحد لحظه‌ای ناش ٤٩
مدل هیبرید ٥٥
مدل هیبرید توسعه یافته ٦٠
محاسبه پارامترهای مدل هیبرید و هیبرید توسعه یافته ٦٥
٣-٣-٦- شبیه سازی جریان ٦٧
٣-٣-٧- معیارهای ارزیابی ٦٧
٣-٣-٧-١- معیار خطای نسبی در دبی اوج ٦٧
٣-٣-٧-٢- ضریب کارایی ناش- ساتکلیف ٦٨
٣-٣-٧-٣- مقادیر خطای نسبی استاندارد ٦٩
٣-٤- جمع‌بندی ٦٩
٤- نتایج ٧١
٤-١- مقدمه ٧١
٤-٢- انتخاب رخدادهای مناسب ٧١
٤-٣- محاسبه ضریب رواناب ٧٢
٤-٤- برآورد پارامترهای مدل‌ها ٧٢
٤-٤-١- مدل کلارک ٧٢

٤-٤-١-١- ضریب ذخیره ٧٢
٤-٤-١-٢- هیپسوگرام مساحت- زمان ٧٣
زمان تمرکز ٧٣
مدل ارتفاع رقومی هیدرولوژیک ٧٤
DEM اصلاح‌شده ٧٥
DEM پرشده (FilDEM) ٧٦
شبکه جهت جریان ٧٧
شبکه شیب حوزه ٧٨
شبکه ضریب زبری مانینگ ٧٩
شبکه شعاع هیدرولیکی ٨٠
شبکه سرعت جریان ٨١
شبکه طول جریان ٨٢
شبکه زمان پیمایش ٨٣
خطوط هم‌زمان تمرکز ٨٤
٤-٤-٢- مدل ناش ٨٥
٤-٤-٢-١- مدل ناش به روش سعی و خطا ٨٥

٤-٤-٢-٢- مدل ناش به روش گشتاور..... ٨٦
٤-٤-٣- مدل هیبرید..... ٨٧
٤-٤-٣-١- مدل هیبرید به روش سعی و خطا..... ٨٧
٤-٤-٣-٢- مدل هیبرید به روش بهونیا و همکاران..... ٨٨
٤-٤-٣- مدل هیبرید توسعه یافته..... ٨٩
٤-٤-٣-١- مدل هیبرید توسعه یافته به روش سعی و خطا..... ٨٩
٤-٤-٣-٢- مدل هیبرید توسعه یافته به روش بهونیا و همکاران..... ٨٩
٤-٤-٤- میانگین پارامترهای مجهول مدل های مخازن خطی..... ٩٠
٤-٥- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده..... ٩١
٤-٥-١- مقایسه ظاهری..... ٩١
٤-٥-١-١- سیلاب شماره ١..... ٩١
٤-٥-١-٢- سیلاب شماره٢..... ٩٢
٤-٥-٢-٣- سیلاب شماره٣..... ٩٣
٤-٥-٢-٤- سیلاب شماره٤..... ٩٣
٤-٥-٢-٥- سیلاب شماره٥..... ٩٤
٤-٥-٢-٦ سیلاب شماره٦..... ٩٤

٤-٥-٢-٧- سیلاب شماره۷..... ۹۵
٤-٥-٢- پراکنش دبی‌های مشاهداتی در مقابل شبیه‌سازی شده..... ۹۵
٤-٥-٣- خطای نسبی در برآورد دبی اوج..... ۹۹
٤-٥-٤- معیار کارائی ناش- ساتکلیف..... ۱۰۰
٤-٥-٥- خطای نسبی استاندارد..... ۱۰۱
٤-٦- جمع‌بندی..... ۱۰۲
٥- بحث و نتیجه‌گیری ۱۰٤
٥-١- مقدمه..... ۱۰٤
٥-٢- مقایسه مشاهده‌ای (ظاهری)..... ۱۰٤
٥-٣- پراکنش دبی‌های مشاهداتی در مقابل شبیه‌سازی شده..... ۱۰٥
٥-٤- خطای نسبی در برآورد دبی اوج..... ۱۰٥
٥-٥- معیار مقایسه ناش- ساتکلیف..... ۱۰٦
٥-٦- مقادیر خطای نسبی استاندارد مدل‌ها در شبیه‌سازی جریان..... ۱۰٦
٥-٧- جمع بندی نهایی..... ۱۰۷
٥-٨- محدودیت‌های تحقیق حاضر..... ۱۰۸
٥-٩- پیشنهادات..... ۱۰۸

