



وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری



# نشریه فنی

**تهیه و توسعه اطلس و آماده‌سازی داده‌های  
زمانی و مکانی سیل در حوضه‌های رده  
هفت استان چهارمحال و بختیاری**

شماره ثبت: ۶۷۹۵۸

۱۴۰۴

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

نشریه فنی:

تهیه و توسعه اطلس و آماده‌سازی داده‌های زمانی و مکانی سیل در حوضه‌های رده هفت  
استان چهارمحال و بختیاری

نویسندگان:

عبدالنبی عبده کلاهچی

شماره ثبت:

۱۴۰۴

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

---

عنوان: تهیه و توسعه اطلس و آماده‌سازی داده‌های زمانی و مکانی سیل در حوضه‌های رده هفت استان  
چهارم‌حال و بختیاری

نویسنده: عبدالنبی عبده کلاهچی

ویراستار: سعید نبی‌پی لشکریان

صفحه‌آرایی و طراحی جلد: عباس صدیق

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴

این اثر در مورخه ----- با شماره ----- در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر ماخذ بلامانع است.

## فهرست مطالب

۱	چکیده .....	
۲	۱-۱- مقدمه .....	
۳	۲-۱- سیل و سیل خیزی .....	
۴	۱-۲-۱- دلایل وقوع سیل .....	
۵	۱-۱-۲-۱- عوامل طبیعی .....	
۵	۱-۱-۲-۱-۱- اقلیم .....	
۶	۱-۱-۲-۱-۲-۱- گستره زمین .....	
۶	۱-۲-۱-۱-۲-۱- مساحت .....	
۶	۱-۲-۱-۱-۲-۱- شکل حوضه .....	
۶	۱-۲-۱-۱-۲-۱- شیب حوضه .....	
۷	۱-۲-۱-۱-۲-۱- شبکه آبراهه حوضه .....	
۷	۱-۲-۱-۱-۲-۱-۵- سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه .....	
۷	۱-۲-۱-۱-۲-۱-۶- ویژگی‌های پوشش گیاهی .....	
۷	۱-۲-۱-۱-۲-۱-۷- مورفولوژی رودخانه .....	
۸	۱-۲-۱-۱-۲-۱-۸- سازوکار تولید رواناب .....	
۸	۱-۲-۱-۲-۱- عوامل غیرطبیعی (انسانی) .....	
۹	۱-۲-۱-۲-۱- نحوه استفاده از اراضی .....	
۹	۱-۲-۱-۲-۲-۱- توسعه مناطق شهری .....	
۹	۱-۲-۱-۲-۲-۱-۳- عدم اعمال مدیریت صحیح بر حوضه‌های آبخیز .....	
۱۰	۱-۲-۱-۲-۲-۱-۴- عدم رعایت حریم بهره‌برداری بهینه از رودخانه‌ها و مسیل‌ها .....	
۱۰	۱-۳-۱- بررسی اهمیت برخی مسائل اساسی در سطح حوضه‌های آبخیز .....	
۱۰	۱-۳-۱- اهمیت بررسی حوضه‌های آبخیز از نظر سیل خیزی .....	
۱۲	۱-۳-۲- اهمیت بررسی آستانه شروع رواناب حوضه‌های آبخیز .....	
۱۳	۱-۳-۳- اهمیت بررسی دبی بیشینه در حوضه‌های آبخیز .....	
۱۴	۱-۴- اهمیت طرح: .....	
۱۵	۱-۵- اهداف طرح .....	
۱۶	۱-۲- مروری بر منابع .....	
۱۶	۱-۱-۲- آستانه شروع رواناب .....	
۲۳	۱-۲-۲- عوامل مؤثر بر سیل خیزی حوضه‌ها .....	
۲۶	۱-۳-۲- روش‌های برآورد سیلاب .....	
۳۱	۱-۳-۲- روش‌های تحلیل آماری و منطقه‌ای سیلاب .....	
۳۱	۱-۱-۳-۲- روش همبستگی یا معادله رگرسیونی .....	

۳۳	..... روش سیل شاخص ۲-۱-۳-۲
۳۴	..... روش‌های تجربی برآورد سیلاب ۲-۳-۲
۳۵	..... روش حفاظت خاک امریکا ۱-۲-۳-۲
۳۹	..... روش فرمول کریگر ۲-۲-۳-۲
۴۰	..... روش فولر ۳-۲-۳-۲
۴۲	..... روش برآورد دبی سیلاب با استفاده از سطح حوضه ۴-۲-۳-۲
۴۲	..... روش‌های بارش- رواناب ۳-۳-۲
۴۲	..... استفاده از هیدروگراف واحد ۱-۳-۳-۲
۴۵	..... استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی ۲-۳-۳-۲
۴۶	..... نتیجه‌گیری از سابقه تحقیق ۴-۲
۴۸	..... کلیات ۳-۱
۴۹	..... خصوصیات عمومی استان چهارمحال و بختیاری ۳-۲
۵۳	..... کاربری‌های موجود در استان ۳-۳
۵۵	..... آمار و اطلاعات مورد استفاده ۴-۳
۵۶	..... جمع‌آوری آمار پایه ۱-۴-۳
۵۶	..... کنترل آمار ایستگاه‌ها و دسته‌بندی آن‌ها براساس سال‌های آماری ۲-۴-۳
۵۷	..... تطویل و تکمیل آمار رواناب ایستگاه‌ها ۳-۴-۳
۵۸	..... انطباق ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده با حوضه‌های کاری ۴-۴-۳
۵۸	..... انتخاب تابع هدف ۵-۳
۵۹	..... روش‌های مورد استفاده در برآورد آستانه شروع رواناب واقعی ۶-۳
۶۰	..... ساختار مدل AWBM ۱-۶-۳
۶۲	..... تقسیم‌بندی مناطق اقلیمی همگن اجرای طرح ۲-۶-۳
۶۴	..... بررسی و برآورد دبی بیشینه ۷-۳
۶۴	..... کلیات ۱-۷-۳
۶۴	..... بررسی درستی و همگنی داده‌های دبی بیشینه لحظه‌ای ۲-۷-۳
۶۵	..... بازسازی داده‌های ناقص ۳-۷-۳
۶۶	..... تحلیل فراوانی سیلاب در ایستگاه‌ها ۴-۷-۳
۶۶	..... تحلیل منطقه‌ای سیلاب ۸-۳
۶۶	..... بررسی آمار دبی متوسط ایستگاه‌ها ۱-۸-۳
۶۶	..... بررسی روابط منطقه‌ای ۲-۸-۳
۶۷	..... برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار ۹-۳
۶۷	..... برآورد حجم جریان و رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف ۱۰-۳
۶۸	..... تهیه منحنی‌های IDF حوضه‌ها ۱۱-۳

۶۸	۱۲-۳- وضعیت سیل و پیامدهای آن
۶۸	۱-۱۲-۳- بررسی فراوانی رخداد‌های سیل در حوضه‌ها
۶۹	۲-۱۲-۳- بررسی میزان خسارات سیل در سطح حوضه
۷۰	۳-۱۲-۳- بررسی تلفات سیل هر حوضه
۷۰	۴-۱۲-۳- شناسایی و استخراج پهنه سیل از تصاویر ETM <sup>+</sup> سال ۲۰۰۲
۷۲	۵-۱۲-۳- تعیین مراکز مسکونی در معرض سیل
۷۲	۶-۱۲-۳- برآورد جمعیت در معرض سیل حوضه
۷۳	۷-۱۲-۳- تعیین طبقات خطر سیل در هر حوضه
۷۵	۸-۱۲-۳- روش بررسی شدت سیلخیزی در سطح حوضه
۷۶	۱۳-۳- روش تهیه اطلس سیل
۷۸	۱-۴- آستانه شروع رواناب
۷۸	۱-۱-۴- نتایج آستانه شروع رواناب (C)، (با مدل AWBM)
۸۱	۲-۴- نتایج برآورد دبی بیشینه روزانه و بیشینه لحظه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار
۹۷	۳-۴- نتایج برآورد حجم جریان و رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری شاخص
۹۷	
۹۸	۴-۴- نتایج بررسی و تهیه منحنی‌های IDF
۹۹	۵-۴- شناسایی و استخراج پهنه‌های سیل در تصاویر ماهواره‌های ETM <sup>+</sup> سال ۲۰۰۲
۱۰۰	۶-۴- بررسی خسارات سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری
۱۰۱	۷-۴- بررسی طبقات خطر سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری
۱۰۲	۸-۴- طبقه‌بندی حوزه‌های آبخیز استان چهارمحال و بختیاری از نظر شدت سیل خیزی
۱۰۴	۹-۴- نتایج وضعیت کاربری در کلاس‌های مختلف شدت سیل
۱۰۵	۱۰-۴- تلفیق نتایج و معرفی اطلس سیل
۱۰۸	۱-۵- تحلیل نتایج
۱۱۰	فهرست منابع:
۱۱۴	Abstract:

### فهرست اشکال

۱۹	شکل (۱-۲): اثرات پیشنهادی اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی بر روی فرآیندهای تولید رواناب.
۵۱	شکل (۱-۳): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور.
۵۳	شکل (۲-۳): نقشه حوضه‌های رده هفت در محدوده استان چهارمحال و بختیاری.
۵۴	شکل (۳-۳): نقشه کاربری اراضی استان چهارمحال و بختیاری.

- شکل (۳-۴): موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری..... ۵۶
- شکل (۳-۵): ساختار مدل AWBM2002..... ۶۲
- شکل (۳-۶): تقسیم‌بندی کشور به سه منطقه هم‌اقلیم و موقعیت استان چهارمحال و بختیاری..... ۶۳
- شکل (۳-۷): نمودار شماتیک مراحل استخراج محدوده سیل از تصاویر ماهواره‌های ETM+ سال..... ۷۲
- شکل (۳-۸): نمودار مراحل انجام طرح..... ۷۷
- شکل (۴-۱): نقشه طبقات آستانه شروع رواناب در حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری..... ۷۹
- شکل ۴-۲: نمودار درصد مساحت کلاس‌های آستانه شروع رواناب (میلی‌متر) در استان چهارمحال و بختیاری..... ۸۱
- شکل (۴-۳): منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش ایستگاه شهرکرد..... ۹۹
- شکل (۴-۴): درصد مساحت پهنه‌های سیلگیر در حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری..... ۱۰۰
- شکل (۴-۵): نقشه اطلس سیل استان چهارمحال و بختیاری براساس طبقه‌بندی ۹\*۷ خطر سیل و شدت سیل خیزی..... ۱۰۶
- شکل (۴-۶): اطلس سیل استان چهارمحال و بختیاری براساس کلاسهای ترکیب شده خطر و شدت سیل با طبقه‌بندی ۴\*۴ خطر سیل و شدت سیل خیزی..... ۱۰۷

### فهرست جداول

- جدول (۲-۱): طبقه‌بندی خاکهای حوضه بر حسب نفوذپذیری..... ۳۶
- جدول (۲-۲): مقدار CN برای حوضه‌های مختلف با توجه به نفوذپذیری خاک (گروه‌های A,B,C,D) پوشش سطح حوضه..... ۳۶
- جدول (۲-۳): مقدار ضریب حوزه C در فرمول کریگر در بعضی از پروژه‌های آبی کشور..... ۴۰
- جدول (۲-۴): تعیین مقدار  $(\log T)/0+1$  در روش فولر..... ۴۱
- جدول (۳-۱): حوضه‌های رده هفت موجود در محدوده استان چهارمحال و بختیاری..... ۵۲
- جدول (۳-۲): مساحت کاربری‌های مختلف در محدوده استان چهارمحال و بختیاری..... ۵۴
- جدول (۳-۳): نرخ پایه تعیین خسارات ناشی از سیل..... ۶۹
- جدول (۳-۴): عوامل خطر سیل و امتیاز نسبی هرکدام..... ۷۳
- جدول (۳-۵): محدوده تغییرات عوامل طبقات خطر سیل..... ۷۴
- جدول (۳-۶): شاخص طبقه‌بندی درجه خطر سیل..... ۷۴
- جدول (۳-۷): طبقه‌بندی خطر سیل بر حسب دامنه امتیازات..... ۷۵
- جدول (۳-۸): شاخص طبقه‌بندی شدت سیل خیزی حوزه‌های آبخیز کشور..... ۷۶

- جدول (۴-۱): مقادیر آستانه شروع رواناب ( $C^1$ ) در حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری..... ۸۰
- جدول (۴-۲): روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای ( $Q_p$ ) و روزانه ( $Q_m$ ) در ایستگاه‌های موردنظر حوضه کارون..... ۸۲
- جدول (۴-۳): روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای ( $Q_p$ ) و روزانه ( $Q_m$ ) در ایستگاه‌های موردنظر حوضه گاوخونی..... ۸۶
- جدول (۴-۴): رابطه همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه ایستگاه‌های دارای نقص آمار با ایستگاه‌های دارای آمار کافی در حوضه کارون..... ۸۷
- جدول (۴-۵): رابطه همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه ایستگاه‌های دارای نقص آمار با ایستگاه‌های دارای آمار کافی در حوضه گاوخونی..... ۸۸
- جدول (۴-۶): روابط مختلف بین دبی متوسط ( $Q$ ) با بارندگی ( $P$ ) و مساحت ( $A$ ) حوضه‌ها در حوضه کارون..... ۸۸
- جدول (۴-۷): روابط مختلف بین دبی متوسط ( $Q$ ) با بارندگی ( $P$ ) و مساحت ( $A$ ) حوضه‌ها در حوضه گاوخونی..... ۸۹
- جدول (۴-۸): روابط منتخب بین دبی متوسط ( $Q$ ) با بارندگی ( $P$ ) و مساحت ( $A$ ) حوضه‌ها در منطقه مورد مطالعه..... ۸۹
- جدول (۴-۹): روابط همبستگی دبی بیشینه روزانه ( $Q_m$ ) با دبی متوسط ۲۵ ساله ( $Q$ ) (مترمکعب در ثانیه) در حوضه کارون..... ۸۹
- جدول (۴-۱۰): روابط همبستگی دبی بیشینه روزانه ( $Q_m$ ) با دبی متوسط ۲۵ ساله ( $Q$ ) (مترمکعب در ثانیه) در حوضه گاوخونی..... ۹۰
- جدول (۴-۱۱): روابط همبستگی دبی بیشینه روزانه ( $Q_m$ ) با دبی متوسط ۲۵ ساله ( $Q$ ) (مترمکعب در ثانیه) در حوضه کارون..... ۹۱
- جدول (۴-۱۲): روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای ( $Q_p$ ) با دبی متوسط ۲۵ ساله ( $Q$ ) (مترمکعب در ثانیه) در حوضه گاوخونی..... ۹۲
- جدول (۴-۱۳): ضریب روابط همبستگی منتخب دبی بیشینه لحظه‌ای ( $Q_p$ ) با دبی متوسط ۲۵ ساله ( $Q$ ) (مترمکعب در ثانیه)..... ۹۴
- جدول (۴-۱۴): روابط همبستگی منتخب در برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های مختلف... ۹۵
- جدول (۴-۱۵): دبی بیشینه لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های مختلف، آستانه شروع رواناب و ضریب رواناب حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری..... ۹۶

- جدول (۴-۱۶): حجم کل جریان سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف در محل ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب..... ۹۸
- جدول (۴-۱۷): مساحت پهنه‌های سیل در حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری..... ۱۰۰
- جدول (۴-۱۸): خسارات و تلفات برآورده شده از سیل‌های ثبت شده..... ۱۰۱
- جدول (۴-۱۹): عوامل و مؤلفه‌های خسارت سیل در حوضه‌های دارای سیل و تلفات ثبت شده..... ۱۰۱
- جدول (۴-۲۰): مساحت طبقات خطر سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری..... ۱۰۲
- جدول (۴-۲۱): شدت سیل خیزی حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری..... ۱۰۳
- جدول (۴-۲۲): نتایج همپوشانی لایه شدت سیل با لایه کاربری اراضی..... ۱۰۴
- جدول (۴-۲۳): ترکیب کلاس‌های شدت سیل برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و نمایش در اطلس سیل.. ۱۰۶
- جدول (۴-۲۴): ترکیب کلاس‌های خطر سیل برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و نمایش در اطلس سیل.... ۱۰۶

## چکیده

تهیه و تکمیل اطلاعات مکانی در مورد ویژگی‌های طبیعی حوزه‌های آبخیز استان چهارمحال و بختیاری از جمله ضروریات تحقیقاتی و اجرایی در سطح استان است. در حال حاضر اطلاعات پراکنده‌ای وجود دارد که نیاز به بازبینی و به‌روزرسانی برای بالابردن دقت اطلاعات دارند. برآورد و نمایش شدت سیل خیزی توأم با ویژگی‌هایی نظیر آستانه شروع رواناب، دبی ویژه با دوره بازگشت‌های مختلف، حجم سیل، خسارات و تلفات سیل، جمعیت و تراکم مراکز مسکونی در معرض سیل و تعداد وقوع سیل‌های دارای تلفات، نمایش خصوصیات سیل خیزی در حوزه‌های آبخیز استان و روابط برآورد سیل طراحی از جمله اهداف انجام در طرح است. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات نقطه‌ای و پهنه‌ای، آستانه شروع رواناب، شدت و خطر سیل برآورد و در چهار کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. در این اطلس عوامل هواشناسی و هیدرولوژیکی شامل حجم کل جریان، حجم کل رواناب سطحی سالانه و ضرایب رابطه شدت - مدت - فراوانی برای بارش با دوره بازگشت تا ۵۰ ساله نمایش داده شده است. همچنین، براساس تحلیل منطقه‌ای و احتمالاتی، دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف، آستانه شروع رواناب و فرمول‌های تجربی محاسبه سیل طراحی برای هر کدام از حوضه‌های رده هفت استان برآورد و ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** آستانه شروع رواناب، حوزه‌های آبخیز، خسارت سیل، خطر سیل، سیل خیزی، شدت سیل،

مدل AWBM.

## ۱- کلیات

### ۱-۱- مقدمه

آب، مایه حیات بشری بوده و همانند بسیاری از نعمات الهی ماهیت دوگانه خیر و شر در آن نهفته است. انسان با فکر و برنامه‌ریزی و تلاش مناسب می‌تواند ماهیت دوم آن را تبدیل به منبع خیری کند و مورد استفاده قرار دهد. هر ساله سیل، موجب خسارات فراوانی به مزارع، زمین‌های کشاورزی، سدها، راه‌ها، پل‌ها و سازه‌های دیگر شده و در موارد بسیاری سبب تخریب خانه و کاشانه هزاران نفر می‌شود. تمامی موارد مذکور نهایتاً منجر به تخریب ساختار اجتماعی جوامع و خسارات اقتصادی می‌شود که تجدید آن نه تنها نیاز به اعتبار بسیار بالا دارد، بلکه در اکثر موارد جبران‌ناپذیر است.

همان‌طور که گفته شد سیل از فرآیندهای هیدرولوژیکی است که ابعاد آن تحت‌تأثیر شرایط مختلف طبیعی و مصنوعی سطحی زمین و نیز شرایط مختلف اقلیمی تغییر می‌کند. این پدیده طبیعی در صورت مهار و کنترل از منابع آب مورد استفاده در توسعه اقتصادی بوده و منافع زیادی را در بخش کشاورزی و منابع طبیعی سبب می‌شود. در صورت عدم شناخت و عدم کنترل و مهار آن، از بلایای طبیعی به‌شمار آمده و خسارات و تلفات جانی همواره در پی خواهد داشت. یکی از ویژگی‌های بسیار مهم حوزه آبخیز، شدت سیل‌خیزی آن است. شدت سیل‌خیزی توأم با ویژگی‌هایی، نظیر مقادیر سیلاب‌های با تواتر مختلف، میزان فراوانی وقوع سیلاب‌ها و تاریخچه اتفاقاتی که رویدادهای گذشته در آن حوضه رخ داده است، از بارزترین ویژگی حوضه است. به‌طور کلی، شدت سیل‌خیزی، وضعیت سیلاب در آن حوضه را مشخص می‌کند. هدف از مطالعه حاضر نیز روشن کردن وضعیت سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری است. علاوه بر این، خسارات و خطرات سیل بر اساس آمار و اطلاعات خسارات ثبت شده در گذشته تحلیل شده است. در این بخش ویژگی‌های دیگری از سیل، همانند پهنه‌های سیل‌گیر که از جمله دیگر ویژگی‌های مهم سیل است مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

افزون بر موارد فوق، تهیه نقشه‌ای که مجموعه اطلاعات سیل شامل شدت سیل‌خیزی خطر و خسارات سیل و نیز اطلاعاتی از ویژگی‌های عمومی رگبارها و مؤلفه‌های آبدهی سالانه را در برداشته باشد نیز از ضروریات مدیریت حوضه‌های آبخیز است.

به منظور دستیابی به اهداف فوق اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و بارندگی مورد تجزیه و تحلیل و شدت سیل خیزی حوزه‌ها مشخص شده است. همچنین با تحلیل اطلاعات خسارات سیل، آن دسته از حوزه‌هایی که سیل، خسارات زیادی را در محدوده آن‌ها وارد کرده، شناسایی می‌گردند. با استفاده از نتایج بررسی‌های فوق، حوضه‌ها از نظر شدت سیل خیزی خسارات و خطر سیل طبقه‌بندی شدند. در نهایت از این طبقه‌بندی در اولویت‌بندی حوضه‌ها از نظر مهار و کنترل سیل و یا کاهش شدت سیل خیزی استفاده شد. در نقشه اطلس سیل پارامترهای دیگری از جمله خسارات سیل، تلفات سیل، جمعیت در معرض سیل، محدوده‌های سیل‌گیر و خطرات سیل در قالب زیرحوضه‌های رتبه هفت تعیین و درج شده‌اند. علاوه بر این نقشه اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز رتبه هفت بر مبنای شاخص‌های شدت سیل خیزی و خسارات و خطر سیل تهیه و ارائه شد. با توجه به این که تهیه و توسعه اطلس و آماده‌سازی داده‌های زمانی و مکانی سیل در سطح حوضه‌های رده هفت کشور انجام شد لذا گزارش حاضر بخش مربوط به مطالعه سیل در سطح حوضه‌های آبخیز استان چهارمحال و بختیاری است.

## ۱-۲- سیل و سیل خیزی

به منظور شناخت حوزه‌ها از نظر سیل خیزی و همچنین عوامل و پارامترهای وارده در رویداد سیل، ابتدا توضیحاتی در مورد واژه‌های به کار برده شده در این پژوهش ارائه می‌شود. سیل به پدیده طبیعی گفته می‌شود که در آن آب به مقدار زیاد و خارج از حد معمول در یک منطقه جمع می‌شود و باعث غرق شدن زمین‌های اطراف می‌شود. این افزایش سطح آب می‌تواند به دلیل بارش شدید باران، ذوب سریع برف، طغیان رودخانه‌ها، یا حتی امواج دریا ناشی از سونامی یا طوفان‌های ساحلی باشد. همچنین سیل خیزی به خصوصیات یک منطقه اشاره دارد که آن را در معرض خطر وقوع سیل قرار می‌دهد. به عبارت دیگر، سیل خیزی به معنای احتمال وقوع سیل و میزان خساراتی است که در اثر سیل ممکن است در یک منطقه خاص رخ دهد. شناخت سیل و سیل خیزی برای برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع آب، پیشگیری از خسارات و کاهش خطرات ناشی از سیل ضروری است. با شناسایی مناطق سیل خیز و اقدامات پیشگیرانه می‌توان از خسارات جانی و مالی سیل‌ها کاست و از وقوع فجایع جلوگیری کرد.

سیل پدیده طبیعی است که اضافه جریان آب نسبت به رقوم سطح عادی آب است. «سیل جریان آب بیش از حد طبیعی است» چنین حالتی در صورتی که جان انسان‌ها و زندگی بشر را به خطر بیندازد بلا به‌شمار می‌رود. براساس تعریف خدمات ملی هواشناسی آمریکا؛ سیل رویدادی ناگهانی است که منشأ آن بارندگی بیش از حد، شکسته شدن دیواره سد و خرابی سیل در طی چند ساعت است.

از نظر هیدرولوژیست‌ها اندازه سیل به بهترین نحو با بیشینه جریان تشریح می‌شود، سیل پدیده‌ای است که در طی مدت چند ساعت به‌علت وقوع بارندگی مداوم و سنگین حاصل می‌شود. بنا به تعریف، پیش‌بینی سیل به مدت بارش بستگی خواهد داشت، زمانی که این مدت کمتر از ۶ ساعت باشد، پیش‌بینی سیل تابع فنون قراردادی نخواهد بود، زیرا جمع‌آوری، پردازش و تفسیر اطلاعات کلاً بر مدت تأخیر تدارک و اعلام خطر سیل تأثیر زیادی خواهد داشت. بنابراین مراحل پیش‌بینی سیل زمانی امکان‌پذیر خواهد بود که استمرار وقوع آن بیشتر از شش ساعت باشد.

### ۱-۲-۱- دلایل وقوع سیل

علت بروز سیل به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شود: الف- علت فیزیکی ب- فعالیت‌های بشری. شدت زیاد بارندگی غالباً همراه با طوفان و بارندگی متمرکز به یک سمت است. در صورتی که بارش با شدت زیاد در حوزه‌های کوچک اتفاق افتد، حوضچه‌های سیل رخ می‌دهد. این سیل قاعدتاً در فصل تابستان است، چنین سیلی مقدار زیادی خسارت را با خود همراه دارد. ذوب شدن برف یکی دیگر از عوامل وقوع سیل است، این پدیده به ویژه زمانی رخ می‌دهد که پس از وقوع سیل درجه حرارت بالا رفته و سبب ذوب برف شود. سیل بهاری ممکن است براساس جاری‌شدن برف‌های مذاب باشد.

شرایط افزایش سیل به عوامل دیگری هم بستگی دارد و در صورت تشدید آن‌ها جریان بیشتری از بارندگی به رواناب تبدیل می‌شود. تعدادی از این عوامل به نوع و شکل هندسی حوزه مربوط می‌شود، برای مثال خرابی سد، سیل را با سرعت و تندی جریان را به طور نمایی افزایش می‌یابد.

از دیگر شرایط افزایش سیل می‌توان فعالیت‌های بشری یا تغییرات محیطی مانند تبدیل مناطق جنگلی به مناطق کشاورزی یا اسکان‌یافتن در این نواحی و یا از بین بردن جنگل‌ها را نام برد. از بین بردن جنگل‌ها و

ایجاد جاده‌ها و خانه‌سازی به دلایل زیادی باعث افزایش سیل می‌شود. شهرنشینی نیز به دلایل ذیل باعث افزایش سیل می‌شود:

الف- تولید سطوح غیر قابل نفوذ از قبیل خیابان‌ها، جاده‌ها و پشت بام‌ها که باعث می‌شوند، آب باران با سرعت بیشتری به صورت رواناب تبدیل شود.

ب- سطوح هموار ساختمانی به شبکه‌های زیرزمینی فاضلاب و آب زیرزمینی کمک می‌کند و منجر به فرستادن آب به داخل مسیل‌ها می‌شود، این خود یکی از دلایل افزایش سیل است.

ج- بر روی مسیل‌های طبیعی رودخانه غالباً پل و یا تأسیسات دیگری زده می‌شود که ظرفیت آن را کاهش می‌دهد حجم آب جمع شده در پشت این تأسیسات باعث ایجاد سیل می‌شود.

د- به علت افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی رواناب بیشتر تولید شده و سیستم‌های فاضلابی نمی‌توانند خود را با جریان بیشینه مطابقت دهند.

عوامل مختلفی در شکل‌گیری و بروز سیلاب مؤثر است، به‌طور کلی می‌توان مهم‌ترین عوامل را به دو گروه عمده عوامل طبیعی و عوامل غیرطبیعی (انسانی) تقسیم کرد.

#### ۱-۱-۲-۱- عوامل طبیعی

عوامل طبیعی مؤثر شامل اقلیم و گستره زمین است.

#### ۱-۱-۱-۲-۱- اقلیم

اقلیم به‌عنوان مهم‌ترین عامل در ایجاد سیل مطرح است که داده‌های ورودی آن به سیستم به‌صورت ریزش جوی طی فرآیندهای پیچیده‌ای تبدیل به رواناب سطحی و نهایتاً سیل می‌شود. این موضوع به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک به لحاظ تغییرات زیاد در توزیع زمانی و مکانی بارش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. معمولاً باران در این‌گونه مناطق از نظر زمانی و مکانی تغییر بیشتری نسبت به مناطق مرطوب دارد. دمای هوا نیز عامل مهم دیگری است که با تاثیرگذاری بر ذوب برف در ایجاد سیلاب‌های بهاره نقش مؤثری به عهده دارد.

#### ۱-۲-۱-۱-۲- گستره زمین

زمین به‌عنوان بستر در برگیرنده بارش دومین عامل مهم در ایجاد سیل بوده و در این راستا خصوصیات فیزیکی و پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. خصوصیات فیزیکی حوضه نظیر مساحت و ناهمواری زمین، به همراه ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه مانند ذخیره، تلفات برگاب و چالابی، تبخیر و تعرق و نفوذپذیری، در بروز و تشدید سیلاب دخالت دارند. شناخت و مطالعه این عوامل در هر منطقه و در طرح‌های مهار سیل و کاهش خطرات ناشی از آن بسیار مهم و ضروری است. گستره زمین شامل عوامل ذیل است.

#### ۱-۲-۱-۱-۲-۱- مساحت

در یک حوضه آبخیز سیل تابعی از وسعت آن است، به‌طوری که هر چه سطح حوضه بزرگتر باشد، میزان نزولات آسمانی بیشتری دریافت می‌کند. معمولاً دبی ویژه اوج حوضه‌های بزرگ به‌طور نسبی از حوضه‌های کوچک کمتر است. این موضوع به دلیل پائین بودن شیب متوسط، زیادی تلفات بین راهی و وجود مناطق ذخیره کننده آب در حوضه‌های بزرگ نسبت به حوضه‌های کوچک‌تر است.

#### ۱-۲-۱-۱-۲-۱-۱- شکل حوضه

شکل حوضه از جمله عوامل مهم در وقوع سیل در یک حوضه آبخیز به‌شمار می‌رود. حوضه‌های گرد با زمان تمرکز کوتاه نسبت به حوضه‌های کشیده هم سطح، دبی اوج سیل بیشتری را تولید می‌کند.

#### ۱-۲-۱-۱-۲-۱-۲- شیب حوضه

این پارامتر تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در سرعت رواناب و فرسایش حوضه دارد. شیب با توجه به جهات مختلف در سطح حوضه تغییرات قابل‌توجهی در جذب اشعه خورشید، ذوب برف و توزیع بارندگی می‌گذارد.

## ۱-۲-۱-۱-۲-۱-۴- شبکه آبراهه حوضه

وضعیت شبکه زهکشی نقش عمده‌ای در وقوع سیلاب دارد، جریان در آبراهه‌ها سریع‌تر از جریان سطحی در حوضه است. لذا هر چه تراکم زهکشی زیادتر باشد، رواناب حاصل با سرعت بیشتری تخلیه شده و شاخه صعودی هیدروگراف دارای شیب تندتری می‌شود.

## ۱-۲-۱-۱-۲-۱-۵- سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه

الگوی شبکه هیدروگرافی که خود تابعی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی زمین، سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه است، نقش مهمی در تولید دبی‌های سیلابی دارد. عکس‌العمل سازندهای مختلف زمین‌شناسی و خاک تولیدشده از آن‌ها، تأثیر به‌سزایی در تولید رواناب سطحی و مقدار شدت آن دارد. سیمای عمومی حوضه چگونگی فرسایش پذیری، تراکم و الگوی زهکشی و نهایتاً تولید رواناب سطحی همگی متأثر از زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی حوضه است.

## ۱-۲-۱-۱-۲-۱-۶- ویژگی‌های پوشش گیاهی

وجود پوشش گیاهی یکی از عوامل مؤثر در کاهش رواناب و نهایتاً سیلاب است. این امر در مناطق جنگلی و نواحی با پوشش مناسب به خوبی قابل رؤیت است. البته ذکر این نکته ضروری است که به‌منظور مهار سیل با اجرای عملیات اصلاحی در حوضه، می‌توان قابلیت‌های پوشش گیاهی موجود منطقه را به‌منظور جذب بیشتر رواناب افزایش داد.

## ۱-۲-۱-۱-۲-۱-۷- مورفولوژی رودخانه

ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه نظیر الگوی رودخانه، مشخصات هندسی بستر، شکل کف، شیب، طول آبراهه و نیمرخ طولی آن تأثیر به‌سزایی در وقوع سیل و تشدید آن دارد. به‌طور کلی رودخانه‌های واقع در گستره حوزه‌های آبخیز، مناسب با شرایط تشکیل آن‌ها (اقلیم و توپوگرافی) بوجود آمده و به‌خوبی قادر به عبور جریان براساس ظرفیت موجود خواهد بود. لیکن ظهور عوامل دیگری موجب کاهش این ظرفیت و خطر بروز سیلاب و تشدید خسارت ناشی از آن می‌شود.

#### ۱-۲-۱-۱-۲-۱-۸- سازوکار تولید رواناب

به‌طور کلی حوزه‌های آبخیز ترکیب ناهمگونی از خاک، پوشش گیاهی و نحوه استفاده از اراضی بوده و بر این اساس دارای دامنه وسیعی در واکنش حوضه نسبت به بارش است. مناطق منشأ رواناب دو سازوکار را که در ابتدا عامل پاسخ سریع جریان است، پیشنهاد کرده است. یک منطقه منشأ (اشباع شده) وسیع که مستقیماً به داخل یک آبراهه وارد خواهد شد و یک جریان زیرسطحی حاصل از زیرزمین‌های بالادست به زمین‌های پایین دست که به طور مفهومی نتیجه انتقال آب موجود در خاک است.

مناطق مرطوب که بلافاصله در مجاورت آبراهه‌ها قرار دارند، به طور سریع به بارش پاسخ می‌دهند. در هنگام بارش، مناطق تحت‌تأثیر بارش و مناطق دارای خاک‌های کم عمق اشباع شده و این مناطق اشباع شده، براساس مدت بارش به طرف بالا دست دامنه توسعه پیدا می‌کند و بعد از پایان بارش دوباره به آرامی از نظر وسعت کاهش می‌یابند.

#### ۱-۲-۱-۲-۱- عوامل غیرطبیعی (انسانی)

به لحاظ اهمیت و نقش انسان در نحوه بهره‌برداری از منابع طبیعی در تقسیمات عوامل مؤثر بر ایجاد سیل، می‌توان این عامل را به موجب اثرات مهمی که در محیط زیست بوجود می‌آورد، در یک گروه جداگانه و در کنار عوامل طبیعی، به‌عنوان یک عامل غیرطبیعی بسیار مؤثر در ایجاد سیل مورد بررسی قرار داد. دانشمندان بر این باور هم عقیده‌اند که برخی از بلایای طبیعی نظیر سیل از موقعی ظاهر شده که بین فعالیت‌های بشری و طبیعت برخورد پیش آمده است. به همین منظور رفتارهای طبیعت را به لحاظ قانونمندی‌های خاص حاکم بر آن، می‌توان به موجودی با شعور تشبیه کرد که هرگونه فعل‌وانفعال، دخل و تصرف و بهره‌برداری غیراصولی از آن منجر به پاسخ‌های معنی‌داری می‌شود که منعکس کننده ماهیت واقعی برخوردهای انسان و طبیعت است. لذا اعمال مدیریت صحیح برحوزه‌های آبخیز موجب می‌شود تا عکس‌العمل‌های حوضه براساس خواسته‌های منطقی بشر شکل گیرد.

## ۱-۲-۱-۲-۱- نحوه استفاده از اراضی

فعالیت‌های استفاده از اراضی روی واکنش حوضه و سیلاب حاصل از بارش از طرق زیر مؤثر است، تغییر پوشش گیاهی با تأثیر بر تبخیر و تعرق، تلفات و ذخیره برگابی روی کاهش یا افزایش حجم جریان و دبی اوج سیل، اثر قابل توجهی داشته و همچنین اثر آن روی توسعه مناطق منشأ مهم است. فعالیت‌های درون حوضه‌ای شامل جاده‌سازی و نحوه چرای دام‌ها موجب ایجاد تغییر در نفوذپذیری خاک می‌شود. تأثیر مشخص این‌گونه فعالیت‌ها کوتاه‌شدن زمان پیمایش جریان به‌همراه افزایش دبی اوج سیل است.

## ۱-۲-۱-۲-۲- توسعه مناطق شهری

توسعه مناطق شهری و یا شهرسازی عامل مهمی در افزایش دبی اوج سیل است. به واسطه ساختمان‌سازی و توسعه مناطق، سطوح غیر قابل نفوذ ایجاد شده، ضمن کاهش تلفات بارش موجب افزایش حجم رواناب می‌شود. از طرف دیگر جریان‌های بزرگ روی سطوح صاف از سرعت بیشتری برخوردار بوده و این امر موجب کاهش زمان تاخیر و در نتیجه دبی اوج سیل می‌شود.

همچنین توسعه مناطق شهری و روستایی اکثراً توأم با دسترسی بشر به حریم رودخانه‌ها و حوزه‌های مجاور آن بوده و ضمن بهره‌برداری‌های غیر اصولی موجبات رواناب و بروز سیلاب و در نتیجه تشدید خسارات آنرا فراهم می‌آورد.

## ۱-۲-۱-۲-۳- عدم اعمال مدیریت صحیح بر حوزه‌های آبخیز

عدم اعمال مدیریت صحیح بر حوزه‌های آبخیز به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تخریب حوزه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. انجام عملیات غیراصولی و استفاده بی‌رویه از منابع طبیعی، ضمن از بین بردن پوشش گیاهی موجب می‌شود؛ عوامل فرسایش با شدت بیشتری بر روی خاک عاری از پوشش اثر گذاشته و آب حاصل از بارندگی به سرعت توسط آبراهه‌های ایجاد شده در اثر فرسایش از دسترس خارج شود.

### ۱-۲-۲-۱-۴- عدم رعایت حریم بهره‌برداری بهینه از رودخانه‌ها و مسیل‌ها

مقاطع طبیعی موجود در رودخانه‌ها و مسیل‌ها که طی سالیان متمادی، در اثر سیلاب‌های مختلف ایجاد شده، حاکی از توان آبدهی حوزه‌های مزبور در پریودهای زمانی خاصی است. عدم توجه به این مسأله موجب کاهش مقاطع رودخانه و در نتیجه کاهش ظرفیت عبوری آن خواهد شد. حاصل‌خیزی مرغوبیت اراضی حاشیه رودخانه و برداشت غیراصولی مصالح بستر، موجب تصرف اینگونه اراضی توسط مردم و تشدید خسارت سیل شده، همچنین تخلیه زباله و مازاد مصالح ساختمانی در بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها موجب کاهش ظرفیت عبور جریان سیلاب می‌شود. مثال بارز سیلاب سال ۷۴ مسیل وردآورد است که گرفتگی و انباشت مواد مختلف در مسیل، یکی از عوامل عمده آن بوده است. سیل مزبور خسارات بسیار هنگفتی به تأسیسات و اماکن دولتی و خصوصی وارد آورد که خارج از تصور است.

### ۱-۳-۱- بررسی اهمیت برخی مسائل اساسی در سطح حوزه‌های آبخیز

#### ۱-۳-۱- اهمیت بررسی حوزه‌های آبخیز از نظر سیل‌خیزی

ایجاد سیل یکی از فرآیندهای هیدرولوژیکی است که ابعاد آن تحت‌تأثیر شرایط مختلف طبیعی و مصنوعی سطح زمین و نیز شرایط مختلف اقلیمی تغییر می‌کند. این پدیده طبیعی در صورت مهار و کنترل، از منابع آب مورد‌استفاده در توسعه اقتصادی بوده و منافع زیادی را در بخش کشاورزی و منابع طبیعی سبب می‌شود. در حالی که در صورت عدم شناخت و عدم کنترل و مهار آن، از بلایای طبیعی به‌شمار آمده و خسارات و تلفات جانی در پی خواهد داشت.

یکی از ویژگی‌های بسیار مهم حوزه آبخیز، شدت سیل‌خیزی آن است، به‌طورکلی، شدت سیل‌خیزی، وضعیت سیلاب در آن حوضه را مشخص می‌کند. شدت سیل‌خیزی توأم با ویژگی‌هایی نظیر مقادیر سیلاب‌های با تواتر مختلف، میزان فراوانی وقوع سیلاب‌ها و تاریخچه رویدادهای گذشته حوضه موردنظر، از بارزترین ویژگی‌های هر حوضه هستند.

در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت و استفاده بیش از حد منابع طبیعی، تخریب پوشش گیاهی زمینه وقوع سیل‌های مخرب افزایش یافته است. ظرفیت رودخانه‌ها برای عبور سیلاب در شرایط مختلف متفاوت

بوده و در برخی موارد ظرفیت انتقال رودخانه‌ها کمتر از دبی سیل بوده و لذا در نواحی کشاورزی و شهری خسارات زیادی را وارد کرده است. به‌علاوه تعداد وقوع این سیلاب‌ها هر ساله رو به افزایش است. همچنین، افزایش جمعیت باعث شده است تا مردم برای امرار معاش به سمت نواحی با درجه خطر بالا از نظر سیل‌گیری روی آورده و بخصوص در نواحی حاشیه رودخانه‌ها سرمایه‌گذاری زیادی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شهرسازی کنند.

استخراج اطلاعات سیل‌خیزی با استفاده از روش‌های معمول نیاز به اطلاعات و هزینه‌های بسیار زیاد دارد، به‌طوری که امکان تهیه این اطلاعات برای کلیه نواحی کشور به سادگی امکان‌پذیر نیست. زیرا در روش‌های معمول نیاز به نقشه‌برداری زمینی با دقت بالا و مطالعه هیدرولوژی، هواشناسی و تعیین پتانسیل‌های سیل‌خیزی است که وقت و هزینه بالایی را نیاز دارد.

تصاویر ماهواره‌ای لندست به دلیل داشتن اطلاعات در محدوده طیف بانندی مناسب می‌تواند تغییرات عوارض سطحی زمین را نشان دهد. در این رابطه نواحی سیل‌گیر به دلیل پوشش گیاهی مناسب و همچنین داشتن رنگ روشن نسبت به نواحی دیگر در تصاویر قابل تفکیک است. مثلاً سری ماهواره‌های لندست از جمله لندست-۵ به‌طور گسترده‌ای برای شناسایی دشت‌های سیلابی و سیلاب‌ها به دلیل قابلیت‌های تصویربرداری چندطیفی آن مورد استفاده قرار گرفته است. Chander و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی قابلیت و توانایی لندست ۵ برای کاربردهای هیدرولوژی از جمله تشخیص سیلاب و پهنه‌بندی سیل پرداخته است. Roy و همکاران (۲۰۱۴) به سامانه‌های GPS و مدل ارتفاع دیجیتال (DEM) می‌توانند دشت‌های سیلابی و مناطق تحت سیلاب را شناسایی کنند. با ثبت مختصات مرز سیلاب، امکان مقایسه دامنه واقعی سیلاب با دشت سیلاب پیش‌بینی شده فراهم می‌شود که به اعتبارسنجی و بهبود دقت نقشه‌های دشت سیلاب کمک می‌کند. اما در ایران مطالعات چندانی پیرامون این موضوع صورت نگرفته است. بر این اساس در گزارش پیش‌رو بر آن شدیم تا به تجزیه و تحلیل اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری، بارندگی و در نتیجه آن بررسی شدت سیل‌خیزی، خسارت سیل و خطر سیل پردازیم. افزون بر موارد فوق تهیه نقشه‌ای که مجموعه اطلاعات سیل شامل شدت سیل‌خیزی، خطر و خسارات سیل و نیز اطلاعاتی از ویژگی‌های عمومی رگبارها و مؤلفه‌های آبدهی سالانه را

در بر داشته باشد از اهداف این تحقیق و بررسی است. در نهایت از نتایج این بررسی‌ها می‌توان حوضه‌ها را از نظر اولویت در مهار و کنترل سیل و یا کاهش سیل‌خیزی طبقه‌بندی و جایگاه زیرحوضه‌های رتبه چهار را از این منظر نیز در سطح کشور مشخص کرد.

### ۱-۳-۲- اهمیت بررسی آستانه شروع رواناب حوزه‌های آبخیز

آستانه شروع رواناب مقدارحجم بارندگی است که پس از آن رواناب آغاز می‌شود. وقتی شدت بارش از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر باشد بارش مازاد (رواناب) پدید می‌آید. از طرف دیگر هرچه شدت نفوذ آب در خاک بیشتر باشد مقدار رواناب تولیدشده کمتر خواهد بود.

تمرکز و تبدیل هرزآب‌ها به سیلاب، سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی به مراکز صنعتی، شهری و روستایی وارد می‌کند. وقوع سیلاب سبب شستشو و انتقال خاک‌های حاصلخیز سطحی و فرسایش بیش از حد طبیعی خاک می‌شود. ورود خاک‌های فرسایش یافته همراه با جریان طغیانی رودخانه‌ها در سدها، سبب رسوب‌گیری و پرشدن مخازن سدها می‌شود. به دلیل فقدان داده‌های اندازه‌گیری مستقیم رواناب، برای برآورد میزان و شدت سیل، از داده‌های بارش و رگبارها استفاده می‌شود. در ابتدای تبدیل بارش به رواناب مقداری از بارش توسط خاک جذب شده یا به اعماق زمین نفوذ می‌کند و باقی‌مانده تبدیل به رواناب سطحی می‌شود.

یکی از ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز در کشور ما پوشش گیاهی فقیر و کوهستانی بودن آنهاست که در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک با تمرکز و تبدیل رواناب‌ها به سیلاب سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی به مراکز صنعتی، شهری و روستایی وارد می‌کند. روش‌های متعددی برای شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در سطح حوضه‌ها ارائه شده است که عمدتاً بر پایه سازوکار بین شدت باران و شدت نفوذ در خاک و ذخیره در حوضه استوارند. وقتی شدت بارش از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر باشد رواناب پدید می‌آید. از طرف دیگر هر چه شدت نفوذ آب در خاک بیشتر باشد مقدار رواناب تولید شده کمتر خواهد بود.

معمولاً برای برآورد میزان و شدت سیل، از داده‌های بارش و رگبارها استفاده می‌شود. در ابتدای رخداد بارش برای تبدیل آن (بخشی از بارش که به زمین می‌رسد) به رواناب، مقداری از بارش توسط خاک جذب شده یا به اعماق زمین نفوذ می‌کند که به آن آستانه شروع رواناب می‌گویند و باقی‌مانده تبدیل به رواناب

سطحی می‌شود. برآورد آستانه شروع رواناب یکی از مهم‌ترین عوامل در برآورد حجم و شدت سیل محسوب می‌شود و محاسبه دقیق آن می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در هزینه اجرایی و بهینه‌کردن ابعاد سازه‌های فنی در پروژه‌های عمرانی و همچنین مدیریت نزولات جوی در عملیات آبخیزداری شود.

### ۱-۳-۳- اهمیت بررسی دبی بیشینه در حوزه‌های آبخیز

از نظر هیدرولوژیست‌ها اندازه سیل به بهترین نحو با بیشینه جریان تشریح می‌شود، سیل پدیده‌ای است که در طی مدت چند ساعت به‌علت وقوع بارندگی مداوم و سنگین حاصل می‌شود. بنا به تعریف، پیش‌بینی سیل به مدت بارش بستگی خواهد داشت، زمانی که این مدت کمتر از ۶ ساعت باشد، پیش‌بینی سیل تابع فنون قراردادی نخواهد بود، زیرا جمع‌آوری، پردازش و تفسیر اطلاعات کلاً بر مدت تأخیر تدارک و اعلام خطر سیل تأثیر زیادی خواهد داشت. بنابراین مراحل پیش‌بینی سیل زمانی امکان‌پذیر خواهد بود که استمرار وقوع آن بیشتر از شش ساعت باشد.

شناخت دبی اوج و ماکزیمم احتمالی در یک نقطه از رودخانه که ایجاد تأسیسات آبی مانند سدها، پل‌ها، سیل‌بندها و غیره در آن موردنظر است، یک مطلب اساسی است. همچنین در طراحی پروژه‌های بزرگ هیدرولیکی محاسبه ابعاد سرریزها، با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی آن حائز اهمیت است. بر این اساس به‌منظور پیدا کردن یک نسبت منطقی بین مقدار سرمایه‌گذاری و هزینه خسارات ناشی از سیلاب‌ها؛ مطالعات و تحقیقات زیادی توسط هیدرولوژیست‌ها و آماردانان روی دبی ماکزیمم و فرکانس سیلاب‌ها انجام گرفته است (قدوسی و کوشافر، ۱۳۹۶).

با توجه به تشدید و تعدد سیلاب‌ها در کشور و متعاقب آن افزایش خسارت، بخش عظیمی از مطالعات آبخیزداری مختص طرح‌های کنترل سیل است. از طرف دیگر هزینه‌های مطالعات و اجرای این طرح‌ها باعث شده که علاوه بر موضوع به‌گزینی روش‌های کنترل سیل در این پروژه‌ها موضوع به‌گزینی مکانی مطالعات یا عملیات اجرایی نیز مدنظر قرار گیرد. همچنین با توجه به اینکه مساحت حوضه مؤثرترین عامل در وقوع سیلاب است، محاسبه دبی در واحد سطح حوضه از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین به‌منظور دستیابی به دید کارشناسی مناسب‌تر، در این تحقیق برای هر زیرحوضه دبی ویژه مربوطه محاسبه شد.

#### ۴-۱- اهمیت طرح:

عدم دسترسی به اطلاعات جامع، لایه‌های رقومی و تهیه نقشه‌های موضوعی سیل و همچنین آگاهی از عوامل مؤثر و دخیل در تولید سیلاب و ابعاد خسارات ناشی از آن که بتواند نیاز مدیران و کارشناسان امر را در تصمیم‌گیری یاری کند، از مسائل مهم در برنامه‌ریزی برای ارزیابی، کنترل و مدیریت ریسک و بحران سیل و خسارات مرتبط آن است.

امروزه با تلاش متخصصین و محققین این امکان فراهم آمده تا بتوان ضمن رعایت اصل همزیستی و با شناخت قوانین حاکم بر طبیعت، روش‌ها و الگوهای طراحی‌شده‌ای را برای مبارزه با خطرات سیل به کار گرفت.

به‌منظور کاهش خسارات و تلفات و بهبود در مدیریت کلان، شناخت پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی و پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز و عوامل دخیل در وقوع و شکل‌گیری سیل ضروری است. مقدار بارش برای شروع تولید رواناب (آستانه شروع رواناب) و همچنین شناسایی عوامل مؤثر در سیل‌خیزی در تصمیم‌گیری برای انتخاب هرگونه طراحی عملیات مهار و یا کاهش شدت خسارات سیل و برنامه‌ها و عملیات اجرایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اهمیت شناخت فراوانی، شدت و خطر سیل در برنامه‌های مدیریت حوزه‌های آبخیز، تهیه نقشه‌های فراوانی وقوع، شدت و پهنه‌بندی خطر سیل یک نیاز اساسی است که معمولاً در قالب اطلس ارائه می‌شوند. این اطلس‌ها مجموعه‌های مدونی از نقشه‌ها، تصاویر و گزارش‌های مرتبط هستند که با نظمی خاص و با توجه به نیاز کاربران تهیه می‌شوند که در این تحقیق تلاش شده تحت عنوان اطلس سیل‌خیزی استان چهارمحال و بختیاری تدوین و ارائه شود. به‌طورکلی اهمیت و ضرورت انجام این طرح به شرح زیر است:

تهیه نقشه تلفیقی سیل و خسارات ناشی از آن در حوزه‌های آبخیز استان چهارمحال و بختیاری اطلاعات مهمی را بدست می‌دهد که در بخش‌های مختلف اجرایی، تحقیقاتی و آموزشی مؤثر بوده و می‌تواند در طرح‌های تحقیقاتی و مطالعاتی به‌عنوان یکی از لایه‌های مهم اطلاعاتی قابل‌استفاده باشد.

با استفاده از نقشه‌ها و اطلاعات این اطلس، امکان برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و خاک و پوشش گیاهی و مرتعی به‌طور استانی در سطح کلان مدیریتی فراهم می‌شود. همچنین از دستاوردهای این طرح نیز می‌توان در پروژه‌های تحقیقاتی و مطالعاتی مرتبط استفاده کرد.

به‌منظور کاهش خسارات و تلفات ناشی از سیل، اطلاع از پارامترهای مختلف مهم مؤثر و دخیل در وقوع و شکل‌گیری این پدیده طبیعی موردنیاز است. با تهیه نقشه تلفیق پارامترهای موضوعی درحوزه‌های آبخیز و ضمام آن شامل اطلاعات جامع از پارامترهای دخیل در تولید جریان سیلابی و ابعاد سیل، شکل‌گیری و شدت سیل، این امکان برای برنامه‌ریزان و بخش‌های اجرایی و نیز دستگاه‌های مختلف متولی فراهم می‌شود تا برای پیشگیری و کاهش خسارات برنامه‌ریزی بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت مناسب و مبتنی بر واقعیات تدوین کنند.

#### ۱-۵- اهداف طرح

توسعه اطلس سیل در حوضه‌های رتبه هفت کشور

معرفی مدل‌های مناسب شبیه‌سازی در سطح حوضه‌های رده هفت

## ۲- سابقه تحقیق

### ۲-۱- مروری بر منابع

بررسی فرآیند شروع رواناب، عوامل مؤثر بر سیل خیزی و روش‌های برآورد دبی سیلابی، مؤلفه‌های خسارت سیل و طبقه‌بندی آن‌ها به همراه مؤلفه‌های اصلی اطلس سیل از اهداف اصلی این تحقیق است که برای کاربردهای مورد اشاره در فصل اول حائز اهمیت است. به همین سبب نیز این فصل در بخش‌های مستقل برای بررسی منابع مرتبط برای موارد فوق‌الذکر تنظیم شده است.

### ۲-۱-۱- آستانه شروع رواناب

رواناب سطحی، ناشی از فرآیند پیچیده‌ای است که بین بارش و زمین رخ می‌دهد. در تئوری مرسوم در ارتباط با تولید رواناب، برای سرتاسر حوضه، شرایط متوسطی در نظر گرفته می‌شود. هورتون مفهومی را ارائه کرد مبنی بر این که رواناب سطحی هنگامی ایجاد می‌شود که شدت بارش از ظرفیت نفوذ زمین بیشتر شود (Horton, ۱۹۳۳). (Ward و همکاران، ۱۹۹۱) بیان می‌کنند که مدت زمان یک رگبار معمولاً کوتاه‌تر از زمانی است که برای اشباع لایه سطحی اکثر خاک‌ها لازم است.

Karnieli (۱۹۹۳) در چهار حوضه در آریزونای آمریکا با شبیه‌سازی رواناب روزانه مشاهده کرد که آستانه شروع رواناب تابعی از متوسط بافت خاک هر حوضه است و خاک‌های رسی کمترین آستانه و خاک‌های شنی بالاترین آستانه شروع رواناب را دارند. وی نتیجه گرفت که در حوضه‌های جنوب غربی آمریکا میزان آب اولیه خاک اثر مهمی در تولید رواناب دارد.

Sharifi و Boyd (۱۹۹۴) مدل‌های بارش- رواناب ۳ پارامتره AWBM و SFB را در استرالیا مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که مدل AWBM بهتر از مدل SFB رواناب را شبیه‌سازی می‌کند. Sharifi (۱۹۹۷) با مقایسه سه مدل SDI، AWBM و SFB در هشت حوضه استرالیا نشان داد که اگر جریان سطحی به رواناب سطحی و آب پایه تقسیم شود مدل AWBM بهتر از مدل‌های SDI و SFB جواب می‌دهد، ولی در برآورد رواناب در طول دوره مطالعاتی مدل SDI بهتر از AWBM و SFB جواب می‌دهد.

Shetty و Ponce (۱۹۹۵) از بارش سالانه و یک مدل بیلان آبی برای شبیه سازی تغییرات رواناب و آب پایه در چند حوضه آمریکا، آفریقا، کانادا و هند استفاده کردند. نتایج این بررسی ها نشان داد؛ ۱- آستانه شروع رواناب بستگی به اقلیم دارد و میزان آستانه در مناطق نیمه خشک بیشتر از مناطق نیمه مرطوب است. ۲- بیشینه رواناب وابسته به شرایط اقلیم هر منطقه بوده و میزان آن در مناطق نیمه خشک بیش از مناطق مرطوب فصلی است.

Martinez (۱۹۹۸) در مناطق نیمه خشک مدیترانه ای اسپانیا سازوکار تولید رواناب را در حوضه های کوچک بررسی کرده و فاکتورهای مؤثر در تولید رواناب را مطالعه کرد. در این بررسی از دو گروه خاک با عکس العمل- های هیدرولوژیکی متفاوت استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که خاک های ریزبافت با نفوذپذیری کم و مواد آلی کم، ضریب رواناب بالاتر و آستانه شروع رواناب کمتری از خاک های درشت بافت با نفوذپذیری بیشتر و مواد آلی متوسط دارند. اثر خصوصیات بارش در عکس العمل هیدرولوژیکی خاک متفاوت گزارش شده است. شدت بارش پارامتر عمده کنترل کننده رواناب در حوضه های با بافت ریز خاک، نفوذپذیری کم و پوشش گیاهی تنک بود در حالی که در خاک های درشت بافت تر، نفوذپذیر و با پوشش گیاهی متراکم تر رواناب با مجموع بارش ارتباط بیشتری نشان می دهد. Lang و همکاران (۱۹۹۹) یک مدل بارش- رواناب واسنجی شده را برای حوضه های بزرگ خشک ارائه دادند.

Kirkby (۲۰۰۱) مطالعه ای روی خصوصیات خاک و اثر آن روی فرسایش آبی انجام داد و اثر پستی و بلندی های کوچک را در ایجاد رواناب با توجه به آستانه شروع رواناب بررسی کرد و نتیجه گرفت که خصوصیات خاک مثل پستی و بلندی های کوچک و شکل خاکدانه در مقدار و الگوی مکانی رواناب مؤثر است.

Kamphorst (۱۹۸۷) باران ساز کوچکی را برای تعیین فاکتور فرسایش پذیری خاک (K) در معادله جهانی فرسایش به کار گرفت. نتایج حاصل از اندازه گیری میزان رواناب و غلظت رسوب با روش استاندارد برای خاک های مختلف نشان داد؛ مقدار رواناب و غلظت های رسوب برای خاک های مختلف به شدت تغییر می یابد.

Gross و همکاران (۱۹۹۱) رواناب و رسوب ناشی از تأثیر وجود یک گونه گیاهی با در صد تراکم پوشش مختلف را مورد بررسی قرار دادند. وجود پوشش گیاهی حتی با تراکم پائین، تأثیر عمده‌ای بر روی کاهش میزان رسوب دارد.

Bolton و Ward (۱۹۹۱) تأثیر شرایط هیدرولوژیکی خاک‌های مرتعی و جنگلی را بر روی میزان رواناب و رسوب تولید شده بررسی کردند. نتایج بدست آمده حاکی از این است که اختلاف در میزان رواناب و رسوب می‌تواند ناشی از اختلاف در میزان رطوبت قبلی خاک، مواد آلی و درصد سیلت خاک‌ها باشد.

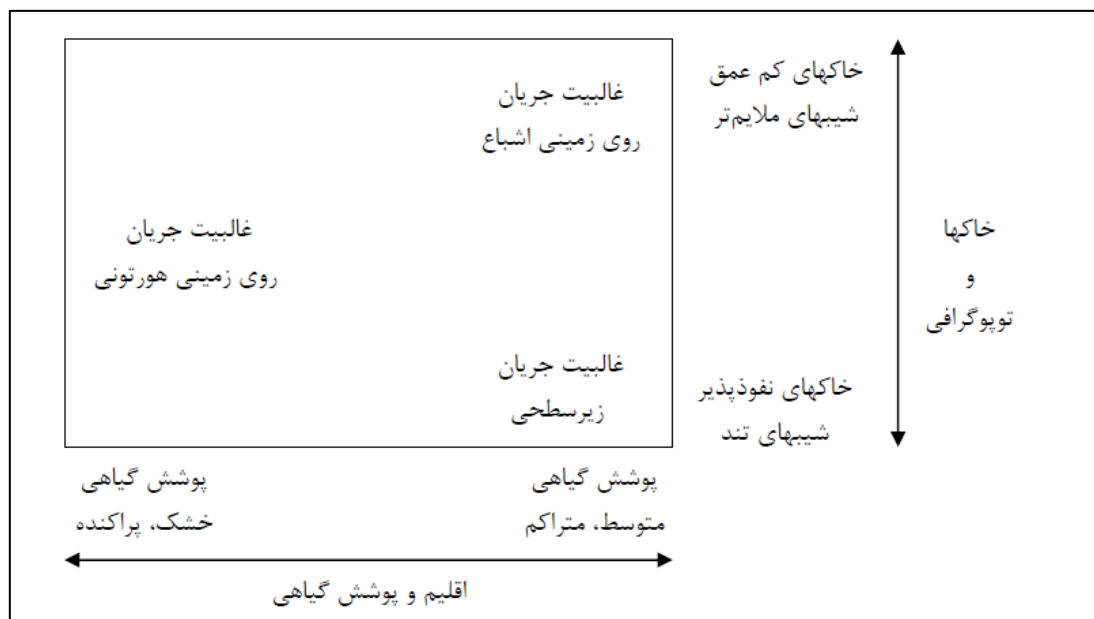
Bissonais و همکاران (۱۹۹۳) با بررسی تشکیل آب‌بند، رواناب و فرسایش بین شیاری بر روی خاک‌های مختلف، نتیجه گرفتند؛ میزان رس، مواد آلی و ترکیبات دارای آهن و آلومینیوم نقش مؤثری در تشکیل آب‌بند در سطح خاک و به تبع آن بر روی میزان رواناب و رسوب دارد.

آستانه شروع رواناب به اقلیم بستگی دارد و میزان آن در مناطق نیمه‌خشک بالاتر از مناطق نیمه‌مرطوب است. بیشینه رواناب در شرایط اقلیمی متفاوت فرق می‌کند و میزان آن در مناطق نیمه‌خشک بیش از مناطق مرطوب فصلی است.

Giordanengo (۲۰۰۰) تأثیر تراکم پوشش گیاهی را در سه سطح صفر، ۳۰ و ۶۰ درصد بر روی تولید رواناب بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که در سال اول کاهش تراکم پوشش گیاهی بر مقدار رواناب اثر مهمی دارد و زمان آغاز رواناب با مجموع سطح زنده گیاهی و توپوگرافی همبستگی دارد.

Hewlett و Hibbert (۱۹۶۷) عبارات سطح مرجع متغیر و توسعه کانال را برای اولین بار معرفی کردند. آن‌ها رواناب را به‌عنوان پاسخ سیستم رودخانه‌های حوضه به بارش در نظر گرفتند. در این نظریه، جریان روی زمینی به‌عنوان بخش توسعه یافته سیستم رودخانه دائم در قسمت‌های باظرفیت ذخیره پایین خاک که در اثر نفوذ به کناره‌های پست‌تر دره به سرعت اشباع می‌شود در نظر گرفته می‌شود.

این رواناب دیررس، کانال توسعه یافته را از زیر تغذیه کرده، درحالی که بارش آن‌را از بالا تغذیه می‌کند. با تداوم بارش، رواناب سطحی از نواحی اشباع توسعه یافته ایجاد می‌شود. مفهومی که بیان‌گر غالب بودن فرآیندهای مختلف رواناب در نواحی مختلف است، در شکل (۱-۲) ارائه شده است.



شکل (۱-۲): اثرات پیشنهادی اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی بر روی فرآیندهای تولید رواناب

ویژگی‌های خاک و اثر آن روی فرسایش آبی و اثر پستی و بلندی‌های کوچک را در ایجاد رواناب با توجه به آستانه شروع رواناب بررسی کرد و نتیجه گرفت که ویژگی‌های خاک مثل پستی و بلندی‌های کوچک و شکل خاکدانه در مقدار و الگوی مکانی رواناب مؤثر است (Kirkby, ۲۰۰۱). بررسی آستانه شروع رواناب توسط باران‌سازهای مصنوعی یکی از روش‌های اقتصادی است که در شرایط تحت کنترل آزمایشگاهی و برای یک دوره کوتاه زمانی صورت می‌گیرد. از نظر تئوری استفاده از این وسیله نه تنها موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌شود، بلکه می‌توان مقدار رواناب و رسوب را به همراه تمامی فرآیندهای دخیل در فرسایش و تولید رسوب پایش کرد. استفاده از باران‌ساز محدودیت‌هایی دارد که از آن جمله نمی‌تواند شرایط طبیعی را به‌طور کامل ایجاد کند.

اورشم (۱۳۷۵) با استفاده از یک باران‌ساز قابل حمل، از نوع قطره چکان، میزان رواناب و رسوب تولیدی را در سازندهای مختلف واقع در حوزه آبخیز ابوالفارس رامهرمز اندازه‌گیری و مقایسه کرد. در این تحقیق اثر شیب و سازند بر رواناب بررسی شد. نتایج نشان داد که افزون بر کاربرد مناسب باران‌ساز در مطالعات رواناب و فرسایش، بیشترین مقدار هرزآب و رسوب مربوط به مارن‌های سازند آغاچاری در شیب ۳۰ درصد در منطقه تحقیق است.

کانونی (۱۳۷۷) تحقیقی در زمینه استفاده از تئوری کمبود جریان برای تخمین رواناب سالانه در استان‌های فارس، بوشهر و کهگیلویه و بویر احمد (جنوب غرب ایران) انجام داد. وی از آمار عوامل موردپایش در ایستگاه‌های هیدرومتری، بارندگی و درجه حرارت ایستگاه‌های موجود منطقه، در یک دوره ۲۱ ساله (از سال ۱۳۵۲-۱۳۵۱ تا ۱۳۷۲-۱۳۷۱) استفاده و روابطی برای تخمین رواناب سالانه ارائه شد. در این تحقیق افزون بر روابط ارائه شده برای تخمین رواناب سالانه، به‌منظور پیش‌بینی مقدار رواناب سالانه با دوره‌های بازگشت موردنظر از روش سیل نمایه استفاده شد.

بررسی‌های نجفی و همکاران (۱۳۸۳) نشان می‌دهد که مقدار آستانه شروع رواناب در اراضی با فرم رویشی گندمیان به طور معنی‌داری نسبت به دو فرم رویشی پهن برگان و بوته‌ای‌ها بیشتر است و آستانه شروع رواناب در اراضی با درصد پوشش صفر، کمترین مقدار و با پوشش صددرصد بیشترین مقدار را دارد و همچنین، این دو از نظر آماری به‌طور معنی‌داری با یکدیگر تفاوت دارند، و به‌طور کلی کاهش آستانه شروع رواناب با کاهش پوشش گیاهی تطابق دارد.

نژادعنبری (۱۳۷۷) برای محاسبه ضرایب رواناب با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله در قسمتی از حوزه آبخیز دریای مازندران (بخش مرکزی و شرقی حوزه آبخیز شماره یک ایران)، در حوضه رودخانه‌هایی نظیر اترک، تجن، چالوس، سرداب رود، سیاهرود، گرگان‌رود، صفارود، کسلیان، بابل‌رود و نکا به این نتیجه دست یافت که ضرایب رواناب به دست آمده از مقادیر واقعی دبی و شدت بارندگی از مقادیر آن‌ها در جداول تجربی کمتر است. آزمون کاربرد مقادیر به‌دست آمده ضرایب رواناب در سه حوزه آبخیز مورد مطالعه نیز نشان داده است که با استفاده از منحنی‌های هم‌ضریب رواناب می‌توان دبی‌های بیشینه لحظه‌ای را با دقت بهتری نسبت به جداول تجربی ضریب رواناب برآورد کرد.

رهنما (۱۳۷۸) به‌منظور برآورد رواناب سطحی در حوزه آبخیز بشار با استفاده از روش SCS به این نتیجه رسید که در یابین حوضه بین رواناب مشاهده شده و رواناب محاسبه شده در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه همخوانی مناسبی وجود داشته، اما روش مورد استفاده نتیجه مطلوبی را که از نظر آماری معنی‌دار باشد، برای رگبارهای ۲۴ ساعته در مقیاس زمانی ماهانه ارائه نمی‌دهد.

شکل آبادی (۱۳۷۹) برای تعیین فرسایش پذیری نسبی خاک در برخی از سازندهای زمین شناسی و رابطه آن با تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکها در حوزه گل آباد همدان، از یک دستگاه باران ساز قابل حمل استفاده کرد. در این تحقیق که بر روی کرتی با مساحت یک متر مربع انجام شد، مشخص شده که استفاده از دستگاه باران ساز افزون بر کاهش وقت و زمان مورد نیاز برای انجام تحقیقات مشابه، می تواند منجر به نتایج قابل قبول و با دقت لازم شود. به ویژه این که با استفاده از باران ساز امکان ایجاد تغییرات دلخواه در شدت، مدت و فراوانی بارشها در نقاط مورد نظر وجود دارد. به عنوان نمونه نتیجه حاصل از این پژوهش نشان داد؛ سازندهای آندزیت سبز رنگ و آبرفتی با توپوگرافی خفیف، بیشینه رواناب و سازندهای گرانودیوریت و آبرفت با توپوگرافی متوسط، کمترین رواناب را داشته اند.

صفارپور (۱۳۸۱) برای تعیین آستانه شروع رواناب، در حوزه آبخیز لتیان از یک شبیه ساز باران قابل حمل استفاده کرد. با ایجاد بارش در شدت و مدت های مختلف در کرت های مطالعاتی، آستانه شروع و میزان رواناب در هر آزمایش اندازه گیری شد. با بررسی نتایج حاصل از انجام آزمایشها، مشخص شد که متغیرهای مؤثر در تعیین آستانه شروع رواناب به ترتیب اهمیت عمق باران، شدت باران، درصد پوشش، درصد شن، درصد رس و درصد شیب هستند. سپس با استفاده از برنامه های آماری یک رابطه تجربی برای محاسبه آستانه شروع رواناب با استفاده از عمق، شدت باران و خصوصیات فیزیوگرافی شامل درصد رس، درصد شن، درصد پوشش و درصد شیب به دست آمد. آستانه شروع رواناب به دست آمده از این رابطه با آستانه شروع رواناب واقعی ۹۸ درصد همبستگی دارد. اختلاف تولید رواناب در دو وضعیت رطوبتی خشک و مرطوب بسیار زیاد بوده و در خاک های مرطوب بلافاصله پس از دقایق اولیه بارندگی میزان رواناب به نزدیک نقطه اوج خود در طول بارش شبیه سازی شده می رسد. مقدار رواناب به میزان رطوبت اولیه بستگی دارد و هر چه رطوبت اولیه خاک بیشتر باشد سرعت نفوذ کاهش یافته و میزان رواناب بیشتر می شود (چرخابی و اسکندری، ۱۳۸۲).

رئیسیان (۱۳۸۴) در یک بررسی صحرایی با استفاده از یک دستگاه شبیه ساز باران قابل حمل انجام داد، زمان شروع رواناب در خاک هایی با کاربری زراعی و مرتعی و در شرایط رطوبتی و شیب های مختلف را اندازه گیری کرد. نتایج به دست آمده حاکی از این است که با افزایش شیب زمان شروع رواناب به صورت

یکنواخت کاهش می‌یابد. در اراضی با کاربری مرتع بر خلاف نتیجه آزمایش‌های انجام شده در اراضی زراعی در هر دو شرایط خشک و مرطوب با افزایش شیب از ۲۵ درصد به ۳۵ درصد زمان شروع رواناب نیز افزایش یافته است.

ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) عوامل مؤثر در آستانه شروع رواناب را با استفاده از داده‌های باران‌ساز و شبیه‌سازی رایانه‌ای و بارش با شدت‌های هشت تا ۴۰ میلی‌متر در ساعت و دوام‌های ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج پژوهش آن‌ها عمق و شدت بارندگی به‌عنوان عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی و شیب به‌عنوان عوامل زمین و نوع بافت شنی و رسی نیز به‌عنوان عوامل خاکشناسی، متغیرهایی مؤثر در تعیین آستانه شروع رواناب معرفی شدند.

پرهمت و همکاران (۱۳۹۴) در چندین حوضه کشور آستانه رواناب را با استفاده از شبیه‌ساز باران در مقیاس پلات و نیز دبی‌سنجی در مقیاس حوضه مورد بررسی قرار داده و نتیجه‌گیری کردند که آستانه رواناب در آزمایشات انجام شده در مقیاس پلات نتایج متفاوتی را دارا است. این پارامتر در حوضه‌های کارستی دارای مقدیری با مرتبه چند برابری نسبت به حوضه‌های غیرکارستی است. همچنین آستانه رواناب در مناطق غیرکارستی علاوه بر بافت خاک، به شدت بارش و نوع پوشش نیز وابسته است.

عباسی و پرهمت (۱۳۹۵) در تحقیقی وقایع بارش و رواناب را در خروجی حوزه آبخیز سنگانه کلات به مساحت ۶/۲۷ هکتار و خروجی چهار زیرحوزه آبخیز کوچک واقع در این حوزه آبخیز را به مدت دو سال مورد بررسی قرار دادند. عوامل مختلف مؤثر در آستانه شروع رواناب نظیر شدت بارش، مساحت حوضه، شیب آبراهه و شیب حوضه، تراکم آبراهه، بارندگی چند روز قبل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شدت بارندگی و مساحت حوضه بیشترین نقش را در آستانه شروع رواناب دارند که در بین این دو عامل تأثیر شدت بارندگی بیشتر از مساحت بوده است. رابطه‌ای بین آستانه شروع رواناب و این دو عامل بر قرار شد که از دقت خوبی برخوردار است.

## ۲-۲- عوامل مؤثر بر سیل خیزی حوضه‌ها

سیل خیزی عبارت از سهم مشارکت رواناب تولید شده در سطح زیرحوضه‌ها با لحاظ کلیه ویژگی‌های آن‌ها در افزایش یا کاهش دبی سیلاب خروجی از کل حوضه است. مقدار دبی جریان سیلابی یک رودخانه یا آبراهه منتهی به خروجی یک حوزه آبخیز که ناشی از وقوع بارش و یا ذوب ناگهانی برف است را بزرگی اندازه<sup>۱</sup> سیل می‌گویند. اوج دبی سیلاب در واقع مقدار بیشینه جریان لحظه‌ای است. این کمیت که یک متغیر وابسته است به یک سری متغیرها و پارامترهای هیدرولوژیکی وابسته است که به‌عنوان عوامل مؤثر در سیل خیزی بررسی می‌شوند.

پارامترهای هیدرولوژی در واقع مشخصه‌های کمی سیستم هیدرولوژیکی هستند که ممکن است با توجه به زمان تغییر کنند یا ثابت بمانند. هدایت هیدرولیکی، ضریب زبری مانینگ، ضریب ذخیره، زمان تمرکز و ضرایب روندیابی نمونه‌ها یا پارامترها هستند. به عبارت دیگر پارامتر یک مشخصه کمی و یا کیفی از سیستم هیدرولوژیکی است که تقریباً نسبت به زمان ثابت باقی می‌ماند مثل سطح یک حوضه، شکل، شیب، ضریب زبری سطح حوضه و آبراهه‌ها هستند که می‌توان از طریق اطلاعات مشاهده‌ای تخمینی از مقادیر مختلف واقعی آن‌ها را بدست آورد.