فهرست منابع ۱۱۰

جدول۳-۱- خصوصیات فیزیوگرافی حوزه کلستان شیراز ۲۵

جدول۳-۲- مساحت و درصد کاربری اراضی ۲۹

جدول ۳-۳- ضریب زبری مانینگ ٤٦

جدول۳-٤- جدول فلکنستین برای بدست آوردن شعاع هیدرولیکی ٤۷

جدول٤-۱- رخدادهای انتخاب شده جهت انجام تحقیق ۷۱

جدول ٤-۲- مقادیر ضریب رواناب برای هر رخداد ۷۲

جدول ٤-۳- ضریب ذخیره در مدل کلارک ۷۳

جدول ٤-٤- هیپسوگرام مساحت- زمان ۸۵

جدول ٤-۵- مقادیر پارامترهای مدل ناش به روش سعی و خطا ۸٦

جدول ٤-٦- گشتاور اول و دوم هایتوگراف بارش مازاد و هیدروگراف رواناب مستقیم ۸۷

جدول ٤-۷- مقادیر پارامترهای مدل ناش به روش گشتاور ۸۷

جدول ٤-۸- مقادیر پارامترهای مدل هیبرید به روش سعی و خطا ۸۸

جدول ٤-۹- خصوصیات هیدروگراف واحد طبیعی، ضرایب α، β و γ و پارامترهای مدل هیبرید ۸۸

جدول ٤-١٠- مقادیر برآوردی پارامترهای مدل هیبرید توسعه یافته به روش سعی و خطا ۸۹

جدول ٤-١١- خصوصیات هیدروگراف واحد طبیعی، ضرایب α، β و γ و پارامترهای مدل هیبرید توسعه یافته ۹۰

جدول ٤-١٢- میانگین پارامترهای مدل‌های مخازن خطی ۹۱

جدول٤-١٣- خطای نسبی در برآورد دبی اوج ۹۹

جدول ٤-١٤- میزان ضریب کارائی ناش- ساتکلیف ۱۰۰

٤-١٥- میانگین معیار مقایسه ناش- ساتکلیف در سیلاب های مورد مطالعه ۱۰۱

جدول ٤-١٦- معیار خطای نسبی استاندارد برای مدل های مورد مطاالعه ۱۰۱

شکل ۳-۱- موقعیت حوزه کلستان در استان فارس ۲٦

شکل ۳-۲- طبقات ارتفاعی در حوزه کلستان.....۲۷

شکل ۳-۳- نقشه کاربری اراضی در حوزه کلستان ۲۸

شکل ۳-٤- نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در حوزه کلستان.....۲۹