بررسی‌های زیادی توسط محققان صورت گرفته است تا این عوامل شناسایی و میزان تأثیر آن‌ها در سیل خیزی، با تعریفی که در بالا به آن اشاره شد، مشخص شود که در زیر به مواردی از آن‌ها اشاره می‌شود. Wischmeier و Smith (۱۹۶۰) شدت بارش را مهم‌ترین عامل در بروز رواناب اعلام کردند، در صورتی که Gray (۱۹۷۰) مهم‌ترین عامل مؤثر بر دبی را مساحت حوضه ذکر کرده است. این محقق روابط مختلفی را بین مساحت و دبی حوضه در کشورهای مختلف ارائه کرده است.

Hills (۱۹۷۲) مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیل خیزی را شدت و مدت بارش، توپوگرافی، خاکشناسی و پوشش سطح زمین می‌داند و برای جلوگیری از ایجاد سیلاب‌های شدید (تندآب) کنترل عوامل مذکور را پیشنهاد کرده است.

<sup>۱</sup>Magnitude

نتایج پژوهش Johnson و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که شکل یکنواخت در حوضه‌هایی دیده می‌شود که عرض رودخانه در آن حوضه‌ها بیشترین مقدار است. در این نوع حوضه‌ها، هرزآبها به‌طور هم‌زمان از تمامی آبراهه‌های حوضه به نقطه خروجی می‌رسند و در نهایت باعث ایجاد هیدروگراف‌هایی با دبی اوج زیاد می‌شوند. در عوض، حوضه‌های کشیده دارای هیدروگراف‌های پخ‌تری هستند، زیرا رواناب ایجاد شده در حوضه در زمان‌های مختلف به نقطه خروجی می‌رسد به‌طوری‌که این زمان پیمایش دارای دامنه وسیعی است. بنابراین، حوضه‌های گرد در مقایسه با حوضه‌های کشیده تأثیر بیشتری بر رواناب و در نتیجه سیل خیزی دارند. همچنین آن‌ها در تحقیقاتی که در مورد علت عریض شدگی رودخانه ویرجینیا بر اثر سیلاب «کامیل» انجام دادند نتیجه گرفتند که مورفومتری حوزه آبخیز بر پاسخ رودخانه موردنظر به سیلاب‌های بزرگ، مؤثر است. در این مطالعه، شکل حوضه یک عامل مهم و مؤثر بر عریض شدگی رودخانه موردنظر تشخیص داده شد. در تحقیق دیگری Ruis-Sinoga و همکاران (۲۰۱۰) فرآیندهای هیدرولوژیکی را در جنوب اسپانیا مورد بررسی قرار داده و اعلام کردند که در مناطق تپه ماهوری اقلیم خشک مدیترانه‌ای، به دلیل تغییرات پوشش سطحی (قطعات سنگی و گیاهان) و شرایط اقلیمی، فرآیندهای هیدرولوژیکی به‌طور مکانی و زمانی متغیر است و به دلیل نفوذ رواناب سطحی در امتداد سرایشی‌ها و بخصوص در بخش‌هایی که از مواد مادری نفوذپذیر آهکی تشکیل شده‌اند، ناپیوستگی هیدرولوژیکی غالب است. همچنین، نتیجه‌گیری شد که بین میزان رواناب و پوشش قطعات سنگی همبستگی منفی وجود دارد.

Seeger (۲۰۰۷) با استفاده از باران‌ساز مصنوعی شک و تردیدهای موجود در عوامل تعیین کننده کمی فرآیندهای تولید رواناب و فرسایش در مناطق مختلف کشور اسپانیا را مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که در اغلب مناطق، تولید رواناب و رسوب دارای تغییرات زیادی است و لذا حتی در شبیه‌سازی بر روی پلات‌های کوچک فرآیندهای پیچیده متعددی بایستی مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس، عوامل مؤثر بایستی حتی در مقیاس‌های تفصیلی برای ویژگی‌های ژئواکولوژیکی و نیز در مقیاس‌های مختلف زمانی مورد بررسی قرار گیرند.

Maidment (۱۹۹۲) رابطه رگرسیونی بین دبی‌های سیلابی و پارامترهای ژئومتریک رامطالعه کرد. ایشان پارامترهای مؤثر بر دبی سیلابی را طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط، شیب حوضه و مساحت عنوان کرده است. Campalo و همکاران (۱۹۹۹) عوامل شدت بارش، ارتفاع آب و زمان تأخیر حوضه را برای برآورد سیلاب بیشینه در نظر گرفت. براساس نتایج این محقق، خصوصیات هر واقعه سیلابی به شدت بارندگی و مکان حوضه بستگی دارد و همچنین مدل ارائه شده توسط ایشان توانایی پیش‌بینی سیلاب تا زمان پنج ساعت را نیز دارد. Tsujimoto (۱۹۹۹) نقش پوشش گیاهی در کاهش سیلاب را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که انواع فرآیندهای سیلابی رابطه معکوس با پوشش گیاهی داشته و پوشش می‌تواند روی چشم‌انداز رودخانه تأثیرگذار باشد.

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۱</sup> دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت‌های  $T$  سال را از روابط همبستگی بین دبی با دوره بازگشت‌های مختلف و پارامترهای ژئومتریک حوضه محاسبه کرده است که این پارامترها عبارتند از مساحت، شیب، ارتفاع و طول آبراهه اصلی حوضه هستند.

Miller و همکاران (۱۹۷۵) رابطه رگرسیونی بین سیل متوسط سالانه و خصوصیات حوضه نظیر سطح حوضه، شیب آبراهه، استفاده از اراضی، کلاس خاک، بارش متوسط سالانه و زهکشی حوضه را مطالعه کرد. براساس نتایج آن‌ها بیشترین همبستگی بین سیلاب متوسط سالانه و مساحت حوضه به دست آمده است. Hjelmfelt و همکاران (۱۹۹۲) بیان می‌کنند که هیدروگراف‌های واحد حاصل از مطالعات انجام شده در ۱۷ حوزه آبخیز، در مناطق مختلف کامانولز<sup>۲</sup> در پنسیلوانیا، شکل نسبتاً ثابتی برای هر حوزه آبخیز دارد و تغییرات زیادی را در بین حوضه‌های مختلف نشان داد. در این بررسی مشخص شد که عوامل مربوط به بارندگی کمترین اثرات را بر هیدروگراف واحد داشته و عوامل فیزیوگرافی باعث اختلافات اساسی شکل‌های هیدروگراف حوزه‌های آبخیز شده است.

سرلک (۱۹۹۴) برای کمی کردن تأثیر لیتولوژی روی سیلاب بیشینه روابط ریاضی فیما بین دبی و سطح در سازندهای مختلف برقرار کرد. و همچنین تأثیر فاصله مرکز رگبار از خروجی حوضه بر روی سیلاب بیشینه

<sup>۱</sup>USGS, 1999

<sup>۲</sup>Kamanvels

را مورد بررسی قرار داد. وی نهایتاً با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و مدل هیدرولوژیکی-HEC ۱ سیلاب را برای یک واقعه تاریخی شبیه‌سازی کرده و نتیجه را با هیدروگراف ثبت شده مقایسه کرد، نتایج این محقق نشان می‌دهد که مدل-HEC ۱ با کمک GIS توانایی برآورد سیلاب در حوضه‌های ایران را دارد. شرکت خدمات مهندسی جهاد در گزارش سیل خیزی و کنترل سیلاب در حوضه سیدمرتضی رابر در استان کرمان به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر سیل خیزی پرداخت و عوامل مؤثر بر سیل خیزی را مساحت، فاکتور شکل، تراکم آبراهه‌ها، شیب متوسط حوضه، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و خاک‌شناسی مطرح کرده است. بوسیله روش اسکالوگرام که عوامل مؤثر را با ضرایب مثبت و منفی وارد مدل میکند و همچنین با استفاده از نرم‌افزار Scalo به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های این حوضه پرداخته و در هر زیرحوضه عوامل مؤثر اولویت‌بندی شده است. رضایی کلج (۱۳۷۹) مطالعه سیل خیزی حوزه آبخیزکن و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها را به انجام رسانده است. وی موضوع اولویت‌بندی را از دید کارشناسی و کیفی بررسی کرد و به این نتیجه رسید که زیرحوضه کیگا از همه زیرحوضه‌ها سیل خیزتر است.

داغستانی (۱۳۷۶) در تحقیق خود نتیجه‌گرفت که فاکتورهای مساحت، بارندگی متوسط، ارتفاع متوسط حوضه روی دبی‌بیشینه مؤثر است و در حله اول سیلاب‌ها متکی بر مساحت حوضه‌ها هستند و پارامترهای دیگر در رتبه‌های بعدی قرار دارند. روغنی (۱۳۷۸) ضمن بررسی چگونگی تأثیر مناطق هم‌تمرکز بردبی اوج سیل حوضه، مناطق میانی را به‌عنوان مناطق مؤثر بردبی اوج تعیین کرده و پیشنهاد تمرکز عملیات اجرایی را در این محدوده داده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود عوامل مؤثر در سیل خیزی در مناطق مختلف می‌توانند متفاوت باشند و لذا ضروری است که در هر حوضه و منطقه این بررسی‌ها صورت گیرد تا عوامل مؤثر شناسایی و در عملیات کنترل سیلاب و یا آبخیزداری و حفاظت خاک و کنترل رسوب نقش بازدارندگی و یا کاهش آن‌ها تقویت شود.

## ۲-۳- روش‌های برآورد سیلاب

اصولاً برای برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت منابع آب، آبخیزداری و کنترل سیلاب افزون بر شناسایی عوامل مؤثر بر سیل خیزی و اولویت‌بندی مناطق مؤثر در وقوع و تشدید سیل و تعیین مکان‌های در معرض سیل،

باید بزرگی اندازه سیل و فراوانی وقوع آن برآورد شود. روش‌های مختلفی برای برآورد دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شده است که عموماً بر پایه ویژگی‌های اقلیمی و پارامترهای فیزیکی حوضه و براساس شناخت عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب استوارند. سیلاب یک پدیده پیچیده‌ای است که عوامل مختلف اقلیمی، ادافیکی و مدیریتی در بروز آن تأثیر دارند و هر روشی که عوامل بیشتری را لحاظ کرده باشد، دقت بالاتری از آن انتظار می‌رود. تحلیل منطقه‌ای سیلاب، روش‌های تجربی و به ویژه روش‌های بارش-رواناب و استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی از جمله روش‌های متداول برای تحلیل سیل هستند. داده‌های دبی و سیلاب‌های شدید آمریکا و بعضی از کشورهای دیگر سیل‌خیز را جمع‌آوری و مورد بررسی قرار داده و منحنی پوش دبی‌های ویژه را بر مبنای سطح حوضه‌ها تهیه کردند. رابطه بدست آمده در قالب رابطه کلی (۱-۲) ارائه شده است. تنها تفاوت آن متغیر بودن نمای رابطه است که در هر منطقه بستگی به مساحت حوضه دارد (تلوری و همکاران ۱۳۷۵).

$$Q = CA^n \quad (1-2)$$

در رابطه بالا  $Q$  شدت جریان بیشینه،  $C$  ضریب تجربی،  $A$  مساحت حوضه و  $n$  نمای معادله است که بین ۰ تا ۱ در تغییر است. این معادله برای حد بالا یا منحنی پوش ۱ حوزه آبخیز تعریف شده است. مطالعه سیلاب‌های بیشینه رودخانه‌های ایران نشان می‌دهد که مقدار  $C$  کریگر در محدود ۲۰ تا ۴۰ در تغییر است. تلوری و همکاران (۱۳۷۵) نیز برای حوضه خزری در کشور منحنی‌هایی را بر پایه رابطه کلی (۱-۲) بدست آورده‌اند. در مطالعه هیدرولوژی حوزه آبخیز سفیدرود در قالب طرح جامع آبخیزداری، ضریب حوضه برای منطقه طالقان برابر ۱/۸ و برای قزل اوزن برابر ۰/۸ بدست آمده است (مهدوی، ۱۳۷۴).

فرمول استدلالی، رابطه ایساکوسکی<sup>۲</sup> و روابط پتیز<sup>۳</sup>، پوتر<sup>۴</sup>، مک‌م<sup>۵</sup> و پوزنتیس<sup>۶</sup> روابطی هستند که با استفاده از خصوصیات حوضه مانند مساحت، شیب متوسط، زمان تمرکز و ویژگی‌های بارندگی با دوره بازگشت

---

1- Enveloping Curve  
 2- Isakawski  
 3- Pettis  
 4- Potter  
 5- MacMath  
 6- Possentis

۱۰۰ ساله برای تخمین دبی سیلابی ارائه شده‌اند. با انجام بررسی‌های متعدد در اقصا نقاط جهان، از جمله ایران، کاربرد چنین روش‌های تجربی ارزیابی شده است همچنین، روش‌های دیگری ارائه شده که در اغلب کتب هیدرولوژی به تفصیل تشریح شده است.

استفاده از توابع توزیع احتمال پیوسته در هیدرولوژی و به ویژه در برآورد سیلاب از دیر باز متداول بوده و تحقیقات فراوان در این مورد، موجب بسط و توسعه روش‌های هیدرولوژی آماری شده است. همانگونه که پیشتر نیز به آن اشاره شد در بسیاری از تحقیقات مربوط به روش‌های برآورد سیلاب، از دبی‌های بیشینه با دوره بازگشت معین و یا با احتمال تجاوز از حد مشخصی یاد شده که لازمه آن استفاده از روش‌های آماری متداول در هیدرولوژی است و به همین منظور بررسی‌های زیادی در خارج و داخل کشور روی این موضوع انجام گرفته است.

اصولاً استفاده از توزیع‌های آماری شامل دو مرحله است. نخست یافتن مناسبترین توزیع فراوانی برای برازش با داده‌های مشاهده‌ای دبی و سپس تخمین پارامترهای آماری با استفاده از نمونه‌های مشاهده‌ای است. اگرچه توزیع‌های احتمالاتی بسیار زیادی ارائه شده است، ولی توزیع‌هایی مانند توزیع نرمال، توزیع لوگ نرمال، توزیع لوگ نرمال سه پارامتری، توزیع گامای دو پارامتری، توزیع پیرسون نوع سه (گامای سه پارامتری)، توزیع لوگ پیرسون نوع سه، توزیع گمیل یا مقادیر حدی نوع یک، بیشتر در هیدرولوژی کاربرد دارند. معمولاً از روش‌های مربع کای، کلوموگروف-اسمیرونوف و یا حداقل مربعات برای آزمون نکویی<sup>۱</sup> برازش در تعیین درجه ارجحیت توابع توزیع فراوانی استفاده می‌شود.

گاهی مواقع برای بیان وابستگی یک کمیت به چندین متغیر از تحلیل رگرسیونی استفاده می‌شود. در تحلیل رگرسیونی سیل، هدف یافتن رابطه‌ای بین دبی بیشینه سیلابی با احتمال معین و متغیرهای مستقل است. تابعی که این رابطه را بیان می‌کند به تابع رگرسیون موسوم است. به‌طور کلی تحلیل رگرسیونی به معنی برازش دادن یک معادله به مجموعه‌ای از داده‌ها است، (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴). فتحیان و همکاران

---

<sup>۱</sup> Goodness of fit

(۱۳۹۱) از این روش برای تعیین نواحی همگن و تخمین دبی‌های بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف در زیرحوضه‌های فاقد آمار در حوضه دریاچه ارومیه استفاده کردند.

خامچین مقدم و رضائی‌پژند (۱۳۸۸) نیز در ارزیابی طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن براساس بیشینه بارش در ایران از این روش استفاده کردند. اسلامیان برای برآورد بارش‌های بیشینه ماهانه در حوضه زاینده‌رود نتایج حاصل از روش گشتاور خطی را با روش ایستگاهی مقایسه و مزیت این روش را در انتخاب توزیع مناسب نشان دادند (فیضی و همکاران، ۱۳۸۴).

روش (SCS) برای برآورد ارتفاع و دبی بیشینه رواناب در حوضه‌ی آبریز سراب دره‌شهر که جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک و فاقد داده‌ها و یا داده‌های کم توسط حجازی و مزبانی (۱۳۹۴) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، از بین پارامترهای مورد استفاده در زیر-حوضه‌ها، دو پارامتر فیزیوگرافی (مساحت و تراکم زهکشی) تأثیر بیشتری در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز سراب دارند.

کاظمی و همکاران (۱۳۹۷) آستانه شروع رواناب را با استفاده از مدل شبیه ساز بارش رواناب AWBM و پس از واسنجی و بدست آوردن پارامترهای بهینه مدل شبیه سازی شد. پهنه بندی حوزه‌های آبخیز در استان کرمان براساس مقادیر بدست آمده از مدل انجام و درصد پوشش سطحی حوضه‌ها با توجه به میزان آستانه شروع رواناب محاسبه شد. سپس نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقادیر آستانه رواناب استان در دامنه ۱ تا ۲۵ میلی متر است.

شریفی و اروندی (۱۳۹۸) به‌منظور ارزیابی فرایندهای هیدرولوژیکی و ظرفیت‌های آبی از مدل‌ها، مدل‌های شبیه‌سازی AWBM، SFBM، ۲۰۰۲، SCS و ISDI، در حوزه‌های آبخیز در استان گلستان انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد که مدل‌های مورد استفاده به‌خوبی می‌توانند مجموع رواناب، آب پایه و رواناب سطحی را در این حوضه‌ها شبیه‌سازی کنند و قادرند با اطلاعات قابل دسترس پاسخ حوضه‌های فاقد آمار را محاسبه کرده و از قابلیت خوبی در طراحی و پژوهش برخوردار باشند.

روش‌های بارش-رواناب که معمولاً به روش‌های شبیه‌سازی<sup>۱</sup> هیدروگراف نیز موسوم است با استفاده از هیتوگراف رگبارهای به وقوع پیوسته و یا رگبار طراحی و به کمک تئوری‌های ساده سیستمی، فیزیکی، فازی، شبکه‌های عصبی و یا ترکیبی از آن‌ها، بارش در سطح حوضه را به بارش مازاد یا رواناب و سپس با یا بدون روندیابی به دبی جریان خروجی از حوضه تبدیل می‌کنند. در مورد حوضه‌های فاقد آمار و یا مواجه با کمبود آمار معمولاً از روش اداره حفاظت خاک امریکا، هیدروگراف واحد مصنوعی، که بر پایه ویژگی‌های حوضه و بارش در منطقه بدست می‌آید، و یا مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود.

مدل‌های هیدرولوژیکی انواع گوناگونی دارد و دسته‌بندی آن‌ها می‌تواند در انتخاب مدل مناسب برای کاربرد مورد نظر کمک کند. معمولاً یک مدل ریاضی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز از چندین بخش تشکیل می‌شود. هر بخش اصلی، جزئی از فرآیندهای سیکل هیدرولوژیک را توصیف می‌کند. یک مدل ریاضی می‌تواند یکی از سه نوع نظری<sup>۲</sup>، مفهومی<sup>۳</sup> و یا تجربی<sup>۴</sup> باشد. مدل‌های نظری و تجربی در معنی متضاد یکدیگرند و مدل مفهومی در بین این دو قرار می‌گیرد. علاوه بر این، مدل‌های ریاضی را می‌توان به قطعی<sup>۵</sup> یا احتمالاتی<sup>۶</sup> تقسیم کرد. انواع دیگر طبقه‌بندی مدل‌های ریاضی شامل خطی<sup>۷</sup> یا غیرخطی<sup>۸</sup>، ایستا<sup>۹</sup> یا غیرایستا<sup>۱۰</sup>، یکپارچه<sup>۱۱</sup> یا توزیعی<sup>۱۲</sup>، پیوسته<sup>۱۳</sup> یا گسسته<sup>۱۴</sup>، تحلیلی<sup>۱۵</sup> یا عددی<sup>۱۶</sup> و تک واقعه‌ای<sup>۱۷</sup> یا فرآیند پیوسته<sup>۱۸</sup> است. تحقیقات زیادی در خصوص این روش‌ها صورت گرفته که منجر به توسعه و بهبود آن‌ها و یا دقت بیشتر در برآوردهای آن‌ها شده است. بسیاری از پژوهشگران نیز کاربرد این روش‌ها را در حوضه‌های مختلف کشور بررسی کرده‌اند.

---

<sup>1</sup>Simulation

<sup>2</sup>Theoretical

<sup>3</sup>Conceptual

<sup>4</sup>Empirical

<sup>5</sup>Deterministic

<sup>6</sup>Probabilistic

<sup>7</sup>Linear

<sup>8</sup>Nonlinear

<sup>9</sup>Time – invariant

<sup>10</sup>Time – variant

<sup>11</sup>Lumped

<sup>12</sup>Distributed

<sup>13</sup>Continuous

<sup>14</sup>Discrete

<sup>15</sup>Analytical

<sup>16</sup>Numerical

<sup>17</sup>Event- Driven

<sup>18</sup>Continuous- Process

## ۲-۳-۱- روش‌های تحلیل آماری و منطقه‌ای سیلاب

فراوانی وقوع سیل در واقع احتمال وقوع آن را بیان می‌کند. به‌جای احتمال وقوع سیل معمولاً از واژه دوره بازگشت<sup>۱</sup> استفاده می‌شود، که عکس احتمال تجاوز از یک مقدار معین است. برای پیش‌بینی احتمال وقوع سیل در یک حوضه از تحلیل فراوانی یک سری زمانی جریان، مثلاً سری زمانی بیشینه دبی سیلاب سالانه، به کمک توزیع‌های احتمالات آماری استفاده می‌شود.

در فراوانی وقوع سیلاب سعی می‌شود داده‌های دبی سیلابی ثبت شده با توابع توزیع تئوری احتمالات برازش داده شده و بهترین تابعی که با داده‌ها مطابقت داشته باشند به‌عنوان تابع توزیع احتمال برگزیده شود. سپس به وسیله آن به ازاء هر احتمال موردنظر مقدار متغیر دبی سیلاب برآورد شود. معمولاً در انتخاب توزیع احتمال از معیارهای تصمیم‌گیری و آزمون نکوئی برازش سری‌های دبی بیشینه لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده می‌شود.

تحلیل منطقه‌ای سیلاب اصطلاحاً به فنونی گفته می‌شود که برآورد اندازه یا بزرگی دبی سیلاب در حوضه‌ها را براساس داده‌های تاریخی ثبت‌شده در حوضه‌های همان منطقه امکان‌پذیر می‌سازد. اصولاً برآوردهایی که از مجموعه چندین ایستگاه حاصل می‌شود، دقیق‌تر از برآوردی است که از یک ایستگاه به تنهایی به‌دست می‌آید. تحلیل منطقه‌ای سیلاب در واقع ابزاری است که به کمک آن می‌توان مقدار سیلاب را با توجه به دوره بازگشت آن در یک ناحیه به دست آورد. اولین اقدام در روش‌های تحلیل آماری برازش داده‌های دبی با یکی از توزیع‌های احتمالاتی است. از جمله روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب، روش همبستگی (معادله رگرسیونی) و روش سیل شاخص است.

## ۲-۳-۱-۱- روش همبستگی یا معادله رگرسیونی

گاهی از مواقع برای بیان وابستگی یک کمیت به چندین متغیر، نیاز به استفاده از یک تابع ریاضی است. در واقع در تحلیل رگرسیونی هدف یافتن رابطه‌ای بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل

<sup>۱</sup>Return period

است. تابعی که این رابطه را بیان می‌کند به تابع رگرسیون موسوم است. به‌طور کلی تحلیل رگرسیونی به معنی برازش دادن یک معادله به مجموعه‌ای از داده‌ها است (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴).

روش رگرسیونی به‌طور متداول برای ساختن مدلی که سیلاب پیشینه را بوسیله تابعی از مشخصات فیزیوگرافی و سایر خصوصیات حوضه پیش‌بینی کند، به‌کار می‌رود (Shu و همکاران، ۲۰۰۸). تحلیل رگرسیونی را ممکن است یک متغیره و یا چند متغیره (یا چندگانه) و به دو روش خطی و غیرخطی انجام داد. در مدل غیرخطی می‌توان مدل‌هایی با ضابطه دلخواه بین متغیرهای مستقل و وابسته ارائه کرد. توجه به این نکته لازم است که بهترین مدل، مدلی است که کمترین درصد خطا را داشته باشد. حدس چنین مدل بهینه‌ای نسبتاً مشکل بوده و اکثراً از روش‌های عددی برای حدس پارامترهای مدل استفاده می‌شود.

در روش رگرسیون چند متغیره دبی با فراوانی معین با خصوصیات حوضه ارتباط داده می‌شود. در این روش نتایج با داده‌های مشاهده‌ای تفاوت‌هایی دارد که به آن‌ها باقی مانده‌ها می‌گویند و ناشی از شانس یا تصادف هستند. در واقع معادله رگرسیون این باقیمانده‌ها را متوسط‌گیری می‌کند. در این روش برای تحلیل سیلاب منطقه‌ای بین سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف (متغیرهای وابسته) و خصوصیات حوضه مانند مساحت، شیب متوسط، بارندگی متوسط سالیانه (متغیرهای مستقل) روابطی تنظیم می‌شود که با استفاده از آن‌ها می‌توان سیلاب را با دوره بازگشت موردنظر در حوضه فاقد آمار برآورد کرد. رابطه کلی به‌صورت رابطه (۲-۲) است.

$$Q_t = f(A^a, B^b, C^c, \dots, Z^z) \quad (2-2)$$

در این رابطه  $A$ ،  $B$  و  $C$  تا  $Z$  متغیرهای مستقل هستند و  $a$ ،  $b$  و  $c$  تا  $z$  ضرایب ثابتی هستند که از تحلیل رگرسیون چند متغیره بدست می‌آیند. همچنین،  $Q_t$  نیز دبی با دوره بازگشت  $t$  سال است. روش‌های گوناگونی برای تعیین ضرایب این فرمول وجود دارد که ساده‌ترین آن رگرسیون خطی، رگرسیون غیر خطی و پله‌ای (روش پیشرو و پسرو) است.

در عمل تفسیر نتایج این روش ساده نیست، زیرا توصیف تمام تغییرات دبی براساس خصوصیات حوضه با استفاده از رگرسیون امکان پذیر نیست. بنابراین قسمتی از باقی مانده تغییرات مربوط به شانس و بخشی نیز مربوط به آن دسته از خصوصیات حوضه است که وارد مدل نشده اند. در هر صورت جدا کردن مقدار واقعی هر یک از این دو موضوع مشکل است. استقلال آمار ایستگاهها از یکدیگر و همگنی ایستگاهها نیز از مسائل مهمی است که باید در این روش لحاظ و بررسی شود.

### ۲-۳-۱-۲- روش سیل شاخص

روش سیل شاخص<sup>۱</sup> یکی از روشهای مرسوم تحلیل منطقه‌ای سیلاب است که بیشترین کاربرد را دارد (Shu و Ouarda, ۲۰۰۸). در روش اولیه که توسط Dalrymple (۱۹۶۰) ارائه شد مراحل کار به شرح زیر است:

در منطقه مورد مطالعه برای تمامی حوضه‌هایی که آمار قابل دسترس دارند، منحنی فراوانی<sup>۲</sup> یعنی رابطه بین دبی و دوره بازگشت ترسیم می‌شود. دوره بازگشت نیز با استفاده از توزیع احتمالات برآورد می‌شود. دبی با دوره بازگشت  $T$  سال ( $Q_T$ ) هر ایستگاه از منحنی فراوانی مربوطه استخراج می‌شود. میانگین سالیانه سیلاب  $Q_m$  از سری داده‌های سیلاب هر ایستگاه برآورد می‌شود. در هر ایستگاه، نسبت  $Q_T / Q_m X_T =$  برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شده و منحنی فراوانی بدون بعد بین  $X_T$  و  $T$  ترسیم می‌شود.

از همه منحنی‌های بدون بعد ایستگاهها میانگین گیری می‌شود. این اعداد بدون بعد برای دوره بازگشت‌های مربوطه در کاغذ توزیع احتمال غالب ایستگاهها ترسیم می‌شود که به آن منحنی رشد منطقه‌ای<sup>۳</sup> می‌گویند. در این جا فرض می‌شود این منحنی در مناطق همگن ثابت است. روش دیگر در تهیه منحنی رشد منطقه‌ای یا تناوب استفاده از میانه نسبت‌ها است که در آن برای هر دوره بازگشت میانه سری نسبت‌های<sup>۴</sup> تعیین می‌شود. در این منحنی محور عمود میانه نسبت‌های دبی  $t$  ساله به دبی متوسط یعنی  $\{Q_t/Q\}$  Median  $\{2\}$  و محور افقی

<sup>1</sup> Index flood method

<sup>2</sup> Frequency curve

<sup>3</sup> Regional Growth Curve

<sup>4</sup> Median Ratio

دوره بازگشت<sup>۱</sup> T به سال در کاغذ احتمالات غالب منطقه است. رابطه‌ای بین سیلاب میانگین سالیانه (Qm) و یک یا چند ویژگی فیزیوگرافی و متغیرهای اقلیمی بررسی شده و مناسب‌ترین رابطه انتخاب می‌شود. برای ایستگاه بدون آمار ابتدا میانگین سیلاب Qm از رابطه توسعه داده شده در مرحله ۶ تخمین زده می‌شود. دبی‌های لازم در هر دوره بازگشت با استفاده از منحنی رشد و از رابطه ۲-۳ برآورد می‌شود:

$$Q_T = X_T \cdot Q_m \quad (3-2)$$

در حالت کلی در روش سیل شاخص، میانگین سالیانه سیلاب (سیل شاخص) را می‌توان به وسیله رابطه ۲-۴ پیشگویی کرد:

$$Q_T = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_n) \quad (4-2)$$

که  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$  متغیرهای فیزیوگرافی، اقلیمی یا ترکیبی از هر دو هستند.

روش سیل شاخص یک تکنیک منطقه‌ای کردن با تاریخچه طولانی در آنالیز فراوانی سیلاب است (Dalrymple, ۱۹۶۰). به عقیده Maidment (۱۹۹۶) اگر فرضیات روش سیل شاخص ارضاء شود دقت این روش بالا است.

### ۲-۳-۲- روش‌های تجربی برآورد سیلاب

فرمول‌های تجربی در حقیقت بیان ساده‌ای از رابطه تعیین بیشینه جریان یک رودخانه با فاکتور مؤثر در سیلاب است، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در این روابط سطح حوزه آبخیز است. براساس تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات سیل رودخانه و آنالیز فرکانس، سیلاب بیشینه بدست می‌آید. نکته بسیار مهمی که در بکار بردن این فرمول‌ها باید مد نظر داشت، تشابه هیدرولوژیکی حوضه آبخیز موردنظر با حوزه آبخیز است که فرمول برای آن بدست آمده است. بدون توجه به این مطلب ممکن است اختلاف فاحشی در دبی محاسبه شده با دبی

---

<sup>۱</sup>Return Period

واقعی به وجود آید که در نتیجه خسارت ناشی از خرابی سازه غیرقابل جبران بوده و یا طرح را غیراقتصادی می‌سازد. معمولاً از فرمول‌های تجربی برای رسیدن به دو هدف زیر استفاده می‌شود.

تخمین دبی بیشینه در مطالعات اولیه هیدرولوژی برای حوضه‌هایی که دارای آمار دبی و بارندگی به حد کافی نیستند. تعیین دبی طراحی در حوزه آبخیزی که فاقد آمار آبی است. با توجه به این که اغلب حوزه‌های آبخیز کوچک ایران فاقد آمار بوده و از طرفی دیگر تعداد پل‌هایی که روی رودخانه‌ها و مسیل‌های این حوضه‌ها زده می‌شود، در مقایسه با پل‌های چند صد متری که روی رودخانه‌های بزرگ احداث می‌شوند، بیشتر است، لذا اهمیت تعیین دبی سیلاب طرح از طریق فرمول‌های تجربی مشخص می‌شود. برخی از فرمول‌های تجربی تعیین سیلاب طرح، که به‌طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند، در زیر آمده است.

#### ۲-۳-۱- روش حفاظت خاک امریکا

روش SCS<sup>۱</sup> مبتنی بر استفاده از هیدروگراف واحد بی‌بعد مصنوعی است (Chow و همکاران، ۱۹۸۸)

و برای محاسبه دبی بیشینه سیل، مراحل زیر باید انجام شود.

مرحله نخست: تعیین شماره منحنی

برای تعیین شماره منحنی CN<sup>۲</sup> باید مراحل زیر انجام شود:

الف) از جدول ۱-۲ نوع خاک مشخص می‌شود.

ب) از جدول ۲-۲ با توجه به نوع خاک و پوشش سطح حوضه و یا نوع کاربری آن، مقدار متوسط CN بدست

می‌آید.

مرحله دوم: تعیین ضریب نگهداشت حوضه

با استفاده از رابطه (۲-۵) ضریب نگهداشت حوضه (S) محاسبه می‌شود.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (۲-۵)$$

در رابطه بالا: S: ضریب نگهداشت حوضه (برحسب اینچ)

<sup>۱</sup>SOIL CONSERVATION SERVICE

<sup>۲</sup>CURVE NUMBER

CN: شماره منحنی حوضه

مرحله سوم: محاسبه زمان تأخیر حوضه

رابطه (۶-۲) برای تعیین زمان تأخیر حوضه ارائه شده است.

$$T_L = \frac{l^{0.8}(s+1)^{0.7}}{4915 Y^s} \quad (6-2)$$

TL: زمان تأخیر حوزه آبخیز بر حسب ساعت

L: طول آبراهه اصلی رودخانه بر حسب (متر)

Y: شیب حوضه بر حسب درصد

\* توضیح این که کاربرد هیدروگراف‌های مصنوعی در حوضه‌هایی که آمار و اطلاعات بارندگی و دبی به حد

کافی موجود نباشد توصیه شده است.

جدول (۱-۲): طبقه‌بندی خاک‌های حوضه بر حسب نفوذپذیری

گروه	حدافل نفوذپذیری (میلی‌متر در ساعت)
A	۷/۱۱-۵/۵
B	۳/۷-۸/۵
C	۱/۳-۳/۸
D	۱-۰/۳

جدول (۲-۲): مقدار CN برای حوضه‌های مختلف با توجه به نفوذپذیری خاک (گروه‌های A, B, C, D) پوشش سطح

حوضه

D	C	B	A	خصوصیات پوشش سطح حوضه
۷۹	۷۳	۶۰	۳۶	پوشش جنگلی متوسط
۷۷	۷۰	۵۵	۲۵	پوشش جنگلی خوب
۸۴	۷۹	۶۹	۴۹	مراعات طبیعی با پوشش متوسط
۸۰	۷۴	۶۱	۴۹	مراعات طبیعی با پوشش خوب
				اراضی کشاورزی
۸۳	۷۸	۶۹	۵۵	زیرکشت حبوبات
۸۸	۸۴	۷۶	۶۵	زیر کشت غلات (ردیف‌های مستقیم)
۸۴	۸۱	۷۳	۶۱	زیر کشت غلات (ردیف‌ها به موازات خطوط تراز)

D	C	B	A	خصوصیات پوشش سطح حوضه
				زیر کشت گیاهان ردیفی
۹۱	۸۸	۸۱	۷۲	ردیف‌های مستقیم با پوشش متوسط
۸۹	۸۵	۷۸	۶۷	ردیف‌های مستقیم با پوشش خوب
				ردیف‌ها به موازات خطوط تراز
۸۸	۸۴	۷۹	۷۰	با پوشش متوسط
۸۶	۸۲	۷۵	۶۵	با پوشش خوب
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	پشت بام‌ها، پارکینگ‌ها و دیگر جاهای آسفالتی
۹۲	۹۰	۸۵	۷۷	مناطق مسکونی با ۱۶۵٪ آسفالت
۸۴	۷۹	۶۸	۵۱	مناطق مسکونی با ۲۰٪ آسفالت
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	خیان‌ها و جاده‌های آسفالتی
۸۹	۸۷	۸۲	۷۲	جاده‌های خاکی
۹۱	۸۹	۸۵	۷۶	جاده‌های شوسه

مرحله چهارم: محاسبه زمان تمرکز حوضه (tc)

رابطه تجربی دیگری (رابطه ۷-۲ الف) برای محاسبه زمان تأخیر حوضه پیشنهاد شده است که زمان تمرکز

به صورت ضریبی از زمان تأخیر است و از رابطه (۷-۲ ب) بدست می‌آید.

$$T_C = 1.67T_L \quad (\text{ب}) \quad \text{و} \quad T_L = 0.683 \frac{L}{D} \left(\frac{A^2}{S_B}\right)^{0.2} \quad (\text{الف}) \quad (7-2)$$

که در آن:

$T_L$ : زمان تأخیر (ساعت)

$T_c$ : زمان تمرکز حوضه (ساعت)

$L$ : طول رودخانه (کیلومتر)

$D$ : قطر دایره هم سطح حوضه آبخیز (کیلومتر)

$A$ : مساحت حوضه آبخیز (کیلومترمربع)

$S_B$ : شیب حوضه آبخیز (درصد)

با محاسبه  $T_c$  از رابطه فوق  $T_L$  را می‌توان از رابطه  $T_L = 6.0$  محاسبه کرد.

مرحله پنجم: محاسبه مدت بارندگی (D)

مدت بارندگی در نظر گرفته شده برای محاسبه دبی ماکزیمم طرح باید با توجه به آمار بارندگی سیلاب‌های رودخانه برای دوره بازگشت موردنظر انتخاب شود. در صورتی که آمار و اطلاعات کافی برای تعیین مدت بارندگی در دسترس نباشد اداره SCS پیشنهاد می‌کند مدت بارندگی عدد صحیحی (بدون اعشار)، که در رابطه ۸-۲ صدق می‌کند، انتخاب شود.

$$D \leq 0.2t_c \quad \text{و} \quad D = 0.133t_c \quad (۸-۲)$$

D: مدت بارندگی بر حسب ساعت (عدد صحیح) و  $t_c$  زمان تمرکز حوضه است.

زمان رسیدن به دبی اوج نیز از رابطه (۹-۲) محاسبه می‌شود.

$$T_p = \frac{D}{2} + t_L \quad (۹-۲)$$

$T_p$ : زمان رسیدن به دبی اوج بر حسب ساعت

$T_L$ : زمان تأخیر حوضه بر حسب ساعت

مرحله ششم: محاسبه ارتفاع رواناب

رواناب مستقیم عبارت است از مقدار ارتفاع خالص بارانی که در حوضه جریان می‌یابد و مقدار آن از ارتفاع بارندگی ناخالص (ذکر شده در آمار ایستگاه‌های باران سنجی) کمتر است، چرا که مقداری از باران جذب شده توسط خاک به مصرف جذب ریشه گیاهان اعم از درختان، درختچه‌ها، مراتع و مزارع دیم می‌شود. طریقه تبدیل ارتفاع بارندگی ناخالص به بارندگی خالص به صورت زیر است. با معین‌بودن مقدار بارش ناخالص (p) و محاسبه ضریب نگهداشت حوزه (S) مقدار ارتفاع بارندگی خالص (تبدیل رواناب مستقیم) از فرمول ۱۰-۲ محاسبه می‌شود.

$$h_{net} = \frac{(P+0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (۱۰-۲)$$

$h_{net}$ : ارتفاع بارندگی خالص (رواناب مستقیم) بر حسب اینچ

P: ارتفاع بارندگی ناخالص بر حسب اینچ

مرحله هفتم: محاسبه دبی اوج سیل

پس از محاسبه ارتفاع بارندگی خالص، دبی بیشینه برای مدت بارندگی D ساخته از رابطه (۲-۱۱)

$$Q_{\max} = h_n \times Q_p$$

محاسبه می‌شود.

(۲-۱۱)

$Q_{\max}$ : دبی بیشینه کل بر حسب مترمکعب بر ثانیه برای مدت بارندگی D ساخته

$h_n$ : بارندگی خالص بر حسب میلی‌متر

$Q_p$ : دبی ماکزیمم برای یک میلی‌متر بارندگی خالص

ارتفاع رواناب و دبی اوج سیلاب بدست آمده از روابط بالا مربوط به یک رویداد معین بارش است، در صورتی که هدف دبی با دوره بازگشت مشخصی موردنظر باشد، بایستی ابتدا باران با دوره بازگشت موردنظر برآورد شود و سپس مراحل انجام کار مطابق آنچه در بالا اشاره شد برای آن مقدار باران صورت گیرد.

#### ۲-۲-۳-۲- روش فرمول کریگر

یکی از فرمول‌هائی که به‌طور گسترده برای تعیین دبی بیشینه سیل در سطوح حوزه‌های آبخیز کوچک و بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است، فرمول کریگر است به‌علت بهره‌گیری از مجموعه اطلاعات جهانی برای ارائه این فرمول، جنبه عمومی استفاده از این رابطه افزایش یافته است، برای نمونه سیلاب‌هایی از حوزه‌های ایران، عراق، هند، پاکستان، و بسیاری از کشورهای دیگر برای درستی این فرمول امتحان شده است. فرمول کریگر به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Q = 46.C.A^{(0.894A^{-0.048})} \quad (۲-۱۲)$$

که در آن :

Q: دبی بیشینه سیلاب ( $ft^3/s$ )، C: ضریب حوضه و A: مساحت حوضه ( $mil^2$ ) است.

در رابطه کریگر بیشینه مقدار ضریب منطقه ای  $C=200$  است که کلیه سیلاب‌های بزرگ را زیر پوشش قرار می‌دهد. مقدار  $C=100$  برای کلیه نقاط پرباران و برای کلیه سیلاب‌های بزرگ حوزه‌های مختلف کشور حد بالایی را نشان می‌دهد.

تعیین مقدار C در نقاطی که مجهول است با استفاده از حوضه‌های مشابه و با استفاده از اطلاعات هیدرومتری امکان‌پذیر است. مقادیر تقریبی ضریب حوزه یا C برای نواحی مختلف کشور توسط خلیقی سیگارودی (۱۹۸۸) به شرح زیر برآورد شده است.

۵۰C = -۶۰ - دامنه‌های شمالی البرز و نواحی پر باران غرب زاگرس

۳۰-۲۵C = - دامنه‌های جنوبی البرز نواحی شرق زاگرس

۲۵-۲۰ = C - نواحی مرکزی کشور، مناطق کوهستانی

۱۰- ۵ = C - نواحی کویری یا مجاور کویر

قابل ذکر است که در بعضی از طرح‌های کشور برای تعیین دبی بیشینه از این فرمول بهره گرفته شده است، به‌علاوه مقادیر ضریب حوزه C در بعضی پروژه‌های آبی کشور به شرح جدول ۲-۴ است.

جدول (۲-۳): مقدار ضریب حوزه C در فرمول کریگر در بعضی از پروژه‌های آبی کشور

مقدار C در فرمول کریگر	ناحیه طرح
در حدود -/۳۲	سد منجیل
در حدود -/۴۵	سد دز
در حدود ۳۵	سد زاینده‌رود
در حدود ۳۲	سد داریوش - درودزن فارس
در حدود ۳۲	سد گلستان
در حدود ۳۰	سد لیتان
در حدود ۳۷/۵	سد کرج
در حدود ۱۹	سد مهاباد
در حدود ۲۸/۶	سد سرچشمه کرمان
در حدود ۱۰/۰	سد مارون

۲-۳-۲-۳-۲-۳-۲ روش فولر

روش فولر<sup>۱</sup> از جمله روش‌هایی است که دوره بازگشت نیز در آن دخالت داده شده است. فرمول‌های

این روش عبارتند از:

$$Q_{ave} = CA^{0.8} \quad (۲-۱۳)$$

<sup>۱</sup>Fuller

$$Q_{\max} = Q_{ave} (1 + 0.8 \log t) \quad (2-14)$$

$$Q_p = Q_{\max} (1 + 2.66 A^{-3}) \quad (2-15)$$

در روابط بالا:

$Q_{ave}$ : بیشینه متوسط سیل ۲۴ ساعته حوضه ( $m^3/s$ )

$C$ : ضریب حوضه آبریز (بین ۰/۲۵-۳)

$A$ : مساحت حوضه آبریز بر حسب هکتار

$Q_{\max}$ : بیشینه سیل ۲۴ ساعته در دوره بازگشت  $T$  ساله که از رابطه ۲-۱۵ بدست می‌آید.

$$Q_{\max} \times (m^3 / s) \quad (15-2)$$

$Q_p$ : بیشینه سیل احتمالی در دوره بازگشت  $T$  ساله که از رابطه ۲-۱۶ بدست می‌آید.

$$Q_p = (m^3 / s) \quad (16-2)$$

برای تعیین ضریب  $(1 + 0.8 \log T)$  در فرمول (۲-۱۳)، جدول ۲-۵ با توجه به نوع سازه آبی، توسط فولر

پیشنهاد شده است.

جدول (۲-۴): تعیین مقدار  $(1 + 0.8 \log T)$  در روش فولر

$(1 + 0.8 \log T)$	نحوه و مقدار خسارت مورد انتظار در نتیجه خرابی سازه	نوع سازه آبی
۱/۲-۵	ناچیز	سازه های موقتی برای ایجاد ساختمان
۳-۲	قابل ملاحظه	اصلی سازه آب
۳-۲	خسارت مادی و قابل ملاحظه	سازه آبی دائمی کم اهمیت
۵-۳	خسارت مادی و جانی	سازه آبی موقتی
۶-۵		سازه آبی دائمی و اصلی

بررسی کارایی روش فولر در مورد حوضه‌هائی از ایران، که دارای آمار و اطلاعات دبی هستند، نشان دهنده

این مطلب است که دبی بیشینه بدست آمده از این روش تا حدی بیشینه است. مهم‌ترین مسأله در این روش

تعیین ضریب  $C$  است، که نقش تعیین کننده‌ای در مقدار دبی بیشینه دارد. لذا پیشنهاد می‌شود برای تعیین

این ضریب در هر منطقه، ابتدا روی حوضه‌هایی که آمار و اطلاعات کافی دارند، از طریق روش‌های آنالیز فرکانس سیل و برازش داده‌ها روی توزیع‌های آماری (گامبل، پیرسون و لگاریتم پیرسون و ...) دبی‌های بیشینه محاسبه شده و با استفاده از آن‌ها تغییرات ضریب C، برای آن منطقه تعمیم داده شود.

#### ۲-۳-۲-۴- روش برآورد دبی سیلاب با استفاده از سطح حوضه

یکی از ساده‌ترین روش‌های برآورد بیشینه دبی سیلاب استفاده از فرمول‌هایی است که فقط به پارامتر سطح حوزه آبخیز بستگی دارند. شکل کلی برخی از این روابط به صورت زیر هستند.

$$Q_m = CA^n \quad (17-2)$$

$$Q_m = CA^{mA^{-n}} \quad (18-2)$$

$$Q_m = \frac{CA}{(a+bA)^m} + dA \quad (19-2)$$

در روابط فوق:

Qm: دبی مسیل بیشینه

A: مساحت حوزه آبریز

C, a, b, m, n ضرایبی هستند که به‌طور نسبی برای منطقه موردنظر تعیین می‌شوند.

#### ۲-۳-۳- روش‌های بارش- رواناب

روش‌های بارش- رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی سطحی و ارزیابی آبی حوزه‌های آبخیز است (Lang و همکاران، ۱۹۹۹). این روش‌ها طیف وسیعی را از هیدروگراف‌های واحد تا مدل‌های هیدرولوژیکی را در برمی‌گیرد که در این مجموعه تنها به روش هیدروگراف واحد و مدل هیدرولوژیکی AWBM اشاره شده است.

#### ۲-۳-۳-۱- استفاده از هیدروگراف واحد

با استفاده از هیدروگراف واحد طبیعی (حوضه‌های دارای آمار) و یا مصنوعی (حوضه‌های فاقد آمار) نیز می‌توان پس از برآورد بارش طراحی برای دوره بازگشت موردنظر با استفاده از هیدروگراف واحد، دبی بیشینه سیلاب ناشی از آن بارش را برآورد کرد. با توجه به اینکه حوزه‌های کوچک و حتی متوسط در سطح کشور معمولاً فاقد ایستگاه‌های هیدرومتری هستند لذا فاقد هیدروگراف واحد طبیعی بوده و به همین منظور یکی از روش‌های ساده تهیه هیدروگراف مصنوعی، که هیدروگراف واحد اشنایدر است و در حوضه‌های فاقد آمار کاربرد دارد، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این روش در حوضه‌هایی که مساحت آن‌ها از  $350 \text{ Km}^2$  تا  $20000 \text{ Km}^2$  باشند قابل استفاده است. مراحل کار به شرح زیر است.

الف- زمان بارندگی رسیدن به نقطه اوج (tp)

ب - مدت بارندگی که هیدروگراف واحد برای آن محاسبه می‌شود (tr)

ج- دبی اوج هیدروگراف (Qp)

د- زمان تأخیر حوضه آبریز  $t$  (منظور از زمان تأخیر فاصله زمانی بین مرکز بارندگی مؤثر تا نقطه اوج دبی است و فرض بر این است که زمان تأخیر فقط بستگی به مشخصات حوضه داشته و تابع بارندگی نیست.

ه - پهنای هیدروگراف در نقطه‌ای که دبی هفتاد و پنج درصد دبی اوج است (w75).

و- پهنای هیدروگراف در نقطه‌ای که دبی پنجاه درصد دبی اوج است (WSO).

ز- پهنای هیدروگراف در نقطه‌ای که دبی سیل صفر است (یعنی زمان پایه هیدروگراف) (Tb).

با توجه به این که هدف اصلی، تعیین دبی بیشینه سیل است لذا روش اشنایدر به صورت گام به گام تا برآورد دبی بیشینه به شرح مختصر زیر تشریح می‌شود.

الف: محاسبه مدت بارندگی

تداوم زمانی بارندگی که هیدروگراف واحد برای آن ساخته می‌شود از فرمول ۲-۲۰ محاسبه می‌شود.

$$Tr = \frac{T_L}{5.5} \quad (20-2)$$

که در آن:

Tr: مدت بارندگی (تداوم بارش) بر حسب ساعت

TL: زمان تأخیر حوضه بر حسب ساعت که از روابط زیر بدست می‌آید.

ب: محاسبه زمان تأخیر حوضه

زمان تأخیر حوضه از رابطه ۲-۲۱ بدست می‌آید.

$$t_1 = 0.80C_t(L.Lca)^{0.3} \quad (21-2)$$

پارامترهای فرمول عبارتند از:

۱t: زمان تأخیر بر حسب ساعت

ct: ضریب مربوط به شیب حوضه

$$(1.8 \leq c_t \leq 2.2) \quad (22-2)$$

توضیح این که مقدار ct برای منطقه دشت ۱/۸ و برای منطقه کوهستانی ۲/۲ پیشنهاد شده است.

L: طول آبراهه یا رودخانه اصلی حوضه از نقطه خروجی تا انتهای حوضه بر حسب کیلومتر

Lca: فاصله بین نقطه خروجی تا نقطه‌ای در روی رودخانه، که کمترین فاصله را با مرکز ثقل حوضه دارد

(Km).

ج: اصلاح زمان تأخیر

با توجه به این که زمان تأخیر حوضه با تغییر زمان تداوم آب کرد واحد تغییر می‌کند و از طرفی چون

معمولاً tr عدد غیر صحیحی بدست می‌آید لذا برای تسهیل کار، زمان بارندگی را عدد صحیحی انتخاب و

سپس زمان تأخیر محاسبه‌شده در گام "ب" با استفاده از رابطه زیر اصلاح می‌شود.

$$T_{1R} = t_1 + 0.25(t_R - t_r) \quad (23-2)$$

که در آن:

TIR: زمان تأخیر اصلاح‌شده بر حسب ساعت

TI: زمان تأخیر محاسبه‌شده در گام (ب) بر حسب ساعت

TR: مدت زمان بارندگی موردنظر برای ساختن هیدروگراف بر حسب ساعت

Tr: مدت بارندگی محاسبه شده بر حسب ساعت در گام (الف)

د: محاسبه دبی اوج

دبی اوج هیدروگراف واحد اشنايدر از فرمول ۲-۲۴ محاسبه می شود.

$$Q_P = \frac{7 \cdot C_p \cdot A}{t_l} \quad (24-2)$$

که در آن:

Qp: دبی اوج مسیل بر حسب  $m^3/s$

Cp: ضریبی است که تابع زمان تأخیر، تداوم بارش مؤثر و سطح مؤثر حوضه بوده و بین ۰/۵۶ تا ۰/۶۹

متغیر است و معمولاً مقادیر بزرگتر Cp با مقادیر کوچکتر Ct همراه هستند.

A: مساحت حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع

Tl: زمان تأخیر حوضه بر حسب ساعت

علاوه بر روش های ذکر شده در تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی روش های دیگر نیز وجود دارد که به دلیل

این که کاربرد کمتری دارند در این گزارش ذکر نشده است برای اطلاعات بیشتر به مراجع گزارش مراجعه شود.

## ۲-۳-۳-۲- استفاده از مدل های شبیه سازی هیدرولوژیکی

مدل های شبیه سازی بارش-رواناب یکی از روش های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه

فرآیندهای هیدرولوژیکی سطحی و ارزیابی آبی است (Lang و همکاران، ۱۹۹۹). دو کاربرد مهم مدل های

بارش و رواناب، پیش بینی سیلاب و شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیکی است (Sharifi، ۱۹۷۷). تعداد

مدل های ارائه شده در مناطق مرطوب بیش از مناطق خشک و نیمه خشک است، چون در مناطق خشک فقط

داده های ثبت شده سیلاب های فصلی و ناگهانی موجود است (Lang و همکاران، ۱۹۹۹). مدل های شبیه سازی

دارای طبقه بندی زیادی هستند که یکی از آن ها مدل ها را به سه دسته ذیل تقسیم می کند:

۱. مدل های فیزیکی: مقیاس کوچکتر از سیستم اصلی را شبیه سازی می کند.

۲. مدل‌های آنالوگ: مدل قیاسی به معنای فرض کردن شباهت یک نمونه کوچک با یک سیستم کامل است.

۳. مدل‌های ریاضی: در این مدل‌ها خصوصیات سیستم به‌وسیله یک سری معادلات ریاضی نشان داده شده و با در نظر گرفتن یک اصل منطقی روابط بین متغیرها و پارامترها به‌صورت توابع همبستگی و به شکل روابط ریاضی نشان داده می‌شود (تلوری، ۱۳۷۵). مدل‌های ریاضی در هیدرولوژی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف) مدل‌های قطعی<sup>۱</sup>: در این مدل‌ها روابط بین پارامترهای فیزیکی مؤثر در وقایع هیدرولوژیکی به‌وسیله یکسری روابط تجربی یا نظری بیان می‌شود.

ب) مدل‌های تصادفی<sup>۲</sup>: در این مدل‌ها از خصوصیات آماری متغیرهای هیدرولوژیکی در حل مسائل هیدرولوژی استفاده شده و براساس تئوری‌های علم آمار روابط بین پدیده‌های مختلف هیدرولوژیکی بیان می‌شود (تلوری، ۱۳۷۵). براساس بازه زمانی برای آنالیز مؤلفه هیدرولوژیکی درحوضه، طبقه‌بندی مدل‌ها به‌صورت زیر است:

۱- مدل‌های واقعه‌ای یا رویدادی<sup>۳</sup> مثل HEC-HMS با SCS TR<sup>۵۵</sup> که واکنش یک رگبار با محاسبه طغیان‌ها به‌خصوص در مواردی که رواناب مستقیم بخش بزرگی از کل رواناب را شامل می‌شود، شبیه‌سازی می‌کند.

مدل‌های پیوسته<sup>۴</sup> مثل SFB, AWBM, SWAT, Standford، این مدل‌ها رواناب مستقیم و غیرمستقیم را شامل می‌شود و برای شبیه‌سازی جریان‌های روزانه، ماهانه و فصلی مناسب هستند (Shenzhen, ۲۰۰۲).

## ۲-۴- نتیجه‌گیری از سابقه تحقیق

Horton (۱۹۳۳) مفهومی را ارائه کرد مبنی براین که رواناب سطحی هنگامی ایجاد می‌شود که شدت بارش از ظرفیت نفوذ زمین بیشتر شود. محققین دریافتند که عوامل مهمی چون شرایط اقلیم هر منطقه، نفوذپذیری

<sup>1</sup> Deterministics model

<sup>2</sup> Stochastics model

<sup>3</sup> Event or discrete models

<sup>4</sup> Continuous models

خاک، مواد آلی، بافت خاک (ریز - درشت)، توپوگرافی پستی و بلندی‌های خاک، پوشش گیاهی، رطوبت قبلی خاک، آب پایه، میزان آب اولیه خاک، عمق بارش شیب نوع زمین‌های کشاورزی، درجه حرارت محیط و تبخیر و تعرق در تولید رواناب نقش اساسی دارند. در ادامه برای برآورد سیل و بهتر مدل‌های بارش - رواناب زیادی چون مدل‌های SDI، AWBM و SFB توسعه یافت. همچنین پژوهشگران مختلف تحقیقات خود را بر روی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی حوضه‌ها بررسی کرده و مهم‌ترین عوامل و پارامترهایی مانند سطح حوضه، شکل، شیب، ضریب زبری و شبکه زهکشی، ضریب ذخیره، زمان تمرکز و ضرایب روندیابی، شدت بارش و مدت بارش، توپوگرافی، خاک‌شناسی، پوشش سطح زمین، زمین‌شناسی، شکل حوضه (یکنواخت - کشیده - گرد)، طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط، زمان تأخیر حوضه را در مقدار دبی جریان سیلابی مؤثر دانستند.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که، عوامل مؤثر در سیل‌خیزی در مناطق مختلف می‌توانند متفاوت باشند و لذا ضروری است که در هر حوضه و منطقه این بررسی‌ها صورت گیرد تا عوامل تأثیرگذار شناسایی شده و در عملیات کنترل سیلاب، آبخیزداری، حفاظت خاک، کنترل رسوب و نهایتاً مدیریت منابع آب نقش بازدارندگی و یا کاهش آن‌ها تقویت شود.

### ۳- مواد و روش‌ها

#### ۳-۱- کلیات

سیل از فرآیندهای هیدرولوژیکی است که ابعاد آن تحت‌تأثیر شرایط مختلف طبیعی و مصنوعی سطحی زمین و نیز شرایط مختلف اقلیمی تغییر می‌کند. این پدیده طبیعی در صورت مهار و کنترل از منابع آب مورد استفاده در توسعه اقتصادی بوده و منافع زیادی را در بخش کشاورزی و منابع طبیعی سبب می‌شود. در صورت عدم شناخت و عدم کنترل و مهار آن، از بلایای طبیعی به‌شمار آمده و خسارات و تلفات جانی همواره در پی خواهد داشت. یکی از ویژگی‌های بسیار مهم حوزه آبخیز، شدت سیل‌خیزی آن است. شدت سیل‌خیزی توأم با ویژگی‌هایی، نظیر مقادیر سیلاب‌های با تواتر مختلف، میزان فراوانی وقوع سیلاب‌ها و تاریخچه اتفاقاتی که رویدادهای گذشته در آن حوضه رخ داده است، از بارزترین ویژگی حوضه است. به‌طور کلی، شدت سیل‌خیزی، وضعیت سیلاب در آن حوضه را مشخص می‌کند. علاوه‌براین، خسارات و خطرات سیل براساس آمار و اطلاعات خسارات ثبت شده در گذشته تحلیل شده است.

افزون بر موارد فوق، تهیه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰ با مجموعه اطلاعات سیل شامل شدت سیل‌خیزی، خطر و خسارات سیل و نیز اطلاعاتی از ویژگی‌های عمومی رگبارها و مؤلفه‌های آبدهی سالانه را در بر داشته باشد، نیز از اهداف این پژوهش است.

به‌منظور دستیابی به اهداف فوق اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و بارندگی مورد تجزیه و تحلیل و شدت سیل‌خیزی حوضه‌ها مشخص شده است. همچنین با تحلیل اطلاعات خسارات سیل، آن دسته از حوضه‌هایی که سیل، خساراتی زیادی را در محدوده آن‌ها وارد کرده، شناسایی شدند. در این اطلس، سیل‌خیزی در حوضه‌های رتبه هفت، حجم رواناب و حجم جریان کل به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی جریان سالانه در محل ایستگاه‌های هیدرومتری ارائه شده‌اند. همچنین در نقشه اطلس سیل پارامترهای دیگری از جمله خسارات سیل، تلفات سیل، جمعیت در معرض سیل، محدوده‌های سیل‌گیر و خطرات سیل در قالب زیرحوضه‌های رتبه هفت تعیین و درج شده‌اند. با توجه به این‌که مطالعه در سطح حوضه‌های آبخیز رده هفت کل کشور انجام شد.

## ۲-۳- خصوصیات عمومی استان چهارمحال و بختیاری

استان چهارمحال و بختیاری در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس بین پیش کوه‌های داخل و استان اصفهان واقع شده است. از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهکیلویه و بویراحمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود است.

این استان دارای یک درصد از کل وسعت ایران است که در بستر سلسله جبال زاگرس واقع شده است که با وجود مساحت کم ۱۰ درصد از منابع آب کشور را در اختیار دارد. به علت ماهیت کوهستانی مرتفع که در مسیر بادهای مرطوب سیستم‌های مدیترانه‌ای قرار داشته و موجب صعود و تخلیه بار این سامانه‌ها می‌شود، این استان دارای بارش نسبتاً مناسب است. غالباً در مناطق مرتفع نوع بارش به صورت برف است و وجود ارتفاعات پوشیده از برف یکی از ویژگی‌های اقلیمی این استان است. به علت جوان بودن دوره کوه‌زایی، در این منطقه وجود بلایا و مخاطرات طبیعی بسیاری چون سیل و زلزله، رانش زمین در بیشتر نقاط آن مشاهده می‌شود. همچنین سرمازدگی، خشکسالی و رعدوبرق از دیگر بلایای طبیعی آن است. ریزش‌های جوی و برف و باران منشأ سرشاخه‌های رودخانه کارون و زاینده‌رود هستند و آبخیزهای این دو رودخانه را به ترتیب ۱۳۸۰۰ و ۲۷۲۰ کیلومتر مربع شامل می‌شود. ارتفاعات زاگرس حوزه آبخیز رودخانه‌های زاینده‌رود، کارون و کرخه و دز را تشکیل می‌دهد و با توجه به حجم نزولات جوی و پایین بودن سطح تبخیر و موقعیت نسبتاً مناسب تشکیلات زمین شناختی قسمت اعظم آبهای سطح الارضی و تحت الارضی کشور به میزان ۴۵ تا ۵۰ درصد را تأمین می‌کند.

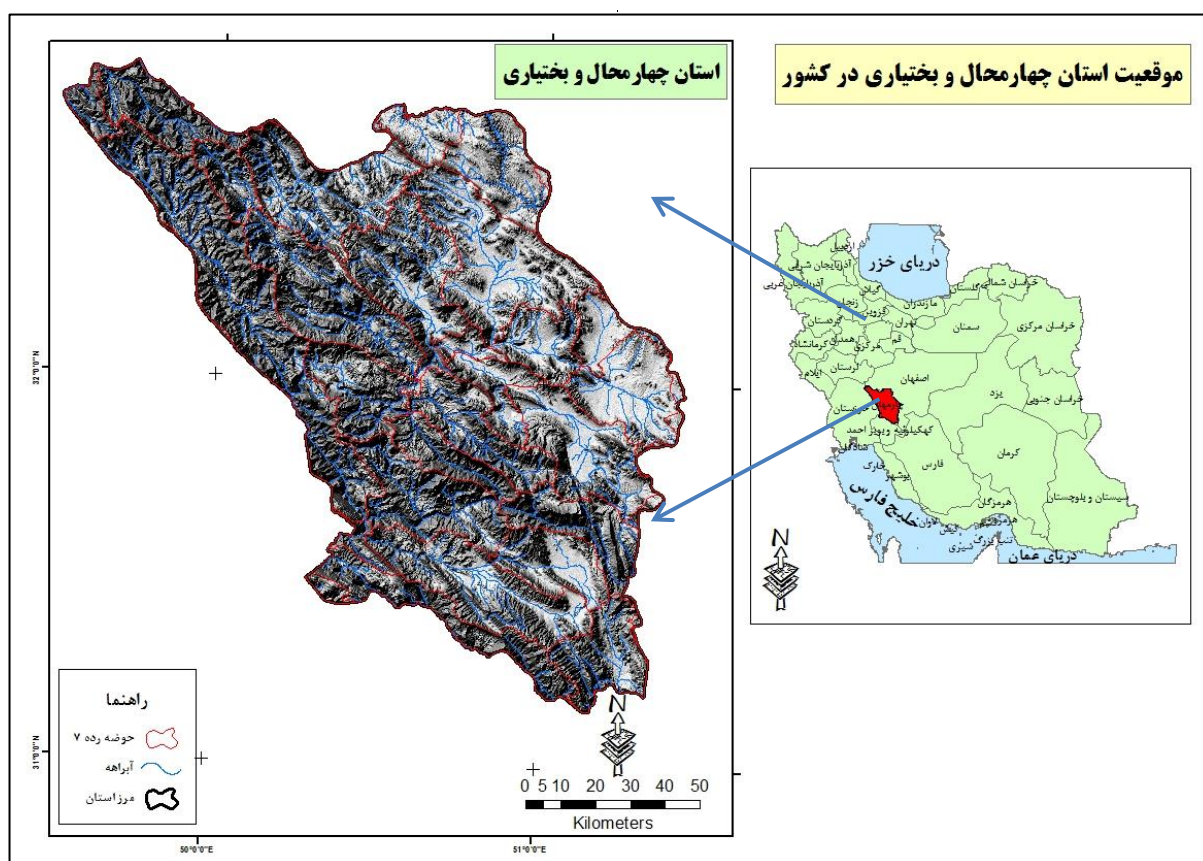
استان چهارمحال و بختیاری به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب‌وهوایی متنوع بوده و اقلیم‌های متفاوتی در آن وجود دارد. بارش‌های منطقه غالباً تحت تأثیر جریان‌های جوی مدیترانه و عمدتاً کم‌فشار سودان قرار دارد که از غرب و جنوب غرب وارد منطقه شده و به مدت هشت ماه (مهر تا اردیبهشت) منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وجود رشته کوه زاگرس که عمود بر مسیر حرکت این جریان‌ها است، باعث تشدید خاصیت سیکلونی آن‌ها شده و باران‌های شدید و سنگین را در منطقه باعث می‌شود.

استان چهارمحال و بختیاری با وسعت ۴۷۸۳۰ کیلومتر مربع در گوشه شمال غربی فلات ایران قرار دارد (شکل ۲-۳). مدارهای ۴۵ درجه و ۵ دقیقه و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه و ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ۳۹ درجه مختصات جغرافیایی این استان را مشخص می‌کنند. رود ارس حدود شمالی آن را با جمهوری‌های آذربایجان، ارمنستان و ایالت خودمختار نخجوان مشخص می‌کند. رود قطور و آب‌های دریاچه ارومیه حدود غربی با استان چهارمحال و بختیاری است. در جنوب کشیدگی رشته کوه‌ها، دره‌ها، جلگه‌ها و دشت‌ها موجب پیوستگی توپوگرافیک استان با چهارمحال و بختیاری شده است.

منطقه چهارمحال و بختیاری به علت موقعیت خاص جغرافیایی، یکی از مناطق حساس و مهم کشور است. همین اهمیت، حساسیت و گستردگی باعث شده است تا این منطقه با وجود خصوصیات مشترک جغرافیایی، فرهنگی و تاریخی به سه استان چهارمحال و بختیاری تقسیم شود. در حال حاضر استان چهارمحال و بختیاری دارای ۱۲ شهرستان، ۳۱ شهر، ۳۰ بخش، ۱۳۳ دهستان و ۳۱۴۹ آبادی است.

تنوع آب‌وهوایی امروزه این استان را به یکی از جاذبه‌های گردشگری تبدیل کرده است. در استان چهارمحال و بختیاری وضعیت آب‌وهوا بسیار متغیر است. به طوری که درجه حرارت در برخی از ماه‌های گرم سال گاهی به ۳۸ درجه سانتیگراد یا بیشتر می‌رسد و برودت هوا در ماه‌های سرد، گاهی به بیش از ۲۰ درجه زیر صفر کاهش می‌یابد. رطوبت هوا نیز از اواخر پاییز تا اوایل بهار زیاد می‌شود که علت آن علاوه بر کاهش درجه حرارت، ورود توده‌هایی از هوای سرد و مرطوب اروپا است که با گذشتن از دریای مدیترانه وارد آسمان ایران می‌شوند. جنگل‌های موجود در چهارمحال و بختیاری حاکی از وجود آب‌وهوای گرم و مرطوب و زمین حاصلخیز در گذشته‌های دور است. امروزه آب‌وهوای استان چهارمحال و بختیاری به طور کلی سرد و خشک است، ولی به علت تغییرات ارتفاعی از اقلیم‌های متفاوتی برخوردار است. موقعیت کوهستانی و پهنای جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری از عوامل اصلی سرمای این منطقه است. کم ارتفاعی و اثرات ملایم‌کننده بخارهای دریای خزر در پاره‌ای از مناطق از عوامل اعتدال اقلیمی آن به شمار می‌آید. به علاوه آذربایجان شرقی تا حدودی تحت تأثیر جریان‌های مرطوب دریای مدیترانه از سمت باختر و جنوب باختری قرار دارد و توده‌های هوای سرد سیبری نیز از شمال بر آب‌وهوای آن اثر می‌گذارد. وجود دریاچه ارومیه آب‌وهوای قسمت محدودی از استان

را تحت تأثیر قرار داده است. استان چهارمحال و بختیاری از نظر بارندگی به دو ناحیه سردسیر و معتدل تقسیم می‌شود. ناحیه سردسیر شامل دامنه‌های کوهستان سهند، شهرهای تبریز و مرند که در مسیر بادهای مرطوب قرار دارند، می‌شود. معمولاً میزان بارندگی سالانه این ناحیه در خاور استان بیشتر از سایر نواحی است و مقدار آن به ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر می‌رسد. ناحیه معتدل نیز در دالان‌ها، کوهپایه‌ها، دامنه‌های جنوبی و مناطق آفتاب‌گیر واقع شده و از تأثیر مستقیم جریان‌های سرد شمالی محفوظ است و آب‌وهوای معتدلی دارد. با توجه به تنوع شرایط طبیعی در نواحی مختلف این استان، اختلاف دما در طول سال زیاد است.

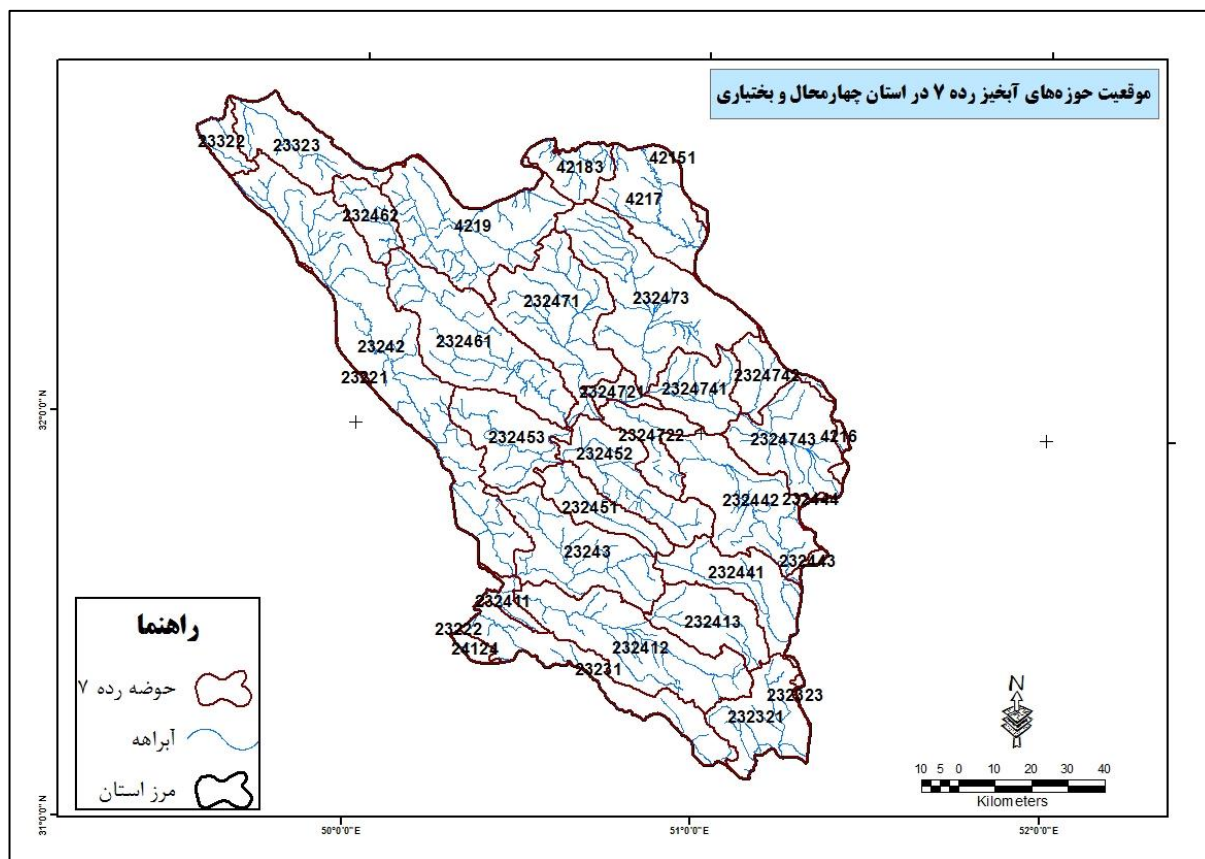


شکل (۳-۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

با توجه به این که مرز سیاسی استان از طبیعت پیروی نمی‌کند لذا در محیط نرم‌افزار Arc GIS حوضه‌های رده هفت که در درون مرز سیاسی استان واقع است استخراج و در جدول (۳-۱) و شکل (۳-۳) ارائه شده است.

جدول (۳-۱): حوضه‌های رده هفت موجود در محدوده استان چهارمحال و بختیاری

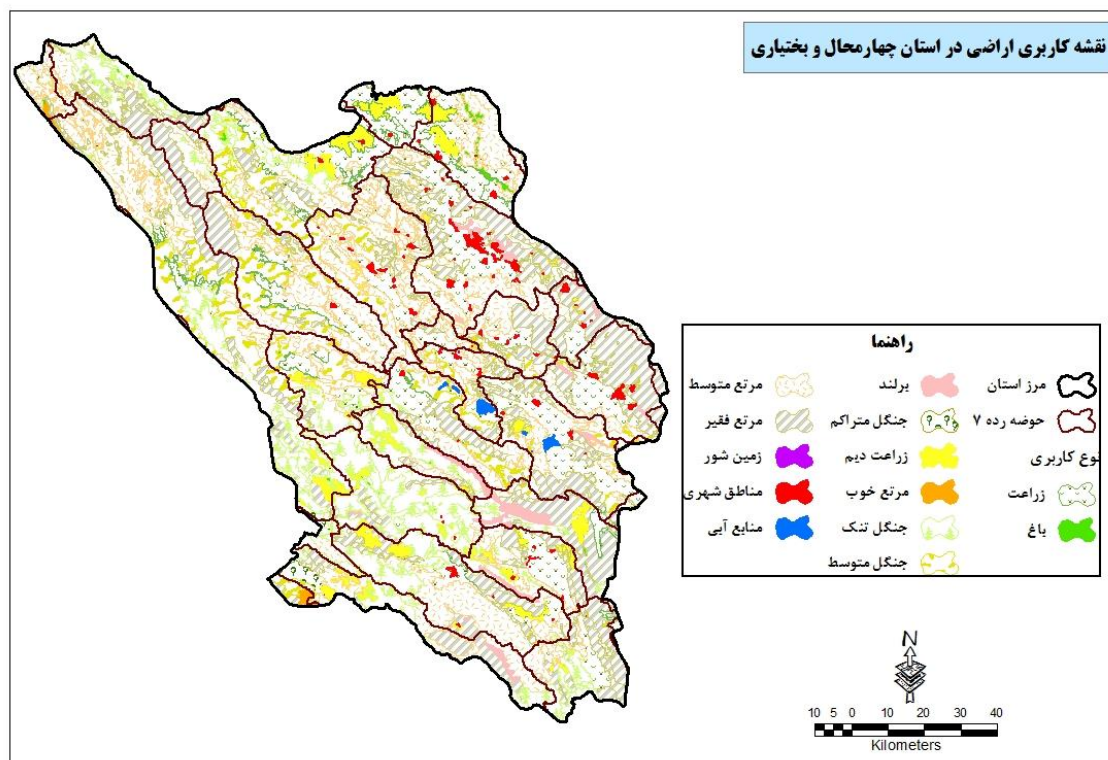
نام حوضه	کد رده ۷	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت حوضه
خان میرزا	۲۳۲۴۱۳	۱۹/۴۸۴	۱۹/۴۸۴
لردگان	۲۳۲۴۱۲	۴۷/۹۹۵	۴۷/۹۹۵
پایاب سمیرم	۲۳۲۳۲۳	۲۷/۱۱۰۴	۷۴/۳
پایاب ماربر	۲۳۲۳۲۱	۹۴/۸۴۵	۹۱/۵۳۱
پایاب خرسان	۲۳۲۳۱	۳۳/۱۶۶۲	۳۲/۶۱۷
سولکان	۲۳۲۴۴۳	۶۴/۴۹۹	۴۳/۳۲
کارون گته	۲۳۲۴۱۱	۲۵/۱۸۷	۷۹/۱۰۰
آب‌ونک اصلی	۲۳۲۴۴۱	۴۹/۹۷۵	۰۴/۵۴۸
کاسکان	۲۳۲۴۴۴	۰۰/۸۰۸	۸۸/۱۵
کارون وسط ۲	۲۳۲۲۲	۴۳/۵۸۶	۰۱/۰
کارون بالا ۲	۲۳۲۴۳	۹۰/۷۹۳	۹۰/۷۹۳
کارون سروک	۲۳۲۴۵۱	۰۷/۳۴۰	۰۷/۳۴۰
آق‌بلاق	۲۳۲۴۴۲	۷۸/۸۴۷	۷۷/۸۲۸
سبزکوه	۲۳۲۴۵۲	۹۹/۵۹۸	۹۹/۵۹۸
شلمزار	۲۳۲۴۷۲۲	۶۹/۳۱۴	۶۹/۳۱۴
کارون کری	۲۳۲۴۵۳	۱۴/۵۶۶	۱۴/۵۶۶
بروجن	۲۳۲۴۷۴۳	۷۷/۶۵۶	۸۳/۶۵۲
کیار تشنیز	۲۳۲۴۷۲۱	۳۵/۱۱۰	۳۵/۱۱۰
کیار دهرگ	۲۳۲۴۷۴۱	۹۴/۳۹۳	۹۴/۳۹۳
سفید دشت	۲۳۲۴۷۴۲	۴۷/۲۷۰	۹۰/۲۴۱
پایاب کوه‌رنگ	۲۳۲۴۶۱	۱۶/۱۰۲۳	۱۶/۱۰۲۳
جونقان	۲۳۲۴۷۱	۲۳/۹۴۹	۲۳/۹۴۹
جهان بین	۲۳۲۴۷۳	۹۴/۱۲۴۲	۹۴/۱۲۳۶
سراب کوه‌رنگ	۲۳۲۴۶۲	۰۸/۲۵۷	۰۸/۲۵۷
بازفت	۲۳۲۴۲	۹۶/۲۱۹۷	۴۸/۱۸۹۸
کارون وسط ۱	۲۳۲۲۱	۵۲/۲۶۸۲	۸۲/۸
زالکن	۲۳۳۲۲	۱۹/۱۲۵۸	۹۶/۱۴۸
الکن	۲۳۳۲۳	۵۶/۲۸۸۴	۱۲/۵۳۱
سراب اعلا	۲۴۱۲۴	۵۵/۱۴۶۰	۱۹/۵۹
یان چشمه غربی	۴۲۱۸۳	۱۴/۳۷۰	۰۶/۲۶۷
سراب زاینده‌رود	۴۲۱۹	۹۸/۱۴۸۹	۹۷/۱۰۳۸
نجف‌آباد	۴۲۱۵۱	۲۹/۱۷۰۷	۳۶/۰
زاینده‌رود میانی ۲	۴۲۱۶	۷۴/۳۳۹۷	۸۱/۹۲
زاینده‌رود میانی ۳	۴۲۱۷	۴۸/۸۱۴	۲۶/۶۱۶



شکل (۳-۲): نقشه حوزه‌های رده هفت در محدوده استان چهارمحال و بختیاری

### ۳-۳- کاربری‌های موجود در استان

شکل (۳-۴) و جدول (۳-۲) نمایش‌دهنده کاربری‌های (استخراج از طرح سیمای آبخیز اجرا شده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری) مختلف موجود در زیرحوضه‌های استان است. بیشترین کاربری در سطح استان به مراتع (حدود ۴۸ درصد مساحت) و سپس به کاربری زراعت (حدود ۲۱ درصد سطح استان) تعلق دارد.



شکل (۳-۳): نقشه کاربری اراضی استان چهارمحال و بختیاری

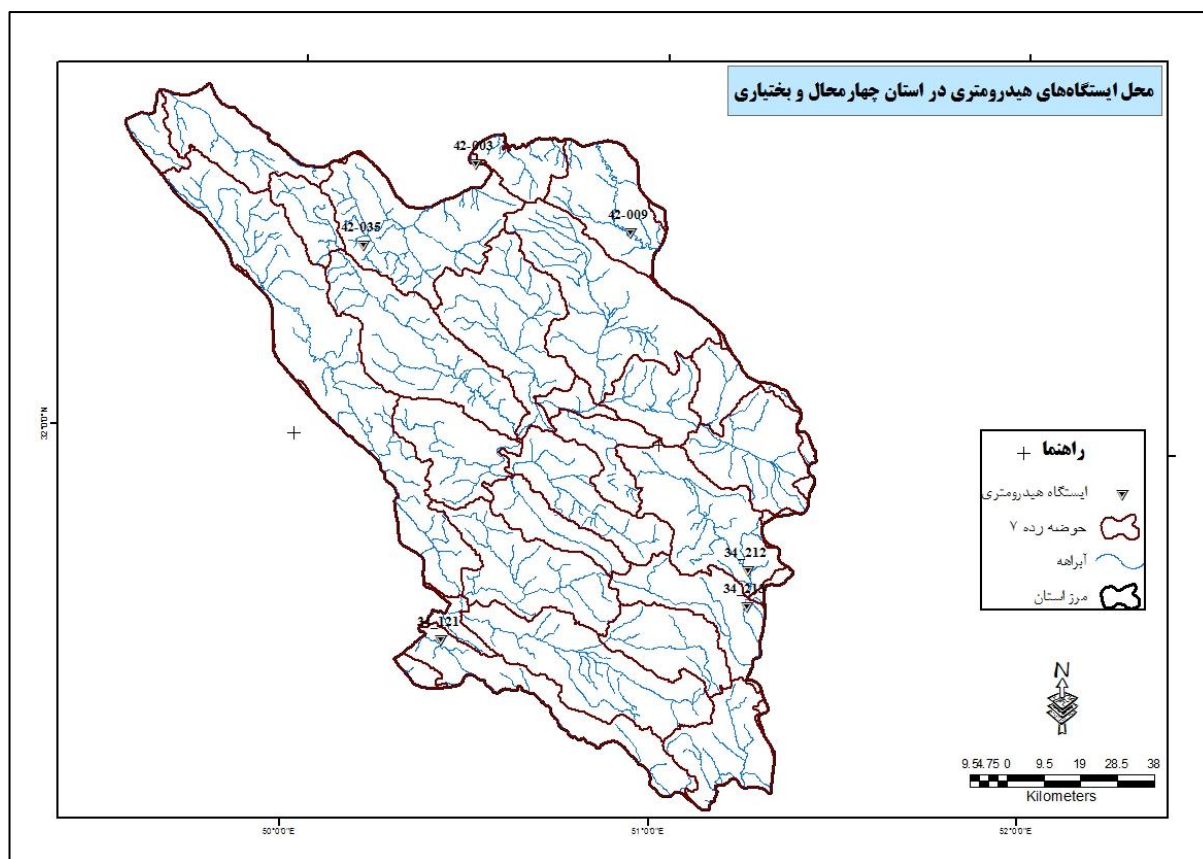
جدول (۳-۲): مساحت کاربری‌های مختلف در محدوده استان چهارمحال و بختیاری

مساحت کاربری‌های مختلف در محدوده استان		
درصد مساحت	مساحت - کیلومتر مربع	نوع کاربری
۰/۵۳	۸۷	باغ
۱۱/۰۷	۱۰۸۴/۸۵	جنگل با پوشش متوسط
۱۵/۹۳	۲۵۹۷/۱۸	جنگل تنک
۰/۵۹	۹۶/۲۲	جنگل متراکم
۱۸/۶۲	۳۰۳۵/۳	زراعت
۲/۸۴	۴۶۲/۸۸	زراعت دیم
۱/۱۴	۱۸۵/۶۲	اراضی بدون پوشش گیاهی
۰/۱۸	۲۹/۳۷	محدوده‌های آبی
۰/۱۹	۳۱/۵	مرتع خوب
۲۲/۹۱	۳۷۳۳/۵	مرتع فقیر
۲۵/۳۱	۴۱۲۶/۲۵	مرتع متوسط
۰/۶۸	۱۱۰/۱۲	مناطق شهری
۱۰۰	۱۶۲۹۹/۷۸	مساحت کل - km <sup>۲</sup>

### ۳-۴- آمار و اطلاعات مورد استفاده

روش‌های متعددی در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز با پیشرفت در علوم زمین ارائه شده است. یکی از این روش‌ها، استفاده از مدل‌های رایانه‌ای است. مدل‌های هیدرولوژیکی این امکان را می‌دهند تا با شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب، عکس‌العمل حوضه با حداقل زمان و هزینه ارزیابی شود. چون در حوزه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های موردنیاز برای بررسی عکس‌العمل حوضه میسر نیست، لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی، پیش‌بینی با دقت موردنظر را ارائه کند امری ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به این که مطالعات سیل و هیدرولوژی در سطح و مقیاس حوزه آبخیز صورت می‌گیرد و توجه به این که مطالعه فوق در سطح حوضه‌های رده هفت کشور انجام شده است لذا تمامی مراحل انجام تحقیق به صورت کلی بوده و نتایج در سطح حوزه‌های آبخیز رده ۷ استان چهارمحال و بختیاری استخراج و ارائه شده است. بنابراین، به منظور برآورد رواناب سطحی حوزه‌های آبخیز کشور، اطلاعات ۱۰۹۸ ایستگاه هیدرومتری در سطح کشور تهیه و پس از دسته‌بندی ایستگاه‌ها بر مبنای سال‌های آماری، ایستگاه‌هایی که بین ۵ تا ۱۴ سال آمار داشتند، بازسازی شده و سال‌های آماری همه آن‌ها که تعدادشان ۴۰۳ مورد بود به ۱۵ سال رسید. ارتفاع رواناب کلیه ایستگاه‌ها با دوره برگشت‌های ۲ الی ۲۰۰ ساله برآورد و سپس حجم رواناب آن‌ها با همان دوره برگشت محاسبه شد. نقشه محل ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.



شکل (۳-۴): موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری

### ۳-۴-۱- جمع‌آوری آمار پایه

در بررسی و مطالعات هیدرولوژیکی اولین و اساسی‌ترین بخش، وجود اطلاعات پایه از جمله آمار تغییرات عوامل هواشناسی و هیدرومتری و نیز نقشه‌ها و مشخصات ایستگاه‌ها است. برای این منظور آمار و اطلاعات اولیه ۱۰۹۸ ایستگاه هیدرومتری جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این راستا نقشه‌های موردنیاز حوضه‌ها و زیرحوضه‌های کشور با نرم‌افزار GIS تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

### ۳-۴-۲- کنترل آمار ایستگاه‌ها و دسته‌بندی آن‌ها براساس سال‌های آماری

ایستگاه‌های هیدرومتری تعیین‌شده دارای طول دوره آماری بین دو الی ۴۶ سال هستند. پس از بررسی اولیه آمار موجود ایستگاه‌های هیدرومتری، این ایستگاه‌ها متناسب با سال‌های آماری دسته‌بندی شدند. این دسته‌بندی مطابق سال‌های آماری بر مبنای عدد پنج صورت گرفت. سپس ایستگاه‌های دارای آمار کمتر از پنج سال آمار و بیشتر از پنج سال آمار تفکیک شدند، تعداد ایستگاه‌هایی که آمار رواناب بیشتر از پنج سال

داشتند، ۷۷۶ مورد بود و بقیه ایستگاه‌ها دارای آمار کمتر از پنج سال هستند. این تقسیم بندی عمدتاً برای آگاهی از تعداد ایستگاه‌هایی بود که آمار بیش از پنج سال دارند و می‌توان برای ادامه کار روی آن‌ها برنامه‌ریزی کرد.

### ۳-۴-۳- تطویل و تکمیل آمار رواناب ایستگاه‌ها

دسته‌بندی ایستگاه‌ها با استفاده از تعداد سال‌های آماری در دوره ۱۳۵۰-۱۳۸۶ انجام شده است. در این دسته‌بندی ایستگاه‌های کمتر از پنج سال آمار و بیشتر از آن از هم تفکیک شده و آمار آن‌ها به ۱۵ سال رسانده شده و تعداد آن‌ها ۴۰۳ مورد بود. به عبارتی ۴۰۳ مورد ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که سال‌های آماری آن‌ها از ۱۵ سال کمتر و از پنج سال بیشتر است. تکمیل و تطویل آمارها دست‌کم به ۱۵ ساله به شرح ذیل انجام گرفته است. در این مرحله تعداد ۴۰۳ ایستگاه آمار کمتر از ۱۵ سال با ۱۰۱ ایستگاه با آمارهای بیشتر از ۳۰ سال در یک ماتریس قرار گرفتند، ۱۰۱ ایستگاه از کلیه حوضه‌های اصلی کشور که بالای ۳۰ سال آمار داشتند انتخاب شدند. ایستگاه‌های فوق در یک ماتریس به‌گونه‌ای که در سال ۴۰۳ سطر، گروه ایستگاه‌های کمتر از ۱۵ سال و ۱۰۱ ستون گروه ایستگاه‌های بالای ۳۰ سال آمار قرار گرفتند و رابطه همبستگی خطی بین این ایستگاه‌ها برقرار شد. به طوری که در سطر اول بین اولین ایستگاه کمتر از ۱۵ سال آمار، با همه ۱۰۱ ایستگاه رابطه همبستگی برقرار شد. به عبارتی بین اولین ایستگاه کمتر از ۱۵ سال با ۱۰۱ ایستگاه بالای ۳۰ سال رابطه همبستگی برقرار شد تا هرکدام از آن‌ها که بهترین شرایط برای تکمیل آماری را داشت انتخاب شوند. برای این انتخاب دو عامل منظور شد.

هرکدام از روابط بیشترین زوج داده‌ها را در همبستگی داشته باشند (پنج مورد بیشترین آن‌ها انتخاب شد). هرکدام از روابط بند ۱ بیشترین ضریب همبستگی را داشته باشند. با استفاده از روابط بدست‌آمده کلیه ایستگاه‌هایی که کمتر از ۱۵ سال آمار داشتند بازسازی آماری شدند و تا سقف ۱۵ سال آمار رسیدند. بدین ترتیب کلیه ایستگاه‌ها با آمار ۱۵ سال و بالاتر در محاسبات بعدی وارد شدند.

### ۳-۴-۴- انطباق ایستگاه‌های هیدرومتری مورداستفاده با حوضه‌های کاری

محل ایستگاه‌های مورداستفاده روی نقشه حوضه‌های کاری معین شد، این کار با انطباق عرض و طول جغرافیایی ایستگاه‌ها با نقشه‌های مربوط در محیط GIS و با به‌کارگیری نرم‌افزار ILWIS انجام شده است. با این کار تعداد ایستگاه‌هایی که در هر یک از ۱۰۹۸ زیر حوضه قرار دارند مشخص شد. بدیهی است که تعدادی از حوضه‌ها فاقد ایستگاه هیدرومتری بوده و تعدادی نیز یک مورد و یا بیشتر داشته‌اند.

### ۳-۵- انتخاب تابع هدف

برای قضاوت در مورد دقت پیش‌بینی، معیارهای مختلفی می‌توان در نظر گرفت، ابتدا یک تابع هدف تعریف می‌شود، این تابع می‌تواند مجموع خطای اندازه‌گیری و پیش‌بینی در یک دوره زمانی باشد. میزان دقت و صحت عمل مدل، با مقایسه مقادیر ماهانه ثبت شده حوضه (Qa) و دبی پیش‌گویی شده (Qe) سنجیده می‌شود. در زیر چندین تابع هدف موردبحث قرار گرفته که یکی از آن‌ها که تناسب بیشتری برای انتخاب پارامترهای مدل دارد انتخاب می‌شود. از توابع معمول مجموع مربعات خطا SSQ است که به‌نام روش کنترل مربعات نیز شناخته می‌شود. این تابع با روابط ۱-۳ ارائه می‌شود:

$$SSQ = 4(Q_e - Q_a)^2 \quad (1-3)$$

که در آن:

$Q_e$ : دبی برآوردشده مدل

$Q_a$ : دبی اندازه‌گیری‌شده

معیار دیگر، مجموع قدرمطلق اختلاف‌ها است (SAD) که با رابطه ۲-۳ ارائه می‌شود:

$$Sad = 4 * (Q_e - Q_a) \quad (2-3)$$

این معیار مقدار انحراف مقادیر را موردتوجه قرار می‌دهد.

معیار بعدی، مجموع مربعات درصد اختلافات (pssq) است که با رابطه زیر ارائه می‌شود.

$$PSSQ = 4 \left\{ \frac{(Q_e - Q_a)}{Q_a} \right\}^{2**} \quad (3-3)$$

معیار دیگر مجموع قدرمطلق درصد اختلافات (PSAD) است که با رابطه ۴-۳ تعریف می‌شود.

$$PSSQ = 4\{(Q_e - Q_a) / Q_a\} \quad (4-3)$$

ضریب تعیین (D) معمولاً برای سنجش میزان همبستگی بین دو مقدار دبی اندازه‌گیری و برآورد شده به کار می‌رود و به شرح ۵-۳ است:

$$D = \{4(Q_a - \overline{Q_a})^{**2} - 4(Q_a - Q_e)^{**2}\} / 4(Q_a - Q_e)^{**2} \quad (5-3)$$

که در آن:

$Q_e$ : دبی برآورد شده مدل

$Q_a$ : دبی اندازه‌گیری شده مدل

$\overline{Q_a}$ : میانگین دبی ثبت شده

\*  $Q_e$ : رواناب برآورد شده که از خط همبستگی  $Q_e$  و  $Q_a$  بدست آمده است.

معیار دیگری بنام ضریب بنام ضریب کارایی وجود دارد که از رابطه ۶-۳ بدست می‌آید.

$$E = \{4(Q_a - \overline{Q_a})^{**2} - 4(Q_a - Q_e)^{**2}\} / (Q_a - Q_e)^{**2} \quad (6-3)$$

اگر میزان همبستگی بالا باشد مقادیر E و D به یکدیگر نزدیک خواهند بود.

یک معیار دیگر، خطای استاندارد برآورد (S) است که اختلافات مقادیر ماهانه رواناب برآورد شده و

اندازه‌گیری شده را سنجیده و با فرمول ۷-۳ محاسبه می‌شود:

$$S = S_0 \sqrt{(1-D)} \quad (7-3)$$

در این میان، تابع مجموع اختلافات (SSQ) بین مقادیر ماهانه اندازه‌گیری شده و برآورد شده به‌عنوان بهترین

تابع برای مطالعه عملکرد مدل انتخاب شد.

### ۳-۶- روش‌های مورد استفاده در برآورد آستانه شروع رواناب واقعی

در این تحقیق روش‌های مختلف تخمین مشخصه‌های جریان در حوضه‌ها و نیز مفاهیم تولید رواناب از

بارش مرور شده است. چندین مدل بارش - رواناب که بیشترین موارد کاربرد را داشته‌اند تشریح و توصیه‌هایی

در مورد انتخاب، بهینه‌سازی، ارزیابی و نیز مشکلات مربوط به تخمین پارامتر برای این مدل‌ها ارائه شده است.

همچنین استفاده از این مدل‌ها برای حوضه‌های فاقد آمار شرح داده شده و توصیه‌هایی نیز در این زمینه ارائه شده است.

### ۳-۶-۱- ساختار مدل AWBM

مدل AWBM، یک مدل کامپیوتری بیلان آبی برای شبیه‌سازی بارش- رواناب است که اولین بار توسط (Boughton, ۱۹۹۳) ارائه شد. این مدل، یک مدل سطوح جزئی جریان سطحی اشباع است که از بارش روزانه و ساعتی و تبخیر متوسط ماهانه برای محاسبه رواناب روزانه و ساعتی استفاده می‌کند. به‌طور کلی دو تئوری بیان‌کننده مکانیزم تولید رواناب وجود دارد:

براساس تئوری هورتن (۱۹۳۳) رواناب زمانی پدید می‌آید که شدت بارش از شدت نفوذ بیشتر شود. تئوری جریان سطحی اشباع (Hewlett و Hibbert, ۱۹۶۷) براساس این تئوری وقتی خاک از آب اشباع شود، رواناب پدید می‌آید. مدل AWBM براساس تئوری جریان از سطوح جزئی اشباع (partial area runoff) که مشابه تئوری جریان سطحی اشباع است، توسعه یافته و مزیت‌های آن بر سایر مدل‌های شبیه‌سازی بارش- رواناب عبارتند از:

مدل سه‌پارامتره است و در رودخانه‌های فصلی که آب پایه ندارد، مدل یک‌پارامتره می‌شود. ساختار مدل نسبتاً ساده است. مدل رواناب را در زمان‌های مختلف از مناطق مختلف محاسبه می‌کند. مدل AWBM از ظرفیت‌های ذخیره سطحی (Store<sub>۱</sub>، Store<sub>۲</sub> و Store<sub>۳</sub>) با مساحت‌های (A<sub>۱</sub>، A<sub>۲</sub> و A<sub>۳</sub>) برای شبیه‌سازی سطوح رواناب استفاده می‌کند و بیلان آبی هر سطح ذخیره‌ای را مستقل از بقیه در گام‌های زمانی روزانه (یا ساعتی) محاسبه می‌کند. معادله بیلان آبی هر سطح به صورتی است که بارش به ذخیره سطحی اضافه شده و تبخیر و تعرق از آن کم می‌شود. لذا معادله بیلان آبی در حالتی که n تعداد Store در حوضه باشد به صورت رابطه ۳-۸ است:

$$= \text{Store}_n + \text{Rain} - \text{Evap} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (3-8)$$

در این معادله اگر میزان رطوبت ذخیره منفی شود، صفر در نظر گرفته می‌شود و اگر رطوبت ذخیره بیش از ظرفیت مخزن شود، رطوبت مازاد به رواناب تبدیل شده و رطوبت ذخیره معادل ظرفیت مخزن باقی می‌ماند

(Boughton, 2003). در این مدل فرض می‌شود که رواناب از دو منبع اصلی رواناب سطحی و آب پایه تأمین می‌شود. سه پارامتر مدل عبارتند از :

شاخص جریان پایه ( Base Flow Index , BFI )

ثابت خشکیدگی روزانه جریان (Recession Constant , K)

ظرفیت‌های ذخیره سطحی ( $C_1$ ,  $C_2$  و  $C_3$ ) و سطوح متناظر با این ظرفیت‌ها ( $A_1$ ,  $A_2$  و  $A_3$ ) برای محاسبه این پارامترها از روش رگرسیون چند متغیره اتوماتیک استفاده می‌شود (Boughton, 2003). وقتی باران می‌بارد اول ظرفیت ذخیره  $C_1$ ، بعد ظرفیت ذخیره  $C_2$  و در نهایت ظرفیت ذخیره  $C_3$  پرمی‌شود. وقتی  $C_1$  پر شد، سرریز می‌کند و رواناب آغاز می‌شود.  $C_1$  مناطق با کمترین ظرفیت ذخیره، کمترین قابلیت نفوذ و بیشترین تولید رواناب در هر حوضه، مثل مناطق صخره‌ای یا مناطقی که زودتر اشباع می‌شوند،  $C_2$  مناطق با قابلیت نفوذ و ظرفیت ذخیره بیشتر و تولید رواناب کمتر از  $C_1$  و  $C_3$  مناطق با بزرگترین ظرفیت ذخیره سطحی، بیشینه نفوذ، بیشینه ذخیره و حداقل رواناب در یک حوضه است. شکل (۳-۵) ساختار مدل AWBM را نشان می‌دهد.

پارامترهای واسنجی شامل ثابت فروکش جریان پایه ( $K$ )، شاخص جریان پایه ( $BFI$ )، ظرفیت‌های ذخیره سطحی ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ) و سطوح متناظر با ظرفیت‌های ذخیره سطحی ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ )، در حوضه های معرف از جمله کسلیان، کارده، امامه، ليقوان، کن و کامه در تحقیقی محاسبه شد (شریفی، ۱۳۹۴).

برای استفاده از مدل ابتدا واسنجی مدل<sup>۱</sup> در هر حوضه صورت گرفت و پارامترهای بهینه مدل در هر حوضه مشخص شد. سپس ارزیابی مدل<sup>۲</sup> در پیش‌بینی رفتار حوضه‌ها با استفاده از داده‌هایی که در مرحله واسنجی استفاده نشده بود، انجام و با استفاده از پارامترهای محاسبه شده در مرحله قبل، رواناب خروجی هر حوضه بدست آمد. در نهایت تحلیل حساسیت مدل<sup>۳</sup> به منظور تعیین پارامترهای مؤثر مدل صورت گرفت. به منظور بررسی عوامل مؤثر در تعیین آستانه شروع رواناب از یک باران‌ساز قابل حمل و مدل AWBM استفاده شده

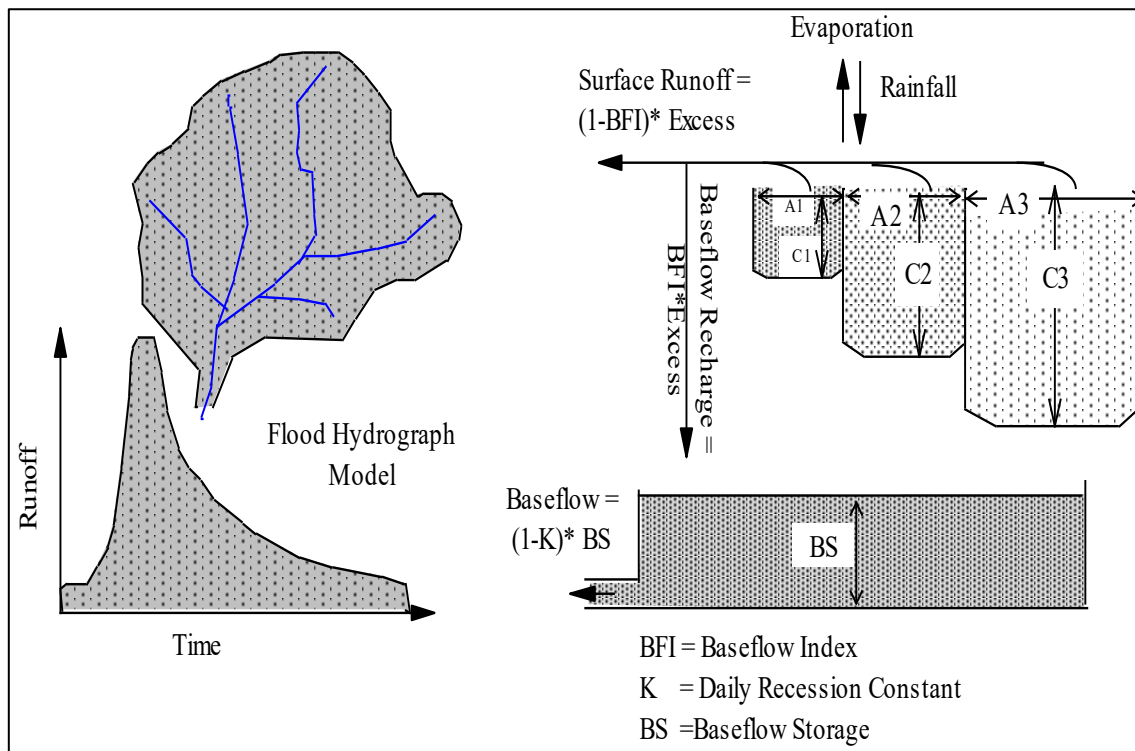
<sup>1</sup> Model Calibration

<sup>2</sup> Model Verification

<sup>3</sup> Model Sensitivity Analysis

است. در این تحقیق، آستانه شروع رواناب به مقداری از بارش گفته شده که خاک سطحی را به مرحله‌ای از رطوبت می‌رساند که بعد از آن رواناب آغاز می‌شود.

با تعیین آستانه شروع رواناب به وسیله شبیه‌ساز باران و مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب و مقایسه آن‌ها با هم در صورت دستیابی به شباهت قابل قبول می‌توان با سرعت و دقت بیشتر و هزینه کمتر، مقدار بارشی را که موجب آغاز رواناب در شرایط مختلف می‌شود، تخمین زد. پس از آگاهی از آستانه شروع رواناب در هر منطقه با استفاده از روش‌های مناسب می‌توان برای کاهش حجم سیلاب‌ها، کاهش هزینه خسارات سیل و فرسایش، کنترل فرسایش تشدیدشونده و استفاده بهتر از نزولات برنامه‌ریزی کرد.



شکل (۳-۵): ساختار مدل AWBM2002

### ۳-۶-۲- تقسیم‌بندی مناطق اقلیمی همگن اجرای طرح

کشور ایران از نظر آب‌وهوایی شرایط بسیار متفاوتی دارد، به طوری که از مناطق بسیار خشک تا مرطوب در آن دیده می‌شود. تغییرات سریع کاربری و حذف پوشش گیاهی طبیعی در دهه‌های اخیر سبب تشدید فرسایش و بروز سیل شده است. وقوع خشکسالی‌های دهه اخیر موجبات نگرانی مردم و مسئولین را به همراه داشته



### ۳-۷- بررسی و برآورد دبی بیشینه

#### ۳-۷-۱- کلیات

به‌منظور تحلیل دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب با دوره برگشت‌های ۲ تا ۵۰ سال در محل خروجی حوضه‌های رتبه هفت، آمار و اطلاعات دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه در محل ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده قرار گرفت. بدین‌منظور ابتدا، آمار و اطلاعات جمع آوری شد و سپس برای پردازش، داده‌های هواشناسی و هیدرومتری از محیط DOS به محیط نرم‌افزاری Excel منتقل شد.

با بررسی آمار و اطلاعات دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه، مشخص شد که در بعضی از ایستگاه‌ها دبی بیشینه لحظه‌ای مشاهده‌شده از دبی بیشینه روزانه مشاهده شده کمتر است. همچنین در برخی دیگر از ایستگاه‌ها دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه مشاهده شده در ایستگاه پایین دست کمتر از ایستگاه بالادست بود. در این موارد آمار و اطلاعاتی که دارای خطا بوده با روش‌های معمول اصلاح و در صورتی که امکان اصلاح آن وجود نداشت، در تحلیل دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه مورد استفاده قرار نگرفت.

#### ۳-۷-۲- بررسی درستی و همگنی داده‌های دبی بیشینه لحظه‌ای

برای شناسایی آمار غلط و ناهمگن از روش آزمون توالی یا دنباله‌ها (Runs Test) استفاده شد. بدین‌منظور با استفاده از نرم‌افزار SPSS آزمون توالی برای آمار دبی بیشینه لحظه‌ای مشاهده‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی قرار گرفت، همچنین با استفاده از نرم‌افزار SPSS آزمون داده‌های پرت (Out layer) برای دبی بیشینه لحظه‌ای انجام گرفت. در مواردی که داده‌های پرت وجود داشت، حذف و در تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار نگرفت. وضعیت یکنواختی داده‌های دبی بیشینه لحظه‌ای در منطقه، با استفاده از روش جرم مضاعف بررسی شد. در این روش داده‌های هر ایستگاه در طول دوره آماری با میانگین داده‌های متناظر در ایستگاه‌های همجوار مقایسه شد.

## ۳-۷-۳- بازسازی داده‌های ناقص

در ایستگاه‌های هیدرومتری که دارای طول دوره آماری مناسبی بودند، بین دبی بیشینه لحظه‌ای و بیشینه روزانه در هر ایستگاه همبستگی برقرار شد. در سال‌هایی که داده‌های دبی بیشینه لحظه‌ای و یا بیشینه روزانه ثبت نشده بود، با استفاده از رابطه همبستگی نواقص دبی بیشینه لحظه‌ای و بیشینه روزانه تکمیل شد. لازم به ذکر است که روابط همبستگی به روش خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی استخراج و در هر ایستگاه رابطه‌ای که دارای بالاترین همبستگی بود به‌عنوان رابطه منتخب استفاده شد.

برای سال‌هایی که هیچ یک از داده‌های دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه ثبت نشده بود، با استفاده از ماتریس همبستگی از رابطه (۳-۹) از ایستگاه‌های دیگر دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه تکمیل و طول دوره آماری به ۳۰ سال افزایش یافت.

$$N_e = \left( \frac{N}{1 + \frac{N-n}{n-r}(1-R^2)} \right) - n \quad \text{رابطه (۳-۹)}$$

در این رابطه:

$N_e$ : تعداد سال قابل بازسازی

$R$ : ضریب همبستگی

$N$ : تعداد سال آمار مشاهده‌ای ایستگاه مبنا

$n$ : تعداد سال بازسازی شده ایستگاه

در نهایت دبی بیشینه روزانه و لحظه‌ای با دو روش فوق (روابط بین دبی لحظه‌ای و روزانه برای سال‌هایی که یک ایستگاه هیچ‌یک از دبی‌های بیشینه روزانه و لحظه‌ای آن‌ها ثبت نشده است) در طول دوره آماری مشترک بازسازی شد. لازم به ذکر است در مواقعی که ایستگاه مبنا نیز در یک سال خاص فاقد آمار بود، برای بازسازی آن سال از ایستگاه‌های دیگر براساس ماتریس همبستگی استفاده و کلیه ایستگاه‌ها تا ۲۵ سال آماری مشترک تکمیل شد.

### ۳-۷-۴- تحلیل فراوانی سیلاب در ایستگاه‌ها

پس از بازسازی دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه از ایستگاه‌های منتخب در هرکدام از حوزه‌های آبخیز، به‌منظور تحلیل فراوانی داده‌ها از نرم‌افزار Hyfa استفاده شد. سپس با استفاده از توزیع‌های آماری براساس نتایج میانگین انحراف نسبی و مربع کای دبی بیشینه روزانه در ایستگاه‌های موجود توزیع مناسب انتخاب شد، سپس با توزیع و یا توزیع‌های مناسب، تحلیل فراوانی دبی بیشینه روزانه در دوره برگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله برای ایستگاه‌های مختلف صورت گرفت.

### ۳-۸-۱- تحلیل منطقه‌ای سیلاب

#### ۳-۸-۱-۱- بررسی آمار دبی متوسط ایستگاه‌ها

به‌منظور تحلیل منطقه‌ای سیلاب از دبی متوسط سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری در هر حوضه استفاده شد. برخی از ایستگاه‌ها دارای طول آماری خیلی کم و یا نواقص آماری بالایی داشتند که در تحلیل حذف شدند. بنابراین، ایستگاه‌های دارای آمار نسبتاً مناسب انتخاب و نواقص آماری برخی از ایستگاه‌های منتخب با استفاده از آمار ایستگاه‌های دارای آمار کامل با روش همبستگی تکمیل و طول دوره آماری آن‌ها به ۲۵ سال افزایش یافت.

#### ۳-۸-۲- بررسی روابط منطقه‌ای

با توجه به فقدان ایستگاه هیدرومتری در محل خروجی حوضه‌های درجه هفت از روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب برای تعمیم دبی بیشینه لحظه‌ای ۲ تا ۱۰۰ ساله از محل ایستگاه‌های هیدرومتری به حوضه‌های فاقد آمار استفاده شد. بدین‌منظور روابط رگرسیونی چند متغیره متعددی بین دبی با مساحت و بارندگی استخراج و براساس معیارهای آماری، رابطه توانی به‌عنوان بهترین معادله برای هر حوضه انتخاب شد. برای این منظور ابتدا نقشه همباران متوسط سالانه رقومی و سپس با درون‌یابی مقدار باران بین خطوط همباران با روش عکس فاصله، مقدار باران برای هر پیکسل محاسبه و سپس با برآورد میانگین وزنی، متوسط بارندگی حوضه‌ها برآورد

شد. سپس برای برآورد دبی متوسط حوضه، بین مساحت و مقدار بارش و حوضه‌هایی که دارای آمار دبی متوسط بودند روابط رگرسیون برقرار شد و براساس رابطه منتخب مقادیر دبی متوسط ۲۵ ساله برای حوضه‌های بدون آمار برآورد شد. با توجه به اینکه برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه‌ای انجام می‌شود و از طرفی مرز استان با مرز حوضه‌ها همسان نیست لذا روابط و معادلات منتخب در سطح حوضه برآورد و ارائه می‌شود و از آنجایی که در محدود استان چهارمحال و بختیاری حوضه‌های ارس، ارومیه و حوزه آبخیز سفید رود بزرگ واقع است لذا نتایج مربوط به این سه حوضه ارائه خواهد شد.

### ۳-۹- برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار

تحلیل روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای با دوره برگشت‌های مختلف با دبی متوسط ۲۵ ساله نیز انجام شد. با استفاده از نتایج تحلیل منطقه‌ای، دبی لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه‌های تحت بررسی استخراج شد و روابط رگرسیونی متعددی بین دبی لحظه‌ای با دوره برگشت‌های مختلف با دبی متوسط ۲۵ ساله مورد بررسی و روابط مناسب تعیین و انتخاب شد. براساس روابط منتخب در هر حوضه، دبی متوسط ۲۵ ساله، دبی‌های بیشینه لحظه‌ای با دوره برگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله برای حوضه‌های فاقد آمار برآورد شد.

### ۳-۱۰- برآورد حجم جریان و رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف

برای برآورد حجم جریان با دوره بازگشت‌های مختلف، داده‌های آبدی سالانه مورد استفاده قرار گرفت. بدین‌منظور ابتدا حجم کل جریان سیلاب برای ایستگاه‌های منتخب براساس دبی متوسط روزانه در هر سال محاسبه شد. بدین روش حجم جریان برای ایستگاه‌های منتخب برای تمامی سال‌های دوره آماری استخراج شد. همچنین، حجم رواناب براساس هیدروگراف جریان و با استفاده از تکنیک جدایش هیدروگراف، در محل هرکدام از ایستگاه‌های هیدرومتری در طول دوره آماری مشترک تعیین شد. در این مرحله با جدایش هیدروگراف مؤلفه رواناب و دبی پایه تفکیک شد. بنابراین، با استفاده از سری زمانی داده‌ها مؤلفه رواناب و حجم کل جریان سالانه در حوضه‌های منتهی به ایستگاه‌های هیدرومتری با استفاده از توزیع آماری نرمال

تحلیل احتمالاتی شد. سپس براساس نتایج، هرکدام از این دو مؤلفه با دوره برگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای حوضه تعیین شد.

### ۳-۱۱- تهیه منحنی‌های IDF حوضه‌ها

به‌منظور رسم منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی از روابط موجود در گزارش‌های سازمان هواشناسی و وزارت نیرو استفاده شد. بدین‌منظور، مقادیر شدت بارندگی برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله در تداوم‌های مختلف از اطلاعات و گزارشات موجود استخراج شد. معادله ریاضی این روابط به‌صورت رابطه (۳-۱۰) است.

$$I = at^b \quad (3-10)$$

I: شدت بارندگی بر حسب (میلی‌متر در ساعت)

t: زمان بر حسب (دقیقه)

a و b: ضرایب معادله هستند.

ضرایب a و b از نتایج مطالعات سازمان هواشناسی و وزارت نیرو استخراج شد.

### ۳-۱۲- وضعیت سیل و پیامدهای آن

#### ۳-۱۲-۱- بررسی فراوانی رخداد‌های سیل در حوضه‌ها

اطلاعات پایه موردنیاز در تحلیل فراوانی رخداد‌های سیل از بانک اطلاعات سیل استفاده شده است. بدین‌منظور وقایع سیلابی سال‌های ۱۳۳۳ تا ۱۳۸۲ از بانک فوق‌الذکر استخراج شده است. برای این کار، وقایع ثبت‌شده پس از پردازش اولیه و رقومی کردن آن‌ها، موقعیت مکانی هرکدام تعیین و به نقشه‌های رقومی تبدیل شد. سپس با استفاده از نقشه‌های رقومی مرز حوضه‌های رتبه هفت در محیط GIS نسبت به تفکیک محل وقوع این رخدادها بر حسب زیرحوضه‌های رتبه هفت اقدام شد.

## ۳-۱۲-۲- بررسی میزان خسارات سیل در سطح حوضه

خسارات سیل بر پایه اطلاعات اولیه حاصل از بانک اطلاعات سیل (معاونت آبخیزداری سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، به نقل از پرهمت، ۱۳۹۵) است. برای بررسی خسارات سیل، اطلاعات وقایع سیلابی از سال‌های ۱۳۳۳ تا ۱۳۸۳ و به تفکیک شهرستان‌ها در اختیار قرار گرفت. این اطلاعات مورد بررسی و سپس وقایع سیل دارای اطلاعات خسارات برای حوضه‌های رتبه سه و رتبه هفت استخراج شد.

شایان ذکر است که به منظور مقایسه خسارات سیل حوضه‌ها نیاز به تبدیل انواع خسارت با مبنای ریالی است. مبنای تعیین قیمت، شاخص قیمت گذاری کالای کشاورزی تحت عنوان قیمت تضمینی محصولات زراعی طی سال‌های ۸۳-۱۳۷۹ مطابق جدول (۳-۳) که توسط مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی ارائه شده است، تعیین شد. سایر قیمت‌گذاری‌ها بر مبنای برآورد و نرخ موجود در بازار و پس از مشورت با کارشناسان متخصص تعیین شد.

جدول (۳-۳): نرخ پایه تعیین خسارات ناشی از سیل

ردیف	نوع خسارت	نرخ برآورد شده (هزار ریال)	ردیف	نوع خسارت	نرخ برآورد شده (هزار ریال)
۱	خانه روستایی (باب)	۱۰۰۰۰	۲۶	جایگاه دامی (باب)	۱۰۰۰۰
۲	واحد آموزشی (باب)	۱۰۰۰۰۰	۲۷	جایگاه دامی (مترمربع)	۵۰
۳	ساختمان اداری (واحد)	۱۰۰۰۰۰	۲۸	انبار (مورد)	۱۰۰۰۰۰
۴	مغازه (باب)	۱۰۰۰۰۰	۲۹	مرغداری (باب)	۱۰۰۰۰۰
۵	مسجد (باب)	۱۰۰۰۰۰	۳۰	دامداری (واحد)	۱۰۰۰۰۰
۶	ماشین سواری (دستگاه)	۵۰۰۰۰	۳۱	شبکه توزیع برق روستا (مورد)	۲۰۰۰۰۰
۷	موتورسیکلت (دستگاه)	۱۰۰۰۰	۳۲	شبکه آب (متر)	۱۰۰
۸	کامیون (دستگاه)	۱۰۰۰۰۰	۳۳	شبکه آب روستا (مورد)	۵۰۰۰۰۰
۹	بولدوزر (دستگاه)	۱۰۰۰۰۰	۳۴	لودر (دستگاه)	۱۰۰۰۰۰
۱۰	بیل مکانیکی (دستگاه)	۱۰۰۰۰۰	۳۵	ماشین‌آلات (دستگاه)	۵۰۰۰۰
۱۱	ابنیه‌های فنی (دهانه)	۵۰۰۰	۳۶	موتور آب (دستگاه)	۵۰۰۰
۱۲	بند انحرافی (مورد)	۲۰۰۰	۳۷	سد خاکی (مورد)	۵۰۰۰۰
۱۳	بند گابیونی (مترمکعب)	۲۰۰۰	۳۸	سد یا بند (مورد)	۵۰۰۰۰

ردیف	نوع خسارت	نرخ برآوردشده (هزار ریال)	ردیف	نوع خسارت	نرخ برآوردشده (هزار ریال)
۱۴	پل آبرو و لوله‌ای (متر)	۵۰۰	۳۹	سد (متر)	۱۰۰۰۰
۱۵	پل (دهنه)	۱۲۰۰۰۰	۴۰	سد گابیونی (مورد)	۶۰۰۰۰
۱۶	چاه (حلقه)	۵۰۰۰	۴۱	قنات (رشته)	۲۵۰۰۰۰
۱۷	دیوار (متر)	۱۰۰	۴۲	کانال (کیلومتر)	۱۰۰۰۰
۱۸	دیواره ساحلی (متر)	۵۰۰	۴۳	نهر و کانال و سایر (کیلومتر)	۱۰۰۰۰
۱۹	گاو (رأس)	۳۰۰۰	۴۴	تخریب خشکه‌چین	۵۰۰۰۰
۲۰	گوساله (رأس)	۲۰۰۰	۴۵	تیرک برق یا مخابرات (ستون)	۲۰۰۰
۲۱	گوسفند (رأس)	۱۰۰۰	۴۶	بلوار شهر (متر)	۳۰۰
۲۲	بز (رأس)	۱۰۰۰	۴۷	باغات (هکتار)	۳۰۰۰۰
۲۳	مرغ (قطعه)	۲۵	۴۸	زراعت (هکتار)	۵۰۰۰
۲۴	راه روستایی (کیلومتر)	۱۰۰۰۰	۴۹	زنبورعسل (کندو)	۷۰
۲۵	راه شوسه (کیلومتر)	۳۰۰۰۰	۵۰	راه آسفالت (کیلومتر)	۵۰۰۰۰

برای محاسبه خسارات ویژه از آمار و اطلاعات جمعیت مربوط به سرشماری سال ۱۳۸۵ که از مرکز آمار ایران اخذ شده، استفاده شد. بدین ترتیب خسارات ویژه با تقسیم خسارات بر جمعیت هر حوضه تعیین شد.

### ۳-۱۲-۳- بررسی تلفات سیل هر حوضه

برای بررسی تلفات سیل، همانند موارد قبل از اطلاعات وقایع سیلابی سال‌های ۱۳۳۳ تا ۱۳۸۳ و به تفکیک شهرستان، استفاده شد. این اطلاعات مورد بررسی و سپس برای حوضه‌های رتبه هفت استخراج شد.

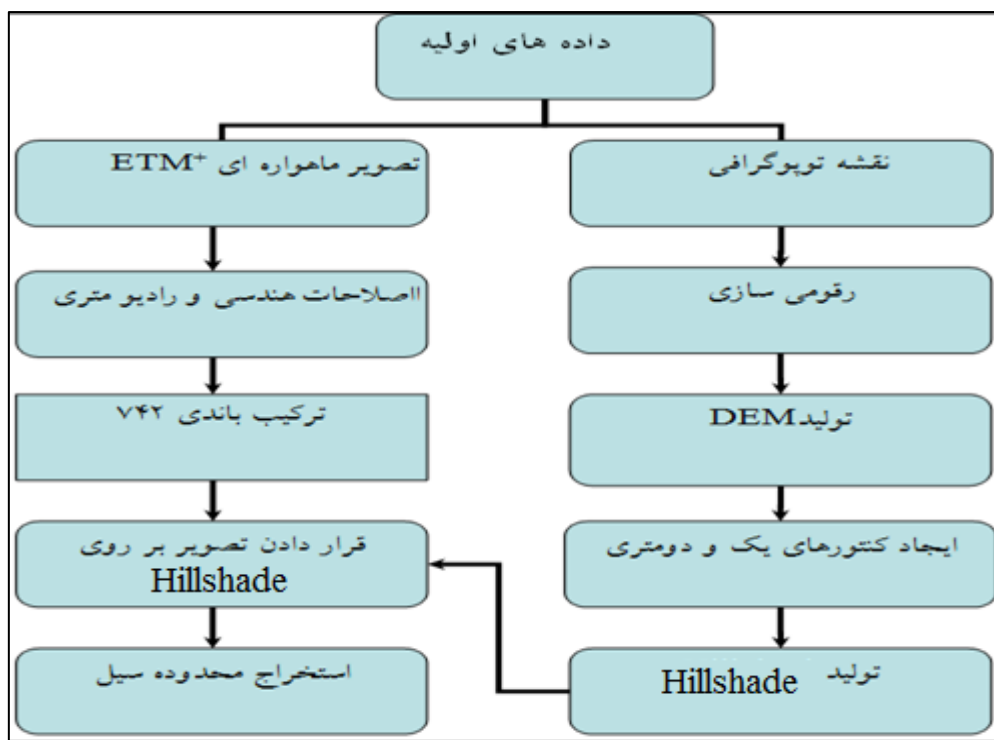
### ۳-۱۲-۴- شناسایی و استخراج پهنه سیل از تصاویر ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۰۲

تصاویر ماهواره لندست ETM<sup>+</sup> با پوشش قرار دادن طیف‌های باند مرئی و مادون قرمز امکان تفکیک عوارض زمین را می‌تواند فراهم کند. حاشیه‌های سیل‌گیر روخانه‌ها و مسیل‌ها به دلیل ته نشین مواد رسوبی سال‌های اخیر نسبت به محیط اطراف به دلیل رنگ روشن‌تر قابل تمیز است. این ویژگی باعث می‌شود که

مواد رسوبی که اخیراً ته نشت شده‌اند و دارای رنگ روشن هستند در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای قابل تمیز شوند. علاوه بر این، با ترکیبات مختلف بانندی می‌توان با ترکیب رنگی، شناسایی این عوارض را راحت‌تر و دقیق‌تر انجام داد. در نواحی اطراف رودخانه عوارض روشن‌تر بیان‌گر رسوباتی است که در اثر سیلاب به‌جا مانده است.

در این تحقیق تصویر لندست ETM<sup>+</sup> تابستان ۲۰۰۲ انتخاب و اصلاحات هندسی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور صورت گرفت. با بررسی ترکیب بانندی مختلف، بهترین ترکیب بانندی ترکیب باندهای ۲،۴،۷ تعیین شد. در این ترکیب بانندی نواحی سیل‌گیر معمولاً به‌صورت رنگ خاکستری تا بنفش روشن قابل تشخیص هستند.

به‌منظور استفاده از دید سه بعدی ابتدا مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تهیه و سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS 8.3 تصویر شبه سه‌بعدی (Hillshad) تهیه شد. سپس تصویر با ترکیب باند ۲،۴،۷ بر روی آن به‌صورت نیمه‌شفاف قرار داده شد و با استفاده از تشخیص چشمی نواحی سیل‌گیر استخراج شد. همچنین، روش‌های طبقه‌بندی به‌صورت نظارت نشده در محیط Erdas بر روی تصویر انجام و با تحلیل اثرات کاربری‌ها استخراج شدند. نتیجه این کار برای استخراج محدوده سیل نتایج مناسبی را نشان نداد. با این وصف، در این پژوهش برای استخراج محدوده سیل (دشت‌های سیلابی) از روش اول و مطابق نمودار شکل (۳-۸) که مراحل انجام کار را نشان می‌دهد، استفاده شد.



شکل (۳-۷): نمودار شماتیک مراحل استخراج محدوده سیل از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ سال

همانطور که در نمودار شکل (۳-۸) نشان داده شده است، در این روش با ایجاد تصویر سه‌بعدی از منطقه براساس DEM و ایجاد رنگ براساس ترکیبات باندهای تصویر ماهواره ای لندست ETM<sup>+</sup> زمینه‌ای با رنگ طبیعت بر روی شکل سه‌بعدی بوجود آمد. بر این اساس با استفاده از رنگ زمینه و توپوگرافی محل، محدوده سیل گیر با چشم تشخیص و رقومی شد.

### ۳-۱۲-۵- تعیین مراکز مسکونی در معرض سیل

به‌منظور بررسی مراکز مسکونی در معرض سیل نقشه موقعیت مراکز مسکونی و نقشه پهنه سیل گیر بر هم منطبق و با همپوشانی این دو نقشه، مراکز جمعیتی واقع در محدوده‌های سیل گیر تعیین شد.

### ۳-۱۲-۶- برآورد جمعیت در معرض سیل حوضه

با روی هم گذاری (Crossing) لایه پهنه‌های سیل و لایه مراکز جمعیتی در هر حوضه، میزان جمعیت فعلی در معرض سیل مشخص شد. با تقسیم جمعیت در معرض سیل در هر زیرحوضه بر جمعیت کل آن زیرحوضه، میزان جمعیت ویژه در معرض سیل هر زیرحوضه محاسبه شد.

## ۳-۱۲-۷- تعیین طبقات خطر سیل در هر حوضه

عوامل بسیار زیادی در تعیین میزان خطر سیل نقش داشته که به تنهایی و یا به‌طور توأم در آن اثر دارند. ولی به‌طور کلی می‌توان پنج عامل شامل تعداد وقوع، تلفات، خسارات مالی، جمعیت در معرض سیل و تراکم مراکز مسکونی در معرض سیل را بعنوان عوامل کلی برشمرد که جنبه‌های مختلف پیامدهای سیل در آن‌ها قابل مشاهده است. لذا مجموعه این عوامل برای ارائه میزان خطر سیل مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به تأثیر متفاوت آن‌ها، برای هر یک از این عوامل با نظر کارشناسی امتیاز مناسب منظور و براساس مجموع امتیازها، میزان خطر سیل مشخص شد.

جدول (۳-۴): عوامل خطر سیل و امتیاز نسبی هر کدام

عوامل خطر سیل	تعداد وقوع سیل	تلفات جانی سیل	خسارات مالی سیل	جمعیت در معرض سیل	تراکم مراکز مسکونی در معرض سیل	مجموع امتیازها
امتیاز	۱۰	۴۰	۲۵	۱۵	۱۰	۱۰۰

به‌منظور طبقه‌بندی خطر سیل، خسارات و پیامدهای سیل در ۱۰ حوضه رتبه ۲ کشور بررسی و سپس براساس آن‌ها مقادیر هر یک از عوامل استخراج شد. سپس این مقادیر، به روش  $\frac{1}{3}$  انحراف معیار طبقه‌بندی و محدوده تغییرات خطر سیل در هفت طبقه برای هر یک از عوامل به‌طور جداگانه مشخص شد. جدول (۳-۵) حد آستانه و تغییرات هر یک از عوامل را در هر طبقه نشان می‌دهد. سپس با توجه به امتیاز هر یک از عوامل جدول (۳-۴) و اعمال آن‌ها در مقادیر طبقات جدول (۳-۵)، مقادیر کمی شاخص‌های طبقه‌بندی درجه خطر سیل و نیز طبقات سیل براساس ۱۰ نمونه کشوری (جدول ۳-۶) استخراج و ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تعداد پنج عامل اصلی و هر کدام در هفت دسته به‌عنوان شاخص طبقه‌بندی تعیین شد. همچنین براساس دامنه جمع امتیازهای شاخص‌های فوق، طبقات خطر سیل در هفت دسته منظور شد (جدول ۳-۷). این هفت عامل شامل شرایط سیلابی عادی (بدون خطر)، نسبتاً خفیف، خفیف، متوسط، نسبتاً شدید، شدید و خیلی شدید است. شرایط سیلابی خیلی شدید بیان‌گر خطر بالای سیل بوده و برای این‌گونه موارد

برنامه‌های مهار سیل ضروری است، در حالی که برای شرایط عادی نیازی به برنامه اجرایی مهار سیل نمی‌باشد.

جدول (۳-۵): محدوده تغییرات عوامل طبقات خطر سیل

عامل	عادی	نسبتاً خفیف	خفیف	متوسط	نسبتاً شدید	شدید	خیلی شدید
خسارت ویژه (میلیون ریال بر نفر)	۰/۰۷۵	۰/۲۰۰	۰/۳۵۰	۰/۵۰۰	۰/۶۵۰	۰/۸	۰/۸<
تلفات ویژه (نفر در میلیون نفر)	۵	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۷۵<
جمعیت در معرض سیل (نفر در هزار نفر)	۹	۷۱	۱۳۲	۱۹۴	۲۵۵	۳۱۷	۳۱۷<
تراکم مراکز مسکونی (تعداد مراکز جمعیتی در هزار کیلومتر مربع)	۳	۵	۸	۱۱	۱۳	۱۶	۱۶<
تعداد وقوع سیل (واقعه)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۶۰>

جدول (۳-۶): شاخص طبقه‌بندی درجه خطر سیل

عامل	عادی	نسبتاً خفیف	خفیف	متوسط	نسبتاً شدید	شدید	خیلی شدید
خسارت ویژه (میلیون ریال بر نفر)	۲/۵	۶/۲۵	۱۰	۱۳/۷۵	۱۷/۵	۲۱/۲۵	۲۵
تلفات ویژه (نفر در میلیون نفر)	۴	۱۰	۱۶	۲۲	۲۸	۳۴	۴۰
جمعیت در معرض سیل (نفر در هزار نفر)	۱/۵	۳/۷۵	۶	۸/۲۵	۱۰/۵	۱۲/۷۵	۱۵
تراکم مراکز مسکونی (تعداد مراکز جمعیتی در هزار کیلومتر مربع)	۱	۲/۵	۴	۵/۵	۷	۸/۵	۱۰
تعداد وقوع سیل (واقعه)	۱	۲/۵	۴	۵/۵	۷	۸/۵	۱۰
امتیاز	۱۰	۲۵	۴۰	۵۵	۷۰	۸۵	۱۰۰

جدول (۳-۷): طبقه‌بندی خطر سیل بر حسب دامنه امتیازات

طبقه خطر سیل	عادی	نسبتاً خفیف	خفیف	متوسط	نسبتاً شدید	شدید	خیلی شدید
دامنه امتیازات	۱۰ >	۲۵-۱۰	۴۰-۲۵	۴۰-۵۵	۷۰-۵۵	۷۰-۸۵	۸۵ <

## ۳-۱۲-۸- روش بررسی شدت سیل خیزی در سطح حوضه

بررسی شدت سیل خیزی حوضه‌ها از دیدگاه آبخیزداری اهمیت زیادی دارد. زیرا حوضه‌های با سیل خیزی بیشتر از نظر کنترل سیل، اقدامات پیشگیرانه از خسارت سیل و اجرای طرح‌های حفاظت خاک و آب اولویت بیشتری نسبت به حوضه‌های با سیل خیزی کمتر دارا هستند. سیل خیزی حوضه به نوعی بیان‌گر قابلیت تولید رواناب در حوضه است که هر چه ضریب تولید رواناب بیشتر باشد، نفوذپذیری و قدرت نگهداری آب در حوضه کمتر بوده و در نتیجه بارش به سرعت از حوضه خارج شده و به همراه آن خسارات زیادی وارد می‌شود. دبی بیشینه لحظه‌ای ویژه یکی از شاخص‌های مهم در هیدرولوژی است که بیان‌گر سیل خیزی حوضه است. به منظور تعیین شدت سیل خیزی از شاخص دبی اوج ویژه ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده شد. ابتدا در محل این ایستگاه‌ها، دبی ویژه بیشینه با دوره بازگشت‌های مختلف تحلیل و سپس دبی با دوره برگشت ۵۰ ساله به عنوان شاخص سیل خیزی حوضه‌های رتبه سه و هفت برآورد شد. همچنین، برای مقایسه حوضه‌ها با یکدیگر، مقادیر دبی ویژه با دوره برگشت ۵۰ ساله در محل ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح کل کشور که دارای آمار مناسب بود بررسی و براساس روش Quantal داده‌ها به نه طبقه به شرح جدول (۳-۸) تقسیم شد. روش کوانتایل به کاوش روندها در کوانتایل‌های مختلف کمک میکند و تصویر جزئیتری از داده‌های شما ارائه می‌دهد. این روش برای داده‌های غیرنرمال بسیار مؤثر و مفید است. در این بررسی دامنه دبی ویژه با دوره برگشت ۵۰ ساله حدود ۰/۰۵ تا ۳/۴ مترمکعب در ثانیه در کیلومترمربع بدست آمد.

دبی بیشینه لحظه‌ای با دوره برگشت ۵۰ ساله برای حوضه‌های رتبه هفت با استفاده از تحلیل منطقه‌ای محاسبه و با تقسیم آن بر مساحت حوضه، مقادیر دبی ویژه برای هر کدام از این زیرحوضه‌های رتبه هفت محاسبه شد. بر این اساس شاخص شدت سیل خیزی (دبی بیشینه لحظه‌ای ویژه با دوره برگشت ۵۰ ساله) در

نه طبقه دسته‌بندی شد. این نه دسته شامل ناچیز، خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد، خیلی زیاد و طغیانی است.

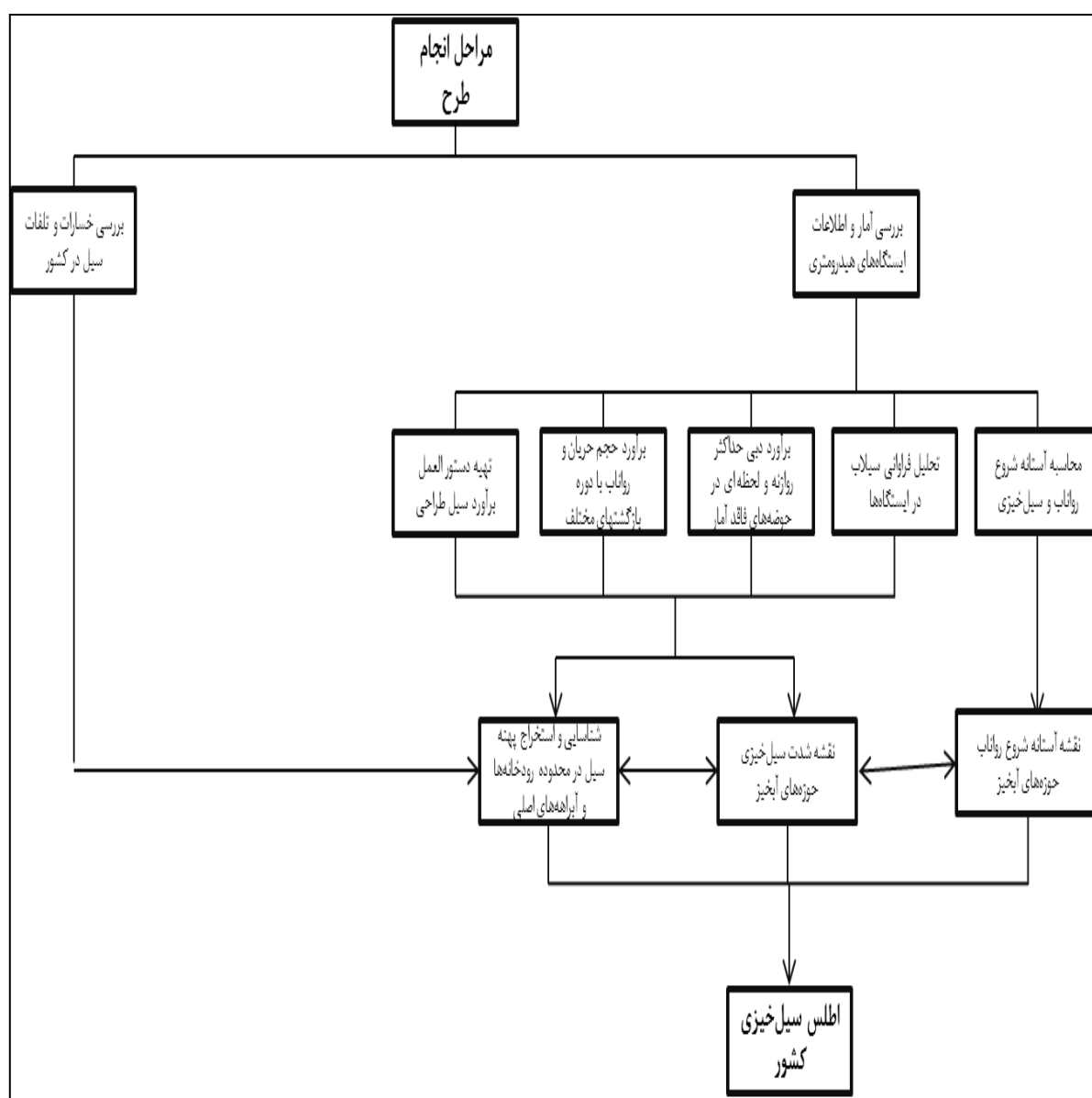
جدول (۳-۸): شاخص طبقه‌بندی شدت سیل خیزی حوزه‌های آبخیز کشور

محدوده تغییرات شدت سیل خیزی (متر مکعب در ثانیه در کیلومتر مربع)	طبقات شدت سیل خیزی
۰۸۸۰.۰-۰	ناچیز
۱۶.۰-۰۸۸۰.۰	خیلی کم
۲۴.۰-۱۶۱.۰	کم
۳۲.۰-۲۴۱.۰	نسبتاً کم
۴۰.۰-۳۲۱.۰	متوسط
۵۵.۰-۴۰۱.۰	نسبتاً زیاد
۷۰.۰-۵۵۱.۰	زیاد
۱-۷۰۱.۰	خیلی زیاد
۱>	طغیانی

### ۳-۱۳- روش تهیه اطلس سیل

به‌منظور تهیه اطلس سیل، مؤلفه‌های اطلس شامل دو دسته، مؤلفه‌های نقطه‌ای و مؤلفه‌های پهنه‌ای در سطح هستند. برای اطلاعات نقطه‌ای از عوامل مختلف هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده شد. این عوامل شامل حجم کل جریان، حجم کل رواناب سطحی سالانه بادوره برگشت ۵۰ ساله، اطلاعات منحنی شدت-مدت-فراوانی شامل مقدار بارش شش ساعته با دوره بازگشت ۵۰ ساله و ضرایب رابطه شدت-مدت-فراوانی برای بارش با دوره بازگشت ۵۰ ساله هستند. این مؤلفه‌ها به‌ترتیب درمحل ایستگاه‌های هیدرومتری و ایستگاه-های سینوپتیک برآورد شدند. همچنین، براساس تحلیل‌های منطقه‌ای و احتمالاتی دبی بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف برای هرکدام ازحوضه‌های رتبه هفت کشور برآورد شد. بر این اساس نقشه اطلس سیل با دو دسته اطلاعات شامل اطلاعات نقطه‌ای واطلاعات پهنه‌ای تنظیم وتهیه شد. اطلاعات مندرج درنقشه اطلس سیل شامل شدت سیل خیزی بوده که برای هر حوضه رتبه هفت به‌صورت یک رنگ که نمایان‌گر شدت سیل خیزی است در زمینه نقشه ارائه شده است. همچنین، طبقات خطرات سیل در پهنه‌های وقوع سیل با رنگ‌های معینی ارائه شده‌اند. علاوه بر دو نوع اطلاعات پهنه‌ای فوق، اطلاعات مربوط به ویژگی رگبارهای شش

ساعته به‌عنوان رگبار شاخص در محل ایستگاه‌های سینوپتیک نمایش داده شده است. همچنین، در محل ایستگاه‌های هیدرومتری ویژه‌گی‌های جریان سالانه با دوره بازگشت ۵۰ ساله شامل حجم کل جریان و حجم مؤلفه رواناب سالانه ارائه شد. در نقشه اطلس سیل مرز حوضه‌های رتبه هفت، مراکز جمعیتی شهری و روستایی، رودخانه‌های سطح استان نیز ارائه شده است. مراحل انجام پژوهش مطابق نمودار شکل (۳-۸) به‌صورت کلی و در سطح کشور ارائه می‌شود و در بخش نتایج، نتایج حوزه‌های آبخیز رده هفت استان چهارمحال و بختیاری ارائه می‌شود.



شکل (۳-۸): نمودار مراحل انجام طرح

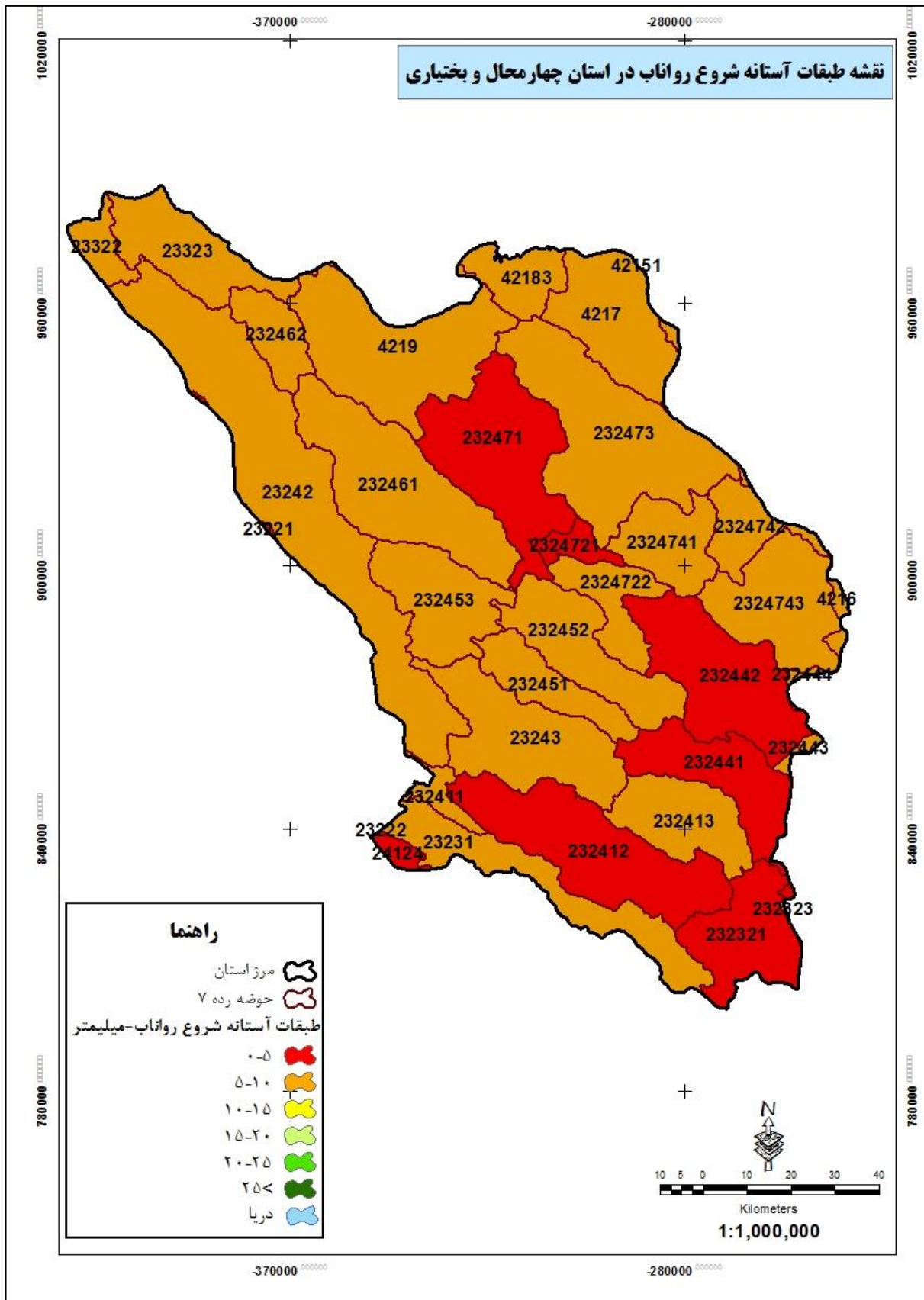
## ۴- نتایج

### ۴-۱- آستانه شروع رواناب

#### ۴-۱-۱- نتایج آستانه شروع رواناب (C) (با مدل AWBM)

پارامترهای مدل AWBM مطابق روش تحقیق برای تعیین آستانه رواناب تعیین شد. بنابراین، ابتدا با کمک بهینه‌سازی پارامترهای مدل با استفاده از داده‌های بارش روزانه، دبی و تبخیر و تعرق تعیین شد. سپس در مدل با تقسیم اثر تغییرپذیری ظرفیت ذخیره حوضه به سه ظرفیت ذخیره (۱C، ۲C و ۳C) و برآورد سطوح هریک از این ظرفیت ذخیره‌ها (۱A، ۲A و ۳A) رواناب حاصل از هریک از این سطوح شبیه‌سازی شد.

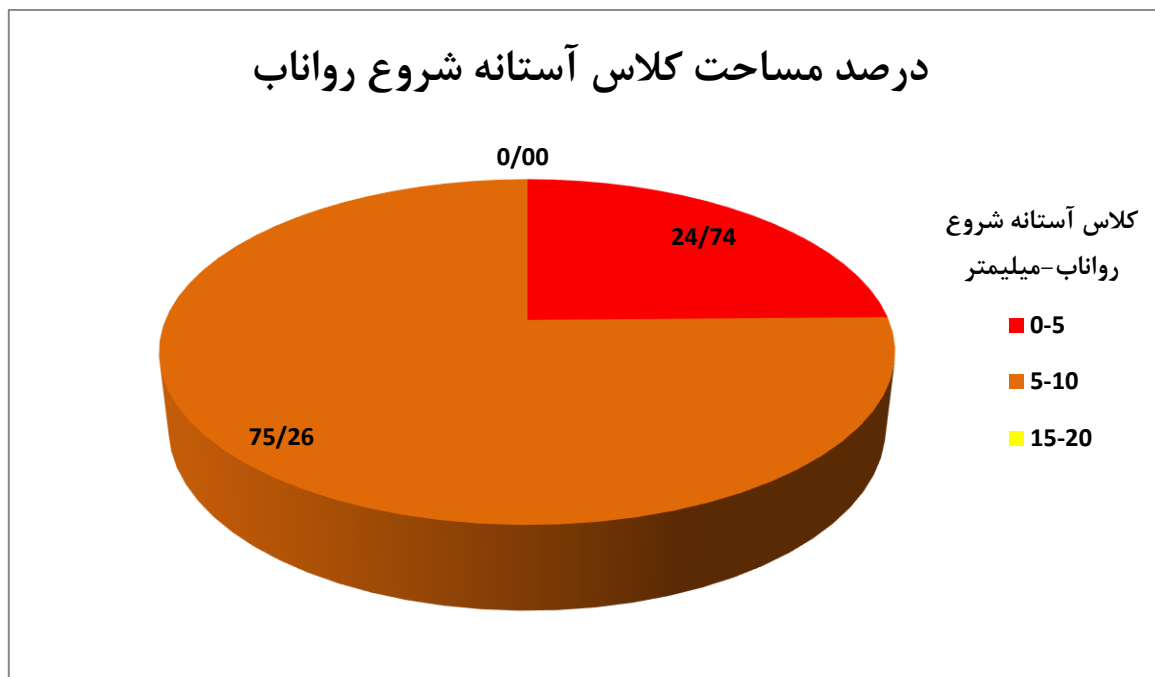
آستانه شروع رواناب بدست آمده از مدل AWBM، در پنج کلاس شامل ۵-۱۰ میلی‌متر، ۱۰-۱۶ میلی‌متر، ۱۵-۱۱ میلی‌متر، ۲۰-۱۶ میلی‌متر و بیش از ۲۰ میلی‌متر تقسیم‌بندی و بر این اساس نقشه پهنه‌بندی آستانه رواناب استان به تفکیک حوضه‌های رتبه هفت تهیه شد. شکل (۱-۴) و (۲-۴) و جدول (۱-۴) نتایج پارامتر ۱C که به‌عنوان شاخص آستانه رواناب در مدل است را برای حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهند. همان‌طور که جدول (۱-۴) نشان می‌دهد مقادیر آستانه رواناب استان در دامنه دو تا ۱۵ میلی‌متر است. همچنین، شکل (۱-۴) نشان می‌دهد که آستانه رواناب پهنه استان عمدتاً طبقه پنج تا ۱۰ میلی‌متر بوده و پهنه صفر تا ۵ میلی‌متر فقط در هفت واحد رتبه هفت برآورد شده است.



شکل (۴-۱): نقشه طبقات آستانه شروع رواناب در حوزه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری

جدول (۴-۱): مقادیر آستانه شروع رواناب (C) در حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری

area_boundary	ضریب C- رواناب	C۱- آستانه شروع رواناب	دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های مختلف (m <sup>3</sup> .km <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ) Q					area-basin	Order_۷
			۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲		
۹۲/۸۱	۰/۲۵	۵	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۱	۳۳۹۷/۷۴	۴۲۱۶
۶۱۶/۲۶	۰/۱۸	۶	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۰۲	۸۱۴/۴۸	۴۲۱۷
۱۰۳۸/۹۷	۰/۴۱	۸	۰/۶۴	۰/۵۳	۰/۴۵	۰/۳۶	۰/۲۳	۱۴۸۹/۹۸	۴۲۱۹
۸/۸۲	۰/۳۰	۳	۰/۸۲	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۳۳	۲۶۸۳/۰۰	۲۳۲۲۱
۰/۰۱	۰/۲۰	۷	۳/۰۰	۲/۵۵	۲/۲۰	۱/۸۱	۱/۲۰	۶۲۰/۰۰	۲۳۲۲۲
۶۱۷/۳۲	۰/۳۳	۷	۱/۳۵	۱/۱۱	۰/۹۳	۰/۷۳	۰/۴۴	۲۰۵۰/۰۰	۲۳۲۳۱
۱۸۹۸/۴۸	۰/۳۹	۵	۱/۱۴	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۴۴	۲۱۷۴/۰۰	۲۳۲۴۲
۷۹۳/۹۰	۰/۱۷	۵	۲/۳۴	۱/۹۱	۱/۵۸	۱/۲۳	۰/۷۱	۸۹۱/۰۰	۲۳۲۴۳
۱۴۸/۹۶	۰/۱۷	۵	۱/۳۷	۱/۱۶	۱/۰۰	۰/۸۲	۰/۵۵	۱۲۵۸/۱۹	۲۳۳۲۲
۵۳۱/۱۲	۰/۱۵	۵	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۲۸۸۵/۰۰	۲۳۳۲۳
۵۹/۱۹	۰/۰۸	۲	۱/۴۷	۱/۱۴	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۶۱	۱۴۱۴/۰۰	۲۴۱۲۴
۰/۳۶	۰/۱۲	۱۵	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۰	۱۷۰۷/۰۰	۴۲۱۵۱
۲۶۷/۰۶	۰/۱۵	۶	۰/۹۸	۰/۷۷	۰/۶۰	۰/۴۴	۰/۰۰	۳۷۰/۰۰	۴۲۱۸۳
۵۳۱/۹۱	۰/۱۸	۳	۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۶۶	۰/۵۳	۰/۳۳	۸۴۶/۰۰	۲۳۲۳۲۱
۳/۷۴	۰/۰۸	۵	۱/۲۳	۱/۰۴	۰/۸۹	۰/۷۳	۰/۴۸	۱۱۰۴/۰۰	۲۳۲۳۲۳
۱۰۰/۷۹	۰/۲۵	۵	۹/۱۸	۷/۸۰	۶/۷۱	۵/۵۲	۳/۶۷	۱۸۷/۰۰	۲۳۲۴۱۱
۹۹۵/۴۷	۰/۱۲	۳	۱/۹۶	۱/۶۷	۱/۴۳	۱/۱۸	۰/۷۹	۹۹۵/۰۰	۲۳۲۴۱۲
۴۸۴/۱۹	۰/۰۶	۸	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۵۱۷/۰۰	۲۳۲۴۱۳
۵۴۸/۰۴	۰/۰۸	۲	۱/۹۸	۱/۵۶	۱/۲۴	۰/۹۰	۰/۴۰	۹۴۲/۰۰	۲۳۲۴۴۱
۸۲۸/۷۷	۰/۱۷	۴	۱/۷۸	۱/۵۱	۱/۳۰	۱/۰۷	۰/۷۱	۸۴۷/۷۸	۲۳۲۴۴۲
۳۲/۴۳	۰/۱۱	۵	۰/۵۷	۰/۴۵	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۱۲	۵۰۴/۰۰	۲۳۲۴۴۳
۱۵/۸۸	۰/۲۴	۵	۱/۶۲	۱/۳۸	۱/۱۸	۰/۹۷	۰/۶۴	۸۰۸/۰۰	۲۳۲۴۴۴
۳۴۰/۰۷	۰/۲۴	۵	۵/۴۰	۴/۵۹	۳/۹۵	۳/۲۵	۲/۱۶	۳۴۰/۰۰	۲۳۲۴۵۱
۵۹۸/۹۹	۰/۰۹	۵	۳/۲۲	۲/۷۴	۲/۳۶	۱/۹۵	۱/۳۰	۵۹۹/۰۰	۲۳۲۴۵۲
۵۶۶/۱۴	۰/۲۳	۵	۳/۳۸	۲/۸۸	۲/۴۸	۲/۰۴	۱/۳۶	۵۶۶/۰۰	۲۳۲۴۵۳
۱۰۲۳/۱۶	۰/۳۲	۵	۰/۸۲	۰/۶۵	۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۱۸	۱۰۲۱/۰۰	۲۳۲۴۶۱
۲۵۷/۰۸	۰/۱۱	۵	۲/۰۵	۱/۷۰	۱/۴۳	۱/۱۴	۰/۷۰	۲۵۷/۰۰	۲۳۲۴۶۲
۹۴۹/۲۳	۰/۴۵	۲	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۱	۹۴۵/۰۰	۲۳۲۴۷۱
۱۲۳۶/۹۴	۰/۲۶	۵	۱/۱۱	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۶۶	۰/۴۴	۱۲۴۳/۰۰	۲۳۲۴۷۳
۱۱۰/۳۵	۰/۱۲	۴	۲/۸۸	۲/۳۳	۱/۹۱	۱/۴۷	۰/۸۳	۱۱۰/۰۰	۲۳۲۴۷۲۱
۳۱۴/۶۹	۰/۱۹	۵	۵/۹۵	۵/۰۶	۴/۳۵	۳/۵۹	۲/۳۹	۳۱۵/۰۰	۲۳۲۴۷۲۲
۳۹۳/۹۴	۰/۳۶	۵	۴/۷۷	۴/۰۶	۳/۴۹	۲/۸۸	۱/۹۲	۳۹۴/۰۰	۲۳۲۴۷۴۱
۲۴۱/۹۰	۰/۲۳	۵	۴/۴۷	۳/۷۸	۳/۲۳	۲/۶۵	۱/۷۴	۲۷۰/۰۰	۲۳۲۴۷۴۲
۶۵۲/۸۳	۰/۲۴	۵	۱/۹۳	۱/۶۴	۱/۴۰	۱/۱۵	۰/۷۵	۶۵۷/۰۰	۲۳۲۴۷۴۳



شکل ۴-۲: نمودار درصد مساحت کلاس‌های آستانه شروع رواناب (میلی‌متر) در استان چهارمحال و بختیاری

#### ۴-۲- نتایج برآورد دبی بیشینه روزانه و بیشینه لحظه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار

چنان‌که در فصل سوم گفته شد برای تکمیل طول دوره آماری داده‌های دبی بیشینه روزانه و بیشینه لحظه‌ای، ابتدا بین داده‌های دبی بیشینه روزانه و لحظه‌ای هر ایستگاه روابط رگرسیونی برقرار شد، سپس روابط رگرسیونی بین داده‌های ایستگاه‌هایی که دارای طول دوره آماری کافی بودند برقرار شد. با توجه به این‌که مطالعات سیل‌خیزی در محدوده حوزه آبخیز انجام می‌شود لذا در این بخش نتایج مربوطه به روابط دبی بیشینه لحظه‌ای با دبی بیشینه روزانه در ایستگاه‌های موجود در حوضه‌های کارون و گاوخونی جداول ۴-۲ و ۴-۳ ارائه می‌شود. روابط همبستگی که ستاره‌دار هستند، روابط انتخابی برای محاسبات است.

جدول (۴-۲): روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای (Qp) و روزانه (Qm) در ایستگاه‌های موردنظر حوضه کارون

ردیف	کد ایستگاه	نام ایستگاه	رابطه همبستگی	همبستگی ضریب	تعداد داده ها
۱	۲۱-۱۹۷	پل شاوور	$Qp = ۱.۳۱۵۳Qm - ۹.۰۵۲۶$	۰/۹۳۴	۲۵
			$Qp = ۱.۱۱۲۱Qm^{۱.۰۰۱۷*}$	۰/۹۴۵	
			$Qp = ۲۵.۶۰۱e^{۰.۰۱۱۴Qm}$	۰/۹	
			$Qp = ۹۷Ln(Qm) - ۲۹۸.۲۷$	۰/۸۲۱	
۲	۲۱-۲۰۵	شاه مختار	$Qp = ۱.۲۷۳۴Qm + ۵۴.۲۳۱$	۰/۹۵۷	۲۸
			$Qp = ۱.۶۶۱Qm^{۰.۹۸۰۷*}$	۰/۹۶۸	
			$Qp = ۹۹.۸۱e^{۰.۰۰۴۱Qm}$	۰/۸۲۷	
			$Qp = ۲۴۶.۹۵Ln(Qm) - ۹۱۰.۳۳$	۰/۹۰۳	
۳	۲۱-۲۱۱	بطاری (کبکبان)	$Qp = ۱.۲۸۹۲Qm + ۲۳.۳۰۸$	۰/۹۵۵	۲۶
			$Qp = ۱.۵۰۳۹Qm^{۰.۹۹۰۷*}$	۰/۹۷۱	
			$Qp = ۷۱.۶۹۷e^{۰.۰۰۵۹Qm}$	۰/۸۶۸	
			$Qp = ۱۸۵.۲۵Ln(Qm) - ۶۶۹.۱۶$	۰/۹۱۶	
۴	۲۱-۲۱۵	پا طاوه	$Qp = ۱.۲۴۱۸Qm + ۱۰۵.۳۲*$	۰/۹۲	۲۷
			$Qp = ۳.۷۴۱Qm^{۰.۸۴۸۵}$	۰/۹۳۴	
			$Qp = ۲۳۱.۲۲e^{۰.۰۰۲۱Qm}$	۰/۹	
			$Qp = ۴۸۱Ln(Qm) - ۲۲۰.۲.۳$	۰/۹۰۳	
۵	۲۱-۲۱۷	دهکده شهید	$Qp = ۱.۵۳۱۷Qm - ۵.۱۸۶۹$	۰/۹۸	۱۴
			$Qp = ۱.۴۰۰۸Qm^{۱.۰۰۱۵*}$	۰/۹۸۱	
			$Qp = ۲۵.۵۷۶e^{۰.۰۰۱۲۵Qm}$	۰/۸۸۸	
			$Qp = ۹۶.۶۲۷Ln(Qm) - ۲۶۳.۶۱$	۰/۸۵۲	
۶	۲۱-۲۲۳	کتا	$Qp = ۱.۲۱۹۴Qm + ۲۱.۲۲۵*$	۰/۹۷۸	۲۷
			$Qp = ۲.۲۳۵Qm^{۰.۹۰۲۲}$	۰/۹۴۲	
			$Qp = ۱۲۰.۲۹e^{۰.۰۰۲۲Qm}$	۰/۸۶۹	

	۰ / ۸۶۸	$Q_p = 282.54 \ln(Q_m) - 1172.9$			
۲۵	۰ / ۹۷۵	$Q_p = 1.3649 Q_m - 30.534$	بارز	۲۱-۲۲۵	۷
	۰ / ۹۸۶	$Q_p = 1.048 Q_m^{1.0328*}$			
	۰ / ۹۵۳	$Q_p = 297.39 e^{0.0014 Q_m}$			
	۰ / ۹۴۱	$Q_p = 974.4 \ln(Q_m) - 5273.8$			
۲۰	۰ / ۹۰۸	$Q_m - 2/0.518 = Q_p$ ۲۳.۴۰	سولگان	۲۱-۲۲۷	۸
	۰ / ۹۷۲	$Q_p = 1/1366 Q_m^{8141.0}$			
	۰ / ۹۲۱	$Q_m^{0.0125} e^{895.31} Q_p =$			
	۰ / ۷۸۷	$\ln(Q_m) 37.153 Q_p = 0.2498-$			
۲۶	۰ / ۹۵	$Q_m - 1/5145 = Q_p$ ۷۱.۱۰۹	ارمند	۲۱-۲۳۱	۹
	۰ / ۹۵۱	$Q_p = 0.195.1 Q_m^{1502.1}$			
	۰ / ۹۶۱	$Q_p = * Q_m^{0.016.0e22.263}$			
	۰ / ۸۹۲	$\ln(Q_m) 31.919 Q_p = 6.4959-$			
۲۷	۰ / ۹۳۳	$Q_m + 1/3909 = Q_p$ ۰۳.۱۳۷	مرغک	۲۱-۲۳۳	۱۰
	۰ / ۹۴۶	$* 0.937 Q_m^{3902.2} Q_p =$			
	۰ / ۸۹۹	$Q_m^{0.012} e^{2.425} Q_p =$			
	۰ / ۹۳۲	$\ln(Q_m) 8.1021 Q_p = 7.5462-$			
۲۸	۰ / ۸۷۳	$Q_m + 1/2324 = Q_p$ * ۸۴.۱۷۲	پل شالو	۲۱-۲۳۷	۱۱
	۰ / ۸۵۲	$0.8656 Q_m^{577.3} Q_p =$			
	۰ / ۸۵۸	$Q_m^{0.0005} e^{72.915} Q_p =$			
	۰ / ۸۰۴	$\ln(Q_m) - 20.82 Q_p = 130.8$			
۲۸	۰ / ۹۲۱	$Q_m + 1/1618 = Q_p$ * ۰.۳.۴۴۰	سد گتوند	۲۱-۲۴۱	۱۲
	۰ / ۹۲۹	$0.824 Q_m^{2852.5} Q_p =$			
	۰ / ۹۱۳	$Q_p = Q_m^{0.02.0e8.1083}$			
	۰ / ۹۰۱	$\ln(Q_m) 4.2226 Q_p = 13853-$			
۱۷	۰ / ۸۲۹	$Q_p = 1.6857 Q_m - 3.9215$	وفایی (گله رود)	۲۱-۲۵۹	۱۳
	۰ / ۹۲۴	$Q_p = 0.5766 Q_m^{1.3301*}$			
	۰ / ۹۲	$Q_p = 2.2481 e^{0.1664 Q_m}$			

	۰/۸۰۵	$Qp = 13.028 \ln(Qm) - 16.773$			
۳۰	۰/۹۸۱	$Qm - 3845.1 Qp = *662.20$	درود	۲۱-۲۶۷	۱۴
	۰/۹۸۵	$1.0951 Qm 750.0 Qp =$	(تیره)		
	۰/۹۳۴	$Qm^{0.0064} e^{348.55} Qp =$			
	۰/۹۱۵	$(\ln(Qm) 83.208 Qp = 815/85 -$			
۲۱	۰/۸۹۷	$Qm - 1/4461 = Qp 15.1$	چم زمان	۲۱-۲۷۱	۱۵
	۰/۹۲۵	$Qp = *0.9917 Qm^{3373.1}$			
	۰/۸۳	$Qm^{0.0211} e^{38.13} Qp =$			
	۰/۷۹۷	$\ln(Qm) 0.88.54 Qp = 22.110 -$			
۱۷	۰/۸۹	$Qp = 1.3148 Qm - 0.3465$	کمندان	۲۱-۲۷۳	۱۶
	۰/۹۴۶	$Qp = 1.0271 Qm^{1.0864} *$			
	۰/۹۰۲	$Qp = 3.0051 e^{0.1301} Qm$			
	۰/۸۷۵	$Qp = 10.29 \ln(Qm) - 9.8386$			
۱۸	۰/۷۸۹	$Qp = 1.8454 Qm - 1.8206$	دره تخت	۲۱-۲۷۵	۱۷
	۰/۹۳۱	$Qp = 0.8821 Qm^{1.2698} *$			
	۰/۹۱۳	$Qp = 1.5193 e^{0.2702} Qm$			
	۰/۷۷	$Qp = 8.2957 \ln(Qm) - 4.9673$			
۲۵	۰/۹۷۸	$Qm - 3474.1 Qp = 4713.0$	دره تخت (ماربره)	۲۱-۲۷۷	۱۸
	۰/۹۸۷	$Qp = *1.0362 Qm^{1175.1}$			
	۰/۸۵۷	$Qm^{0.0127} e^{0.12.24} Qp =$			
	۰/۸۶۴	$(\ln(Qm) 496.84 Qp = 228/75 -$			
۱۴	۰.۹۷۷	$Qp = 1.2767 Qm + 3.3137 *$	درود (ماربره)	۲۱-۲۷۹	۱۹
	۰/۹۷۱	$Qp = 1.1825 Qm^{1.0206}$			
	۰/۸۷۹	$Qp = 26.699 e^{0.0091} Qm$			
	۰/۹۰۳	$Qp = 119.34 \ln(Qm) - 343.3$			
۳۰	۰/۹۵۱	$Qp = 1.1039 Qm + 9.636 *$	چم چیت (آب سیزه)	۲۱-۲۸۱	۲۰
	۰/۹۳۶	$Qp = 1.7126 Qm^{0.9254}$			
	۰/۸۳۸	$Qp = 31.438 e^{0.0121} Qm$			
	۰/۸۸۲	$Qp = 70.428 \ln(Qm) - 200.99$			
۲۷	۰/۸۶۵	$Qp = 1.1657 Qm + 48.492$	سپید دشت	۲۱-۲۸۵	۲۱

	• /۹۴۶	$Qp = ۰.۹۳۷Qm^{۱.۰۵*}$			
	• /۸۵۹	$Qp = ۱۳۳.۷۲e^{۰.۰۰۲۷Qm}$			
	• /۸۷۱	$Qp = ۴۰۸.۳۴Ln(Qm) - ۱۸۴۳.۵$			
۲۲	• /۹۴۱	$Qp = ۱.۲۷۴۹ Qm + ۱۱.۲۵۵$	سپید دشت (زاز)	۲۱-۲۸۷	۲۲
	• /۹۴۹	$Qp = ۱.۰۶۹۲ Qm^{۱.۰۴۳۳*}$			
	• /۸۷	$Qp = ۷۳.۵۳۶e^{۰.۰۰۵۶ Qm}$			
	• /۹۱۹	$Qp = ۲۱۲.۱۴Ln(Qm) - ۸۲۸.۴۶$			
۲۲	• /۸۴۶	$Qp = ۱.۵۵۰۲Qm + ۳۵.۱$	کشور	۲۱-۲۸۹	۲۳
	• /۸۸۳	$Qp = ۲.۱۷۶۷Qm^{۰.۹۶۲۸*}$			
	• /۸۲۲	$Qp = ۸۰.۰۱e^{۰.۰۰۰۷Qm}$			
	• /۸۶۹	$Qp = ۲۰۴.۲۴Ln(Qm) - ۷۲۲.۰۳$			
۲۵	• /۹۵۷	$Qpr - ۱/۶۴۲۵ = Qpl$ ۸۶.۲۷۷	تنگ پیچ	۲۱-۲۹۱	۲۴
	• /۹۶۴	$Qpl =$ $*۱/۱۰۸۴ Qpr ۶۱۸۳.۰$			
	• /۹۱۲	$Qpl =$ $Qpr^{۰.۰۰۰۹} e^{۳۱.۴۶۱}$			
	• /۸۶۴	$Qpl =$ $Ln(Qpr) - ۶.۱۷۸۹$ ۱.۷۱۶			
۳۲	• /۹۰۹	$Qpr + ۱/۴۵۵۶ = Qpl$ ۵۷۶.۵۷	تلزنگ	۲۱-۲۹۵	۲۵
	• /۹۵۶	$Qpl =$ $*۱/۱۰۰۸ Qpr ۶۶۷۳.۰$			
	• /۸۶۶	$Qpl =$ $Qpr^{۰.۰۰۰۵} e^{۰.۵۸۵۴}$			
	• /۸۸۳	$Qpl =$ $Ln(Qpr) - ۸.۲۶۷۲$ ۱۶۹۴۲			
۲۸	• /۹۷۷	$Qpr + ۱۰۷.۱Qpl =$ $*۵۳.۱۱۶$	دزفول	۲۱-۲۹۹	۲۶
	• /۹۵۴	$Qpl =$ $۳.۷۰۰۹Qpr^{۰.۸۴۱۷}$			
	• /۹۱۸	$Qpl =$ $۴۷۵.۹۵e^{۰.۰۰۰۷Qpr}$			
	• /۸۹	$Qpl =$ $۱۱۱۳.۶Ln(Qpr) -$ ۶۱۶۷.۶			
۲۷	• /۹۷۴	$Qpr + ۰/۹۰۹۸ = Qpl$ $*۸۲.۲۵۵$	حرمه	۲۱-۳۰۳	۲۷
	• /۹۶۴	$Qpl =$ $۰/۸۳۴۴ Qpr ۶۹۵۵.۳$			
	• /۸۹۵	$Qpl =$ $Qpr^{۰.۰۰۰۷} e^{۴۸.۵۷۰}$			
	• /۹۲۶	$Qpl =$ $Ln(Qpr) - ۲.۱۰۶۷$ ۷.۶۰۶۴			
۲۶	• /۹۸۵	$Qpr + ۰/۹۹۱۷ = Qpl$ $*۵۷۳.۷۰$	بامدژ	۲۱-۳۰۳	۲۸

	۰/۹۸۳	$Q_{pl} = 1.952 Q_{pr}^{0.9122}$			
	۰/۹۶۱	$Q_{pl} = 355.15 e^{0.001 Q_{pr}}$			
	۰/۹۵۶	$Q_{pl} = 838.68 \ln(Q_{pr}) - 4667.5$			
۲۹	۰/۹۹۱	$+ Q_{pr}^{9935.0} Q_{pl} = *173/68$	ملائانی (رامین)	۲۱-۳۰۷	۲۹
	۰/۹۸۹	$Q_{pl} = 1.4977 Q_{pr}^{0.9566}$			
	۰/۹۵	$Q_{pl} = 951.91 e^{0.0004 Q_{pr}}$			
	۰/۹۶۸	$Q_{pl} = 2431.4 \ln(Q_{pr}) - 16.69$			
۲۸	۰/۹۹۳	$Q_{pr} + 0.9659 = Q_{pl} *1.241$	اهواز	۲۱-۳۰۹	۳۰
	۰/۹۹	$Q_{pl} = 1.9595 Q_{pr}^{0.9227}$			
	۰/۹۵۵	$Q_{pl} = 955.35 e^{0.0004 Q_{pr}}$			
	۰/۹۷۱	$Q_{pl} = 2294.1 \ln(Q_{pr}) - 15.03$			
۱۵	۰/۹۹۲	$Q_p = 0.9972 Q_m + 267.48$	عرب اسد	۲۱-۴۴۳	۳۱
	۰/۹۹۴	$Q_p = 2.6438 Q_m^{0.8905}$			
	۰/۹۴۱	$Q_p = 743.13 e^{0.0005 Q_m}$			
	۰/۹۶۸	$Q_p = 1654 \ln(Q_m) - 10.71$			

جدول (۴-۳): روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای (Qp) و روزانه (Qm) در ایستگاه‌های موردنظر حوضه گاوخونی

داده های مشترک	ضریب همبستگی	رابطه همبستگی	نام ایستگاه	کد ایستگاه	ردیف
۲۳	۰/۹۵	$Q_p = 1.2682 Q_m + 9.14*$	قلعه شاهرخ	۴۲۰۰۳	۱
	۰/۹۵	$Q_p = 1.9346 Q_m^{0.927}$			
	۰/۹۴	$Q_p = 126.52 e^{0.0002 Q_m}$			
	۰/۹۱	$Q_p = 327.15 \ln(Q_m) - 1448.7$			
۲۳	۰/۹۵	$Q_p = 1.7356 Q_m - 8.67$	اسکندری	۴۲۰۰۵	۲
	۰/۹۸	$Q_p = 0.9045 Q_m^{1.106}$			
	۰/۹۱	$Q_p = 9.822 e^{0.0021 Q_m}$			
	۰/۸۲	$Q_p = 48.026 \ln(Q_m) - 10.2.07$			

۷	۰/۹۷	$Q_p = ۲.۱۸۷Q_m + ۰.۲۸۷*$	تنگ اسفرجان	۴۲۰۳۳	۳
	۰/۹۳	$Q_p = ۱.۴۹۴Q_m^{۱.۱۲۵}$			
	۰/۸۱	$Q_p = ۵.۱۲e^{۰.۰۷۱}Q_m$			
	۰/۸۹	$Q_p = ۲۷.۹۷Ln(Q_m) - ۲۵.۷۰$			
۱۱	۰/۹۴	$Q_p = ۱.۸۱۰۵Q_m - ۰.۰۶$	مندرجان	۴۲۰۴۷	۴
	۰/۹۸	$Q_p = ۱.۰۱۴Q_m^{۱.۲۹۵*}$			
	۰/۸۸	$Q_p = ۱.۶۶۷e^{۰.۱۹۰}Q_m$			
	۰/۹۲	$Q_p = ۱۰.۴۵Ln(Q_m) - ۲.۷۸$			

جدول (۴-۴): رابطه همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه ایستگاه‌های دارای نقص آمار با ایستگاه‌های دارای

آمار کافی در حوضه کارون

ایستگاه بازسازی شده Y	ایستگاه مبنا X	تعداد داده‌های مشترک	ضریب همبستگی	رابطه همبستگی	تعداد سال قابل بازسازی	پارامترهای دبی
سولگان	کتا	۲۰	۰/۸۹	$y = ۱.۳۰۳۶x + ۱۳۰.۴۶$	۵	بیشینه‌لحظه‌ای
مرغک	پل شالو	۲۸	۰/۸۶	$y = ۰.۳۸۱۱x + ۱۲۷.۸۵$	۱	بیشینه‌لحظه‌ای
پا طاوه	بارز	۲۵	۰/۸۱	$y = ۰.۳۸۵۴x + ۱۳۶.۵۲$	۱	بیشینه‌لحظه‌ای
درود (تیره)	چم گز	۹	۰/۸۷	$y = ۰.۱۸۳۳x - ۶۵.۶۳۶$	۲	بیشینه‌لحظه‌ای
چم زمان	دره تخت (مار بره)	۱۹	۰/۸۷	$y = ۰.۸۸۲۸x + ۸.۶۵۷۶$	۵	بیشینه‌لحظه‌ای
درو (ماربره)	دره تخت (مار بره)	۱۵	۰/۹۲	$y = ۱.۲۱۳۱x + ۱۳.۵۰۸$	۱۰	بیشینه‌لحظه‌ای
تنگ پنج	سپید دشت (زاز)	۲۲	۰/۸۶	$y = ۶.۲۲۳۷x + ۳۲.۲۹۱$	۱	بیشینه‌لحظه‌ای
عرب اسد	ملا ثانی (رامین)	۱۱	۰/۹۳	$y = ۰.۸۷x - ۷۴.۸۱۸$	۵	بیشینه‌لحظه‌ای
بطاری (کبکیان)	پا طاوه	۲۶	۰/۹	$y = ۱.۵۵۸۳x + ۱۰۲.۵۲$	۱	بیشینه‌لحظه‌ای
پا طاوه	بارز	۲۷	۰/۸۴	$y = ۰.۴۳۵۴x + ۲۶.۳۸۹$	۹	بیشینه‌روزانه
کتا	پل شالو	۲۸	۰/۸۴	$y = ۰.۱۷۷۸x - ۸۹.۷۸۷$	۹	بیشینه‌روزانه
سولگان	ارمند	۲۲	۰/۹۲	$y = ۰.۱۹۳x - ۲۷.۲۶۳$	۱۶	بیشینه‌روزانه
مرغک	پل شالو	۲۹	۰/۸۴	$y = ۰.۳۴۳۱x + ۶۵.۳۹۳$	۹	بیشینه‌روزانه
دره تخت	کمندان	۳۲	۰/۷۸	$y = ۰.۴۶۵۱x + ۱.۶۵۳۸$	۱	بیشینه‌روزانه
عرب اسد	سد گتوند	۱۵	۰/۸۷	$y = ۰.۸۱۴۷x + ۳۸۲.۵۹$	۸	بیشینه‌روزانه

جدول (۴-۵): رابطه همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه ایستگاه‌های دارای نقص آمار با ایستگاه‌های دارای

آمار کافی در حوضه گاوخونی

ایستگاه بازسازی شده Y	ایستگاه مبنا X	تعداد داده‌های مشترک	ضریب همبستگی	رابطه همبستگی	پارامترهای دبی
تنگ اسفرجان	اسکندری	۲۱	۰/۸۳	$y = 0.0966x^{0.997}$	بیشینه روزانه
مندرجان	اسکندری	۱۷	۰/۷۴	$y = 0.284x^{0.809}$	بیشینه روزانه
مندرجان	سواران	۴	۰/۹۹	$y = 0.2798x - 0.16$	بیشینه لحظه‌ای

با توجه به فقدان ایستگاه هیدرومتری در محل خروجی حوضه‌ها، از روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب برای تعمیم دبی بیشینه روزانه و لحظه‌ای دو تا ۱۰۰ ساله از محل ایستگاه‌های هیدرومتری به حوضه‌های فاقد آمار از روش هایفا (لاگ پیرسون - ۳) استفاده شد. بدین منظور روابط رگرسیونی چند متغیره متعددی بین دبی و مساحت و بارندگی استخراج و رابطه توانی با ضریب همبستگی ۰/۹۹ به‌عنوان بهترین معادله انتخاب شد. براساس رابطه منتخب جدول (۴-۶) تا (۴-۸) مقادیر دبی متوسط ۲۵ ساله برای حوضه‌های بدون آمار برآورد شد. این جداول نشان می‌دهد که رابطه دبی متوسط ۲۵ ساله با مساحت انطباق بیشتری دارد. بنابراین براساس رابطه دبی- مساحت و بارندگی بدست آمده از حوضه‌های منتخب، دبی متوسط ۲۵ ساله برای حوضه‌های فاقد آمار در حوضه‌های کارون و گاوخونی برآورد شد.

جدول (۴-۶) روابط مختلف بین دبی متوسط (Q) با بارندگی (P) و مساحت (A) حوضه‌ها در حوضه کارون

ملاحظات	R	رابطه همبستگی دبی با بارندگی و مساحت	تعداد ایستگاه	ردیف
-	۰/۹۹	$Q = -57.0865 + 0.10378P + 0.1379A^{**}$	۳۳	۱
-	۰/۹۸	$Q = 0.138A - 0.0102$	۳۳	۲
-	۰/۸۱۴	$Q = 0.494A^{0.8314}$	۳۳	۳
-	۰/۶۳	$Q = 8.0547e^{0.0002A}$	۳۳	۴
-	۰/۵۵۹	$Q = 47.384 \ln(A) - 263.42$	۳۳	۵
از احداث بعد سد کارون و دز	۰/۹۹۷	$Q = -497.146 + 0.99736P + 0.106A$	۶	۶

جدول (۷-۴) روابط مختلف بین دبی متوسط (Q) با بارندگی (P) و مساحت (A) حوضه‌ها در حوضه گاوخونی

ضریب همبستگی	رابطه همبستگی دبی با بارندگی و مساحت	تعداد ایستگاه	ردیف
۰/۹۸	$Q_{mean} = 0.01672(A) + 0.05377(P) - 34.98$	۱۶	۱
۰/۹۸	$Q_{mean} = 10^{-10.2607} * A^{0.9118} * P^{3.156***}$	۱۶	۲
۰/۹۷	$Q_{mean} = 0. (0.17A) - 9.5$	۱۶	۳
۰/۸۷	$Q_{mean} = 0.0047(A)^{1.079}$	۱۶	۴

جدول (۸-۴): روابط منتخب بین دبی متوسط (Q) با بارندگی (P) و مساحت (A) حوضه‌ها در منطقه مورد مطالعه

رابطه همبستگی دبی با بارندگی و مساحت	ضریب همبستگی	تعداد ایستگاه	ردیف
$Q = -57.0865 + 0.1378 * P + 0.1379 * A **$	۰/۹۹	۳۳	۱
$Q_{mean} = 10^{-10.2607} * A^{0.9118} * P^{3.156***}$	۰/۹۸	۱۶	۲

تحلیل روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای با دوره برگشت‌های مختلف با دبی متوسط دوره‌های آماری در حوضه‌های آبخیز مختلف نیز انجام شد. ابتدا دبی‌های بیشینه روزانه و لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه‌های تحت بررسی و سپس برای حوضه‌های فاقد آمار استخراج شد. براین اساس روابط رگرسیونی متعددی بین دبی بیشینه روزانه و لحظه‌ای با دوره برگشت‌های مختلف با دبی متوسط ۲۵ ساله مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در جداول ۴-۹ تا ۴-۱۲ ارائه می‌شود.

جدول (۹-۴): روابط همبستگی دبی بیشینه روزانه (Qm) با دبی متوسط ۲۵ ساله (Q) (مترمکعب در ثانیه) در

## حوضه کارون

تعداد ایستگاه مورد استفاده	ضریب همبستگی	روابط همبستگی	دوره بازگشت
۲۱	۰/۹۸	$Q_m = 5.3648Q + 46.361*$	۲
۲۱	۰/۹۷	$Q_m = 6.2933Q^{1.0069}$	
۲۱	۰/۷۶	$Q_m = 63.914e^{0.117Q}$	
۲۱	۰/۸۵	$Q_m = 310.26 \ln(Q) - 544.92$	
۲۱	۰/۹۸	$Q_m = 7.8551Q + 96.513*$	۵

۲۱	۰/۹۶	$Q_m r = 11.268Q \cdot 9812$	
۲۱	۰/۷۴	$Q_m = 109.51e \cdot 0.112Q$	
۲۱	۰/۸۵	$Q_m = 459.54 \ln(Q) - 785.68$	
۲۱	۰/۹۷	$Q_m = 9.4151Q + 132.07^*$	
۲۱	۰/۹۶	$Q_m = 14.641Q \cdot 9712$	۱۰
۲۱	۰/۷۳	$Q_m = 139.96e \cdot 0.11Q$	
۲۱	۰/۸۶	$Q_m = 553.62 \ln(Q) - 934.1$	
۲۱	۰/۹۷	$Q_m = 10.847Q + 166.88^*$	۲۰
۲۱	۰/۹۶	$Q_m = 17.871Q \cdot 9642$	
۲۱	۰/۷۲	$Q_m = 168.88e \cdot 0.109Q$	
۲۱	۰/۸۶	$Q_m = 640.27 \ln(Q) - 1069.1$	
۲۱	۰/۹۷۲	$Q_m = 11.29Q + 178.02^*$	۲۵
۲۱	۰/۹۵۴	$Q_m = 18.892Q \cdot 9623$	
۲۱	۰/۷۱۸	$Q_m = 177.98e \cdot 0.108Q$	
۲۱	۰/۸۵۹	$Q_m = 667.1 \ln(Q) - 1110.6$	
۲۱	۰/۹۷۱	$Q_m = 12.623Q + 212.47^*$	۵۰
۲۱	۰/۹۵۱	$Q_m = 22.021Q \cdot 9573$	
۲۱	۰/۷۱۲	$Q_m = 205.8e \cdot 0.107Q$	
۲۱	۰/۸۶۱	$Q_m = 748.01 \ln(Q) - 1235$	
۲۱	۰/۹۶۹	$Q_m = 13.908Q + 246.89^*$	۱۰۰
۲۱	۰/۹۴۷	$Q_m = 25.107Q \cdot 9533$	
۲۱	۰/۷۰۷	$Q_m = 233.13e \cdot 0.106Q$	
۲۱	۰/۸۶۱	$Q_m = 826.12 \ln(Q) - 1354.1$	

جدول (۴-۱۰): روابط همبستگی دبی بیشینه روزانه ( $Q_m$ ) با دبی متوسط ۲۵ ساله ( $Q$ ) (مترمکعب در ثانیه) در

حوضه گاوخونی

تعداد ایستگاه مورد استفاده	ضریب همبستگی	روابط همبستگی	دوره بازگشت
۱۴	۰/۹۹	$Q_p = 5.5852 Q + 24.374^*$	۲
۱۴	۰/۹۹	$Q_p = 5.5871 Q \wedge 1.0194$	
۱۴	۰/۷۳	$Q_p = 17.284e \wedge 0.192 Q$	

۱۴	۰ /۷۷	$Q_p = 171.45 \ln(Q) - 36.558$	۵
۱۴	۰ /۹۸	$Q_p = 7.8658x + 59.982^*$	
۱۴	۰ /۹۸	$Q_p = 11.491 Q^{0.955}$	
۱۴	۰ /۷۲	$Q_p = 33.22e^{0.0179 Q}$	
۱۴	۰ /۷۹	$Q_p = 248.2 \ln(Q) - 40.218$	
۱۴	۰ /۹۸	$Q_p = 9.2688 Q + 85.585^*$	۱۰
۱۴	۰ /۹۸	$Q_p = 15.724 Q^{0.9302}$	
۱۴	۰ /۷۱	$Q_p = 44.319e^{0.0174 Q}$	
۱۴	۰ /۸۱	$Q_p = 296.19 \ln(Q) - 40.442$	
۱۴	۰ /۹۸	$Q_p = 10.544 Q + 110.8^*$	۲۰
۱۴	۰ /۹۷	$Q_p = 19.883 Q^{0.913}$	
۱۴	۰ /۷۱	$Q_p = 55.068e^{0.017 Q}$	
۱۴	۰ /۸۱	$Q_p = 340.23 \ln(Q) - 39.548$	
۱۴	۰ /۹۸	$Q_p = 10.936 Q + 118.92^*$	۲۵
۱۴	۰ /۹۹	$Q_p = 33.678 Q^{0.8156}$	
۱۴	۰ /۷۱	$Q_p = 58.49e^{0.0169 Q}$	
۱۴	۰ /۸۱	$Q_p = 353.83 \ln(Q) - 39.084$	
۱۴	۰ /۹۸	$Q_p = 12.111 Q + 144.05^*$	۵۰
۱۴	۰ /۹۷	$Q_p = 25.348 Q^{0.8961}$	
۱۴	۰ /۷۱	$Q_p = 69.034e^{0.0167 Q}$	
۱۴	۰ /۸۲	$Q_p = 394.79 \ln(Q) - 37.202$	
۱۴	۰ /۹۷	$Q_p = 13.237 Q + 169.24^*$	۱۰۰
۱۴	۰ /۹۷	$Q_p = 29.485 Q^{0.8862}$	
۱۴	۰ /۷	$Q_p = 79.51e^{0.0165 Q}$	
۱۴	۰ /۸۲	$Q_p = 434.23 \ln(Q) - 34.764$	

جدول (۴-۱۱): روابط همبستگی دبی بیشینه روزانه ( $Q_m$ ) با دبی متوسط ۲۵ ساله ( $Q$ ) (مترمکعب در ثانیه) در

حوضه کارون

تعداد ایستگاه مورد استفاده	ضریب همبستگی	روابط همبستگی	دوره بازگشت
۲۱	۰ /۸۴	$Q_p = 4.2956Q + 271.58$	۲
۲۱	۰ /۹۴	$Q_p = 11.047Q^{0.9487^*}$	
۲۱	۰ /۶۳	$Q_p = 126.77e^{0.0069Q}$	

۲۱	۰/۸۵	$Q_p = 409.79 \ln(Q) - 657.55$	
۲۱	۰/۸۳	$Q_p = 6.4682Q + 453.41$	۵
۲۱	۰/۹۳	$Q_p = 22.23Q \cdot 0.8999^*$	
۲۱	۰/۶۳	$Q_p = 225.73e^{0.0065Q}$	
۲۱	۰/۸۵	$Q_p = 621.72 \ln(Q) - 960.84$	
۲۱	۰/۸۳	$Q_p = 7.9286Q + 571.48$	۱۰
۲۱	۰/۹۳	$Q_p = 30.171Q \cdot 0.8819^*$	
۲۱	۰/۶۲	$Q_p = 292.47e^{0.0064Q}$	
۲۱	۰/۸۵	$Q_p = 760.64 \ln(Q) - 1157.4$	
۲۱	۰/۸۳	$Q_p = 9.3409Q + 681.08$	۲۰
۲۱	۰/۹۲	$Q_p = 37.93Q \cdot 0.8697^*$	
۲۱	۰/۶۲	$Q_p = 356.12e^{0.0063Q}$	
۲۱	۰/۸۵	$Q_p = 892.33 \ln(Q) - 1343.3$	
۲۱	۰/۸۳	$Q_p = 9.7918Q + 715.05$	۲۵
۲۱	۰/۹۲	$Q_p = 40.405Q \cdot 0.8665^*$	
۲۱	۰/۶۲	$Q_p = 376.18e^{0.0063Q}$	
۲۱	۰/۸۵	$Q_p = 933.84 \ln(Q) - 1402$	
۲۱	۰/۸۳	$Q_p = 11.192Q + 817.23$	۵۰
۲۱	۰/۹۲	$Q_p = 48.046Q \cdot 0.8583^*$	
۲۱	۰/۶۲	$Q_p = 437.53e^{0.0062Q}$	
۲۱	۰/۸۵	$Q_p = 1061.2 \ln(Q) - 1582.4$	
۲۱	۰/۸۴	$Q_p = 12.603Q + 915.19$	۱۰۰
۲۱	۰/۹۲	$Q_p = 55.643Q \cdot 0.8519^*$	
۲۱	۰/۶۲	$Q_p = 497.84e^{0.0062Q}$	
۲۱	۰/۸۴	$Q_p = 1187.2 \ln(Q) - 1761.7$	

جدول (۴-۱۲): روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای ( $Q_p$ ) با دبی متوسط ۲۵ ساله ( $Q$ ) (مترمکعب در ثانیه) در

حوضه گاوخونی

تعداد ایستگاه مورد استفاده	ضریب همبستگی	روابط همبستگی	دوره بازگشت
۱۲	۰/۹۸	$Q_p = 7.3071 Q + 53.595$	۲

۱۲	۰ / ۹۹	$Q_p = ۶.۴۳۸۳ Q^{۰.۵۸}$ *	
۱۲	۰ / ۷۳	$Q_p = ۳۸.۲۵۳ e^{۰.۰۱۶۸ Q}$	
۱۲	۰ / ۸۱	$Q_p = ۲۸۳.۹۶ \ln(Q) - ۲۴۵.۷۲$	
۱۲	۰ / ۹۸	$Q_p = ۱۰.۵۷۹ Q + ۱۱۳.۹*$	۵
۱۲	۰ / ۹۸	$Q_p = ۱۵.۶۲۵ Q^{۰.۹۵۹۷}$	
۱۲	۰ / ۷۳	$Q_p = ۷۸.۲۵ e^{۰.۰۱۵۳ Q}$	
۱۲	۰ / ۸۲	$Q_p = ۴۱۷.۶۴ \ln(Q) - ۳۳۷$	
۱۲	۰ / ۹۸	$Q_p = ۱۲.۶۱۵ Q + ۱۵۷.۲۷*$	۱۰
۱۲	۰ / ۹۷	$Q_p = ۲۲.۵۱۲ Q^{۰.۹۲۴۴}$	
۱۲	۰ / ۷۳	$Q_p = ۱۰۶.۰۹ e^{۰.۰۱۴۸ Q}$	
۱۲	۰ / ۸۳	$Q_p = ۵۰۱.۵۴ \ln(Q) - ۳۸۹.۸۹$	
۱۲	۰ / ۹۷	$Q_p = ۱۴.۴۷۷ Q + ۲۰۰.۲۷*$	۲۰
۱۲	۰ / ۹۶	$Q_p = ۲۹.۴۶۸ Q^{۰.۹۰۰۲}$	
۱۲	۰ / ۷۲	$Q_p = ۱۳۳.۲۴ e^{۰.۰۱۴۴ Q}$	
۱۲	۰ / ۷۷	$Q_p = ۵۷۸.۶ \ln(Q) - ۴۳۵.۸۹$	
۱۲	۰ / ۹۷	$Q_p = ۱۵.۰۲۹ Q + ۲۲۳.۸۴*$	۲۵
۱۲	۰ / ۹۶	$Q_p = ۳۱.۸۳۵ Q^{۰.۸۹۶۱}$	
۱۲	۰ / ۷۱	$Q_p = ۱۴۳.۵۳ e^{۰.۰۱۴۳ Q}$	
۱۲	۰ / ۸۴	$Q_p = ۶۰۴.۴۳ \ln(Q) - ۴۴۶.۷۳$	
۱۲	۰ / ۹۷	$Q_p = ۱۶.۷۷۷ Q + ۲۵۶.۸۴*$	۵۰
۱۲	۰ / ۹۶	$Q_p = ۳۸.۷۶۱ Q^{۰.۸۷۷}$	
۱۲	۰ / ۷۱	$Q_p = ۱۶۸.۴۹ e^{۰.۰۱۴ Q}$	
۱۲	۰ / ۸۴	$Q_p = ۶۷۴.۲۲ \ln(Q) - ۴۹۰.۳۳$	
۱۲	۰ / ۹۷	$Q_p = ۱۸.۴۳۲ Q + ۳۰۰.۵۱*$	۱۰۰
۱۲	۰ / ۷۱	$Q_p = ۴۵.۹۶۹ Q^{۰.۸۶۳۴}$	
۱۲	۰ / ۷۱	$Q_p = ۱۹۵.۳ e^{۰.۰۱۳۸ Q}$	
۱۲	۰ / ۸۴	$Q_p = ۷۴۳.۳۳ \ln(Q) - ۵۲۷.۳۴$	

با توجه به اینکه در بررسی شدت سیل خیزی حوضه‌های موجود در استان چهارمحال بختیاری، دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ سال به‌عنوان شاخص شدت سیل انتخاب شده است لذا در جدول (۴-۱۳) و جدول (۴-۱۴) ضریب و روابط همبستگی دبی بیشینه لحظه‌ای با دبی متوسط ۲۵ ساله و در جدول (۴-۱۵) نتایج دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای در حوضه‌ها ارائه می‌شود.

جدول (۴-۱۳): ضریب روابط همبستگی منتخب دبی بیشینه لحظه‌ای (Qp) با دبی متوسط ۲۵ ساله (Q) (مترمکعب در ثانیه)

مقادیر ضریب رابطه همبستگی منتخب در دوره بازگشت‌های مختلف							نام حوضه
۱۰۰	۵۰	۲۵	۲۰	۱۰	۵	۲	
۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۴	کارون
۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	گاوخونی

جدول (۴-۱۴): روابط همبستگی منتخب در برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های مختلف

رابطه همبستگی منتخب در دوره بازگشت‌های مختلف						
۱۰۰	۵۰	۲۵	۲۰	۱۰	۵	۲
$Q_p = 55.643Q^{0.8519*}$	$Q_p = 48.046Q^{0.8583*}$	$Q_p = 40.405Q^{0.8665*}$	$Q_p = 37.93Q^{0.8697*}$	$Q_p = 30.171Q^{0.8819*}$	$Q_p = 22.23Q^{0.8999*}$	$Q_p = 11.047Q^{0.9481*}$
$Q_p = 18.432 Q + 300.51*$	$Q_p = 16.777 Q + 256.84*$	$Q_p = 15.029 Q + 223.84*$	$Q_p = 14.477 Q + 200.27*$	$Q_p = 12.615 Q + 157.27*$	$Q_p = 10.579 Q + 113.9*$	$Q_p = 6.4383 Q + 81.058*$

جدول (۴-۱۵): دبی بیشینه لحظه‌ای در دوره‌بازگشت‌های مختلف، استانه شروع رواناب و ضریب رواناب حوضه-

های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری

Order_۷	area-basin	دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای در دوره بازگشت های Q (m <sup>۳</sup> /s/km <sup>۲</sup> ) مختلف-					C1- آستانه شروع رواناب	C- ضریب رواناب	area_boundary
		۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰			
۴۲۱۶	۳۳۹۷/۷۴	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۵	۰/۲۵	۹۲/۸۱
۴۲۱۷	۸۱۴/۴۸	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۳۵	۶	۰/۱۸	۶۱۶/۲۶
۴۲۱۹	۱۴۸۹/۹۸	۰/۲۳	۰/۳۶	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۶۴	۸	۰/۴۱	۱۰۳۸/۹۷
۲۳۲۲۱	۲۶۸۳/۰۰	۰/۳۳	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۸۲	۳	۰/۳۰	۸/۸۲
۲۳۲۲۲	۶۲۰/۰۰	۱/۲۰	۱/۸۱	۲/۲۰	۲/۵۵	۳/۰۰	۷	۰/۲۰	۰/۰۱
۲۳۲۳۱	۲۰۵۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۷۳	۰/۹۳	۱/۱۱	۱/۳۵	۷	۰/۳۳	۶۱۷/۳۲
۲۳۲۴۲	۲۱۷۴/۰۰	۰/۴۴	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۹۶	۱/۱۴	۵	۰/۳۹	۱۸۹۸/۴۸
۲۳۲۴۳	۸۹۱/۰۰	۰/۷۱	۱/۲۳	۱/۵۸	۱/۹۱	۲/۳۴	۵	۰/۱۷	۷۹۳/۹۰
۲۳۳۲۲	۱۲۵۸/۱۹	۰/۵۵	۰/۸۲	۱/۰۰	۱/۱۶	۱/۳۷	۵	۰/۱۷	۱۴۸/۹۶
۲۳۳۲۳	۲۸۸۵/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۶	۵	۰/۱۵	۵۳۱/۱۲
۲۴۱۲۴	۱۴۱۴/۰۰	۰/۶۱	۰/۸۸	۰/۹۶	۱/۱۴	۱/۴۷	۲	۰/۰۸	۵۹/۱۹
۴۲۱۵۱	۱۷۰۷/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۵	۱۵	۰/۱۲	۰/۳۶
۴۲۱۸۳	۳۷۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۶۰	۰/۷۷	۰/۹۸	۶	۰/۱۵	۲۶۷/۰۶
۲۳۳۳۲۱	۸۴۶/۰۰	۰/۳۳	۰/۵۳	۰/۶۶	۰/۷۸	۰/۹۵	۳	۰/۱۸	۵۳۱/۹۱
۲۳۳۳۲۳	۱۱۰۴/۰۰	۰/۴۸	۰/۷۳	۰/۸۹	۱/۰۴	۱/۲۳	۵	۰/۰۸	۳/۷۴
۲۳۳۴۱۱	۱۸۷/۰۰	۳/۶۷	۵/۵۲	۶/۷۱	۷/۸۰	۹/۱۸	۵	۰/۲۵	۱۰۰/۷۹
۲۳۳۴۱۲	۹۹۵/۰۰	۰/۷۹	۱/۱۸	۱/۴۳	۱/۶۷	۱/۹۶	۳	۰/۱۲	۹۹۵/۴۷
۲۳۳۴۱۳	۵۱۷/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۵	۸	۰/۰۶	۴۸۴/۱۹
۲۳۳۴۴۱	۹۴۲/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۰	۱/۲۴	۱/۵۶	۱/۹۸	۲	۰/۰۸	۵۴۸/۰۴

Order_γ	area-basin	دبی ویژه بیشینه لحظه ای در دوره بازگشت های Q (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ) مختلف -					C1- آستانه شروع رواناب	C- ضریب رواناب	area_boundary
		۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰			
۲۳۲۴۴۲	۸۴۷/۷۸	۰/۷۱	۱/۰۷	۱/۳۰	۱/۵۱	۱/۷۸	۴	۰/۱۷	۸۲۸/۷۷
۲۳۲۴۴۳	۵۰۴/۰۰	۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۴۵	۰/۵۷	۵	۰/۱۱	۳۲/۴۳
۲۳۲۴۴۴	۸۰۸/۰۰	۰/۶۴	۰/۹۷	۱/۱۸	۱/۳۸	۱/۶۲	۵	۰/۲۴	۱۵/۸۸
۲۳۲۴۵۱	۳۴۰/۰۰	۲/۱۶	۳/۲۵	۳/۹۵	۴/۵۹	۵/۴۰	۵	۰/۲۴	۳۴۰/۰۷
۲۳۲۴۵۲	۵۹۹/۰۰	۱/۳۰	۱/۹۵	۲/۳۶	۲/۷۴	۳/۲۲	۵	۰/۰۹	۵۹۸/۹۹
۲۳۲۴۵۳	۵۶۶/۰۰	۱/۳۶	۲/۰۴	۲/۴۸	۲/۸۸	۳/۳۸	۵	۰/۲۳	۵۶۶/۱۴
۲۳۲۴۶۱	۱۰۲۱/۰۰	۰/۱۸	۰/۳۹	۰/۵۲	۰/۶۵	۰/۸۲	۵	۰/۳۲	۱۰۲۳/۱۶
۲۳۲۴۶۲	۲۵۷/۰۰	۰/۷۰	۱/۱۴	۱/۴۳	۱/۷۰	۲/۰۵	۵	۰/۱۱	۲۵۷/۰۸
۲۳۲۴۷۱	۹۴۵/۰۰	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۱	۲	۰/۴۵	۹۴۹/۲۳
۲۳۲۴۷۳	۱۲۴۳/۰۰	۰/۴۴	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۹۴	۱/۱۱	۵	۰/۲۶	۱۲۳۶/۹۴
۲۳۲۴۷۲۱	۱۱۰/۰۰	۰/۸۳	۱/۴۷	۱/۹۱	۲/۳۳	۲/۸۸	۴	۰/۱۲	۱۱۰/۳۵
۲۳۲۴۷۲۲	۳۱۵/۰۰	۲/۳۹	۳/۵۹	۴/۳۵	۵/۰۶	۵/۹۵	۵	۰/۱۹	۳۱۴/۶۹
۲۳۲۴۷۴۱	۳۹۴/۰۰	۱/۹۲	۲/۸۸	۳/۴۹	۴/۰۶	۴/۷۷	۵	۰/۳۶	۳۹۳/۹۴
۲۳۲۴۷۴۲	۲۷۰/۰۰	۱/۷۴	۲/۶۵	۳/۲۳	۳/۷۸	۴/۴۷	۵	۰/۲۳	۲۴۱/۹۰
۲۳۲۴۷۴۳	۶۵۷/۰۰	۰/۷۵	۱/۱۵	۱/۴۰	۱/۶۴	۱/۹۳	۵	۰/۲۴	۶۵۲/۸۳

#### ۴-۳- نتایج برآورد حجم جریان و رواناب با دوره بازگشت های مختلف در ایستگاه های هیدرومتری

##### شاخص

همان طور که در فصل سوم بیان شد برای برآورد حجم جریان با دوره بازگشت های مخلف، داده های آبدهی سالانه مورد استفاده قرار گرفت. در محل ایستگاه های هیدرومتری حجم کل جریان و مؤلفه سیلاب برای ایستگاه های منتخب براساس دبی متوسط روزانه در هر سال محاسبه شد. سپس برای تمامی سال ها در طول

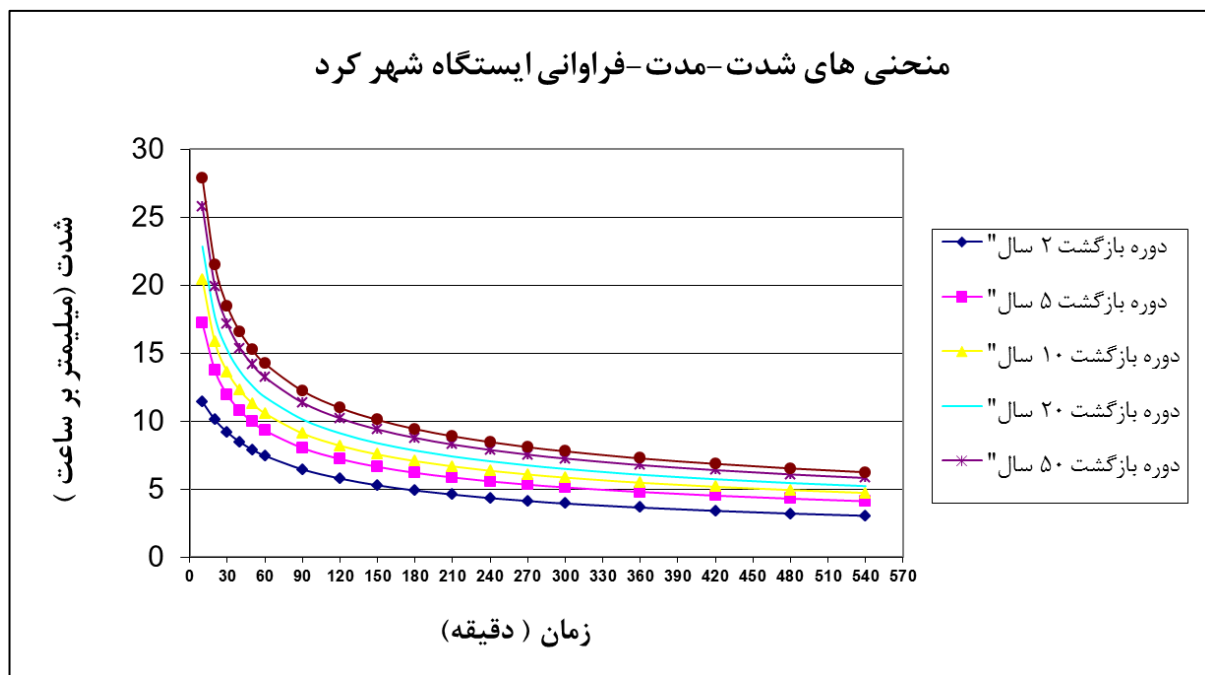
دوره آماری آبدهی کل برای ایستگاه‌های منتخب استخراج شد. همچنین حجم رواناب (مؤلفه سیلاب) براساس هیدروگراف جریان با استفاده از تکنیک جدایش هیدروگراف، در محل هرکدام از ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در طول دوره آماری مشترک تعیین شد. سپس با استفاده از سری زمانی سالانه داده‌ها، مؤلفه حجم سیلاب و حجم کل جریان سالانه در حوضه‌های منتهی به ایستگاه‌های هیدرومتری با استفاده از توزیع آماری نرمال تحلیل احتمالاتی انجام شد. سپس هرکدام از این دو مؤلفه با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای آن ایستگاه (حوضه منتهی به ایستگاه) تعیین شد. جدول (۴-۱۶) حجم کل جریان سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف در محل ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۱۶): حجم کل جریان سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف در محل ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

کد ایستگاه	نام ایستگاه	طول	عرض	حجم کل جریان سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف (میلیون مترمکعب)						
				۲	۵	۱۰	۱۵	۲۵	۵۰	۱۰۰
۴۲-۰۰۳	قلعه‌شاهرخ	۵۰۲۸	۳۲۳۹	۱۲۲۳ /۴۲	۱۵۳۰ /۷۲	۱۶۹۱ /۳	۱۷۴۸ /۹۶	۱۸۶۲ /۱	۱۹۷۳ /۴۱	۲۰۷۲ /۳۱
۴۲-۰۰۹	زمانخان	۵۰۵۴	۳۲۳۰	۱۲۱۰ /۵۶	۱۵۳۲ /۵۴	۱۷۰۰ /۸	۱۷۶۱ /۲۲	۱۸۷۹ /۷۶	۱۹۹۶ /۳۹	۲۱۰۰ /۰۲

#### ۴-۴- نتایج بررسی و تهیه منحنی‌های IDF

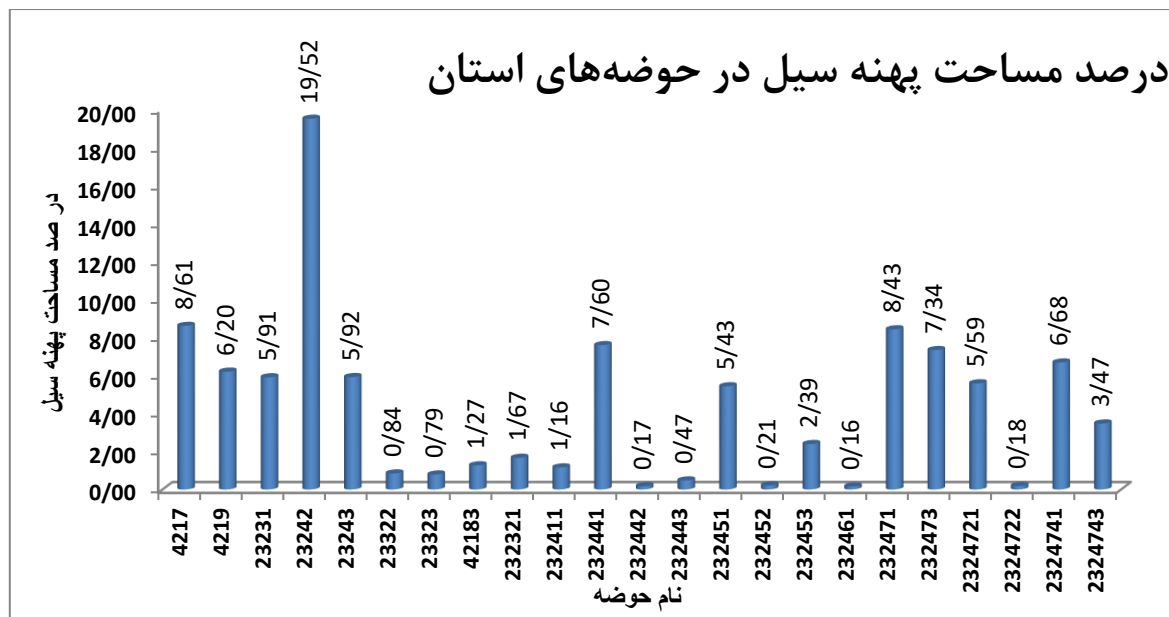
با توجه به این که تنها ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری مناسب موجود در منطقه ایستگاه تبریز است، این ایستگاه برای حوضه‌های رتبه هفت انتخاب شد. با این وصف، منحنی IDF مربوط به ایستگاه تبریز تهیه و نتایج آن در شکل (۴-۳) ارائه شده است.



شکل (۴-۳): منحنی های شدت-مدت-فراوانی بارش ایستگاه شهر کرد

#### ۴-۵- شناسایی و استخراج پهنه های سیل در تصاویر ماهواره ای ETM+ سال ۲۰۰۲

مطابق روش تحقیق پهنه های سیل گیر از تصاویر ماهواره ای ETM+ سال ۲۰۰۲ استخراج و تعیین شد. سپس برای هر کدام از حوضه های رتبه هفت با روی هم گذاری لایه پهنه سیل گیر و لایه مرز حوضه های رتبه هفت مساحت پهنه سیل برای هر کدام از حوضه های رتبه هفت استخراج شد. شکل (۴-۴) درصد مساحت و جدول (۴-۱۷) میزان مساحت پهنه های سیل گیر را در حوضه های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری نشان می دهند. همان طور که ملاحظه می شود، در این شکل پراکندگی پهنه های سیل گیر در هر حوضه قابل شناسایی است.



شکل (۴-۴): درصد مساحت پهنه‌های سیل‌گیر در حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری

جدول (۴-۱۷): مساحت پهنه‌های سیل در حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری

کد حوضه رده هفت	مساحت - کیلومتر مربع	مساحت پهنه خطر سیل - ۲km	کد حوضه رده هفت	مساحت - کیلومتر مربع	مساحت پهنه خطر سیل - ۲km
۲۳۲۴۴۳	۴۹۹/۶۴	۰/۶۰	۴۲۱۷	۸۱۴/۴۸	۱۰/۸۱
۲۳۲۴۵۱	۳۴۰/۰۷	۶/۸۲	۴۲۱۹	۱۴۸۹/۹۸	۷/۷۹
۲۳۲۴۵۲	۵۹۸/۹۹	۰/۲۷	۲۳۲۳۱	۱۶۶۲/۳۳	۷/۴۲
۲۳۲۴۵۳	۵۶۶/۱۴	۳/۰۰	۲۳۲۴۲	۲۱۹۷/۹۶	۲۴/۵۱
۲۳۲۴۶۱	۱۰۲۳/۱۶	۰/۲۰	۲۳۲۴۳	۷۹۳/۹۰	۷/۴۳
۲۳۲۴۷۱	۹۴۹/۲۳	۱۰/۵۹	۲۳۳۲۲	۱۲۵۸/۱۹	۱/۰۶
۲۳۲۴۷۳	۱۲۴۲/۹۴	۹/۲۱	۲۳۳۲۳	۲۸۸۴/۵۶	۰/۹۹
۲۳۲۴۷۲۱	۱۱۰/۳۵	۷/۰۲	۴۲۱۸۳	۳۷۰/۱۴	۱/۵۹
۲۳۲۴۷۲۲	۳۱۴/۶۹	۰/۲۳	۲۳۲۳۲۱	۸۴۵/۹۴	۲/۰۹
۲۳۲۴۷۴۱	۳۹۳/۹۴	۸/۳۹	۲۳۲۴۱۱	۱۸۷/۲۵	۱/۴۶
۲۳۲۴۷۴۳	۶۵۶/۷۷	۴/۳۶	۲۳۲۴۴۱	۹۷۵/۴۹	۹/۵۴
			۲۳۲۴۴۲	۸۴۷/۷۸	۰/۲۱

#### ۴-۶- بررسی خسارات سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری

اطلاعات پایه موردنیاز در تحلیل فراوانی رخداد‌های سیل از بانک اطلاعات سیل استفاده شده است. به‌منظور مقایسه خسارات سیل حوضه‌ها نیاز به تبدیل انواع خسارت به مبنای ریالی است. خسارت سیل شامل خساراتی که براساس رویداد وقوع سیل به اماکن، سازه‌ها، پل‌ها، راه‌ها و خسارت به بخش‌های زراعی و دامی در حوضه

است. جدول (۴-۱۸) مقدار خسارات برآورد شده را برحسب ریال در حوضه‌های کارون و گاوخونی نشان می‌دهد

جدول (۴-۱۸): خسارات و تلفات برآورده شده از سیل‌های ثبت شده

کد حوضه	نام حوضه	تعداد وقوع سیل	تلفات انسانی (نفر)	خسارت (هزار میلیون ریال)
۴۲۱۶	زاینده رود میانی ۲	۰	۰	۰

با تقسیم خسارات برآورده شده هر زیر حوضه بر جمعیت آن خسارات ویژه نیز و برای محاسبه تلفات ویژه، با تقسیم تعداد افراد کشته شده در سیل بر جمعیت حوضه به دست آمد که نتایج آن در جدول (۴-۱۹) ارائه شده است. نتایج فراوانی وقوع سیل، میزان خسارات و تلفات ناشی از سیل، شناسایی و پهنه سیل، تعیین مراکز مسکونی و جمعیت در معرض سیل در حوزه‌های رتبه هفت در جدول (۴-۱۹) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱۹): عوامل و مؤلفه‌های خسارت سیل در حوضه‌های دارای سیل و تلفات ثبت شده

کد حوضه	نام حوضه	تعداد وقوع سیل	پهنه سیل (km <sup>2</sup> )	خسارات ویژه (میلیون ریال بر نفر)	تلفات ویژه (در هر میلیون نفر)	جمعیت در معرض سیل (در هزار نفر)	تراکم مراکز مسکونی در معرض سیل (در هر هزار کیلومتر مربع)
۴۲۱۶	زاینده رود میانی ۲	۰	۷۵/۹۷	۰	۰	۸۱۳	۵۸

#### ۴-۷- بررسی طبقات خطر سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری

طبقات خطر سیل مطابق روش تحقیق بررسی و تعیین شد. بدین منظور با استفاده از امتیازبندی خطر سیل براساس شاخص‌های جداول (۳-۵) تا (۳-۷) حوضه‌های کشور نسبت به تعیین خطر سیل اقدام شد. جدول (۴-۲۰) مساحت طبقات خطر سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری را نشان می‌دهند.

جدول (۴-۲۰): مساحت طبقات خطر سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری

مساحت طبقات خطر سیل در حوضه‌های استان چهارمحال و بختیاری							
کد حوضه‌های رده هفت	عادی	نسبتاً خفیف	خفیف	متوسط	نسبتاً شدید	شدید	خیلی شدید
۴۲۱۷					۱۰/۸۱		
۴۲۱۹					۷/۷۹		
۲۳۲۳۱					۷/۴۲		
۲۳۲۴۲					۲۴/۵۱		
۲۳۲۴۳					۷/۴۳		
۲۳۳۲۲				۱/۰۶			
۲۳۳۲۳				۰/۹۹			
۴۲۱۸۳					۱/۵۹		
۲۳۲۳۲۱					۲/۰۹		
۲۳۲۴۱۱					۱/۴۶		
۲۳۲۴۴۱					۹/۵۴		
۲۳۲۴۴۲					۰/۲۱		
۲۳۲۴۴۳					۰/۶		
۲۳۲۴۵۱					۶/۸۲		
۲۳۲۴۵۲					۰/۲۷		
۲۳۲۴۷۳					۳		
۲۳۲۴۶۱					۰/۲		
۲۳۲۴۷۱					۱۰/۵۹		
۲۳۲۴۷۳					۹/۲۱		
۲۳۲۴۷۲۱					۷/۰۲		
۲۳۲۴۷۲۲					۰/۲۳		
۲۳۲۴۷۴۱					۸/۳۹		
۲۳۲۴۷۴۳					۴/۳۶		
کل مساحت (km <sup>۲</sup> )				۲/۰۴	۱۲۳/۵۴		

#### ۴-۸- طبقه‌بندی حوزه‌های آبخیز استان چهارمحال و بختیاری از نظر شدت سیل خیزی

با توجه به کلاس‌های تعریف‌شده جدول (۳-۸) و نیز مقادیر دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای در دوره بازگشت

۵۰ ساله به‌عنوان شاخص شدت سیل خیزی حوضه‌های رده هفت (جدول (۴-۱۵) طبقات شدت سیل خیزی

برای هر کدام از حوضه‌های رتبه هفت استان چهارمحال و بختیاری محاسبه و تعیین شد. جدول (۴-۲۱) مقادیر دبی ویژه هر حوضه را به همراه طبقه شدت سیل نشان می‌دهد.

جدول (۴-۲۱): شدت سیل خیزی حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری

شدت سیل خیزی حوضه‌های رده هفت استان		
شدت سیل	دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ ساله	حوضه رده ۷
خیلی کم	۰/۰۹	۴۲۱۶
متوسط	۰/۳۵	۴۲۱۷
زیاد	۰/۶۴	۴۲۱۹
خیلی زیاد	۰/۸۲	۲۳۲۲۱
طغیانی	۳	۲۳۲۲۲
طغیانی	۱/۳۵	۲۳۲۳۱
طغیانی	۱/۱۴	۲۳۲۴۲
طغیانی	۲/۳۴	۲۳۲۴۳
طغیانی	۱/۳۷	۲۳۳۲۲
کم	۰/۱۶	۲۳۳۲۳
طغیانی	۱/۴۷	۲۴۱۲۴
خیلی کم	۰/۱۵	۴۲۱۵۱
خیلی زیاد	۰/۹۸	۴۲۱۸۳
خیلی زیاد	۰/۹۵	۲۳۲۳۲۱
طغیانی	۱/۲۳	۲۳۲۳۲۳
طغیانی	۹/۱۸	۲۳۲۴۱۱
طغیانی	۱/۹۶	۲۳۲۴۱۲
خیلی کم	۰/۱۵	۲۳۲۴۱۳
طغیانی	۱/۹۸	۲۳۲۴۴۱
طغیانی	۱/۷۸	۲۳۲۴۴۲
زیاد	۰/۵۷	۲۳۲۴۴۳
طغیانی	۱/۶۲	۲۳۲۴۴۴
طغیانی	۵/۴	۲۳۲۴۵۱
طغیانی	۳/۲۲	۲۳۲۴۵۲
طغیانی	۳/۳۸	۲۳۲۴۵۳
خیلی زیاد	۰/۸۲	۲۳۲۴۶۱
طغیانی	۲/۰۵	۲۳۲۴۶۲
کم	۰/۲۱	۲۳۲۴۷۱
طغیانی	۱/۱۱	۲۳۲۴۷۳

شدت سیل خیزی حوضه‌های رده هفت استان		
شدت سیل	دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ ساله	حوضه رده ۷
طغیانی	۲/۸۸	۲۳۲۴۷۲۱
طغیانی	۵/۹۵	۲۳۲۴۷۲۲
طغیانی	۴/۷۷	۲۳۲۴۷۴۱
طغیانی	۴/۴۷	۲۳۲۴۷۴۲
طغیانی	۱/۹۳	۲۳۲۴۷۴۳

#### ۴-۹- نتایج وضعیت کاربری در کلاس‌های مختلف شدت سیل

با توجه به این که کاربری اراضی نقش مهمی در وضعیت شدت سیل هر حوضه‌ای دارد لذا پس از همپوشانی لایه شدت سیل با لایه کاربری اراضی استان چهارمحال و بختیاری نتایج آن در جدول (۴-۲۲) ارائه می‌شود.

جدول (۴-۲۲): نتایج همپوشانی لایه شدت سیل با لایه کاربری اراضی

نتایج همپوشانی لایه شدت سیل با لایه کاربری اراضی					
کاربری	شدت کم	متوسط	شدت زیاد	شدت خیلی زیاد	مساحت کل کاربری - km <sup>۲</sup>
باغ	۵/۲۵	۳۷/۲۴	۵/۹۴	۳۸/۵۷	۸۷
جنگل با پوشش متوسط	۱۷۰/۳۲		۲۲۲/۲۱	۱۳۶۲/۳۲	۱۸۰۴/۸۵