شکل ۳-۵- نقشه شماره منحنی حوزه کلستان ۳۰

شکل ۳-٦- مخزن خطی، ورودی I(t)، ذخیره S(t) و خروجی Q(t) آن ۳٦

شکل ۳-۷- مدل دوگ، مخزن ها و کانال خطی بین آنها ۳۸

شکل ۳-۸- فلوچارت مربوط به نحوه انجام مدل کلارک ٤۲

شکل ۳-۹- تهیه شبکه جهت جریان ٤٥

شکل ۳-۱۰- مدل ناش برای استخراج هیدروگراف ٥۰

شکل ۳-۱۱- ترتیب قرارگیری اولین و دومین واحد هیبریدی ٥٥

شکل ۳-۱۲- مدل هیبرید توسعه یافته ، مخازن ذخیره خطی و کانال خطی بین ٦۰

شکل ٤-۱- مدل ارتفاع رقومی در حوزه کلستان ۷٤

شکل ٤-۲- DEM اصلاح‌شده در حوزه کلستان ۷٥

شکل ٤-۳- DEM پرشده (FilDEM) ۷٦

شکل ٤-٤- شبکه جهت جریان در حوزه کلستان ۷۷

شکل ٤-٥- شبکه شیب حوزه کلستان ۷۸

شکل ٤-٦- شبکه ضریب زبری مانینگ در حوزه کلستان ۷۹

شکل ٤-۷- شبکه شعاع هیدرولیکی در حوزه کلستان ۸۰

شکل ٤-٨- شبکه سرعت جریان در حوزه کلستان..... ٨١

شکل ٤-٩- شبکه طول جریان در حوزه کلستان ٨٢

شکل٤-١٠- شبکه زمان پیمایش در حوزه کلستان ٨٣

شکل ٤-١١- خطوط هم‌زمان تمرکز در حوزه کلستان ٨٤

شکل ٤-١٢- هیدروگراف سیلاب شماره ١و سیلاب‌های متناظر با آن..... ٩٢

شکل ٤-١٣- سیلاب شماره٢ و سیلاب‌های متناظر با آن..... ٩٢

شکل ٤-١٤- سیلاب شماره٣ و سیلاب‌های متناظر با آن..... ٩٣

شکل ٤-١٥- سیلاب شماره٤ و سیلاب‌های متناظر با آن..... ٩٣

شکل ٤-١٦- سیلاب شماره٥ و سیلاب‌های متناظر با آن..... ٩٤

شکل ٤-١٧- سیلاب شماره٦ و سیلاب‌های متناظر با آن..... ٩٤

شکل ٤-١٨- سیلاب شماره٧ و سیلاب‌های متناظر با آن..... ٩٥

شکل ٤-١٩- پراکنش نقاط نسبت به خط ١:١ در مدل کلارک..... ٩٦

شکل ٤-٢٠- پراکنش نقاط نسبت به خط ١:١ در مدل ناش به روش سعی و خطا..... ٩٦

شکل ٤-٢١- پراکنش نقاط نسبت به خط ١:١ در مدل ناش به روش گشتاور..... ٩٧

شکل ٤-٢٢- پراکنش نقاط نسبت به خط ١:١ در مدل هیرینج به روش سعی و خطا..... ٩٧

شکل ٤-٢٣- پراکنش نقاط نسبت به خط ١:١ در مدل هیبرید به روش بهونلی و همکاران.....٩٨

شکل ٤-٢٤- پراکنش نقاط نسبت به خط ١:١ در مدل هیبرید توسعه‌یافته به روش سعی و خطا ٩٨

شکل ٤-٢٥- پراکنش نقاط نسبت به خط ١:١ در مدل هیبرید توسعه‌یافته به روش بهونلی و همکاران.....٩٩

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

بارش- رواناب یکی از پیچیده ترین فرآیندهای هیدرولوژیکی است. دانشمندان برای سالیان زیاد، سعی در درک چگونگی تبدیل بارش به رواناب، برای پیش بینی سیلاب داشته‌اند. از کاربردهای این قضیه، می توان به استفاده آن در پیش بینی، شبیه‌سازی و کنترل سیلاب، ذخیره آب، زهکشی، کیفیت آب، تولید انرژی، مراکزتفریحی، پرورش ماهی، گسترش حیات وحش، و ..... اشاره کرد (کبیر و همکاران، ۱۳۸۵).

سیل به وضعیتی گفته می شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیرمنتظره افزایش پیدا کرده، بطوریکه باعث خسارت مالی و جانی گردد. خصوصیات سیلاب برای درک چگونگی عمل و نحوه مقابله با آن دارای اهمیت است (علیزاده، ۱۳۸٤). در پیش بینی سیلاب، خصوصیات رگبار و خصوصیات حوزه نقش تعیین کننده‌ای دارند. تحلیل هیدروگراف سیل جهت برر سی آن و بررسی نقش عوامل ایجاد کننده آن ضروری می‌باشد (بهره مند، ۱۳۸۷).

منظور از روندیابی حوزه آبخیز[1]، روندیابی پالس های بارش مازاد تا خروجی حوزه و تهیه هیدروگراف سیل آن می‌باشد و استفاده از هیدروگراف واحد[2] در این مورد ضروری است . بر این اساس هیدروگراف واحد ارائه شده توسط شرمن[3] (۱۹۳۲)، به یکی از ابزارهای قوی در هیدرولوژی کاربردی تبدیل شده است (دوگ[4]، ۱۹۵۹).

منظور از هیدروگراف واحد، هیدروگرافی است که در آن ارتفاع بارش مازاد[5] یک واحد است . بعبارت دیگر، حجم سیلاب حاصل از هیدروگراف واحد به سطح حوزه برابر یک واحد ا ست . بنابر تعریف، شکل هیدروگراف واحد وابسته به تداوم بارش و خصوصیات فیزیکی حوزه است . برای برطرف کردن محدودیت‌های هیدروگراف واحد، کلارک[6] (۱۹٤٥) مفهوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای[7]

---

1 - Watershed routing
2 - Unit hydrograph
3 - Sherman
4 - Dooge
5 - Excess rainfall
6 - Clark

را مطرح کرد. هیدروگراف واحد لحظه‌ای، هیدروگراف حاصل از یک واحد بارش مازاد است که در مدت بسیار کوتاه باریده شده است. بنابراین در هیدروگراف واحد لحظه‌ای تداوم بارش به سمت صفر میل می‌کند که می‌توان عنوان کرد هیدروگراف واحد لحظه‌ای مستقل از خصوصیات بارش (شدت و مدت)، و وابسته به خصوصیات حوزه آبخیز است (مهدوی، ۱۳۸۱، کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸٤، علیزاده، ۱۳۸٤).

هیدروگراف واحد در هر نقطه مشخص از رودخانه (دارای ایستگاه اندازه گیری آب) را می توان با استفاده از داده‌های مشاهداتی رواناب و بارش، توسط روشهای مانند روش کولین (۱۹۳۹) و یا سایر روشها مانند ماتریس معکوس بدست آورد. در حالی که برای حوزه های آبخیز بدون آمار مشاهداتی و در شرایط محدودیت داده، می توان از روش‌های اشنایدر[8] (۱۹۳۸)، کلارک (۱۹٤٥)، سازمان حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا (۱۹۵۷) و گری[9] (۱۹٦۱)، هیدروگراف واحد را بدست آورد (سینگ و همکاران[10]، ۲۰۰۷).

در حقیقت کلارک اولین کسی بود که برای روندیابی سیلاب از مفهوم هیدروگراف واحد لحظه ای استفاده کرد. کلارک برای محاسبه هیدروگراف واحد لحظه ای، فرض کرد که یک مخزن خطی در انتهای جریان رودخانه وجود دارد. وی به تعویق افتادن دبی را با استفاده از زمان پیمایش و ذخیره حوزه محاسبه کرد و مدلی موسوم به مدل کلارک[11] را ارائه کرد (علیزاده، ۱۳۸٤، کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸٤، سینگ، ۲۰۰۰).

برای استخراج هیدروگراف واحد لحظه ای به روش تحلیلی، معمولا استفاده از توزیع گاما بیشترین استفاده را دارد. برای بدست آوردن دو پارامتر توزیع گاما، از دبی اوج و زمان تا اوج در شکل های مختلف استفاده می‌شود. استفاده از این توزیع، شکل صاف و تک حجمی از هیدروگراف را ارائه می کند که حاصل از یک واحد بارش مازاد است. داشتن شکل صاف و تک حجم از هیدروگراف واحد

---

7 - Instantaneous unit hydrograph
8 - Snyder
9 - Gray
10 - Singh rt al
11 - Clark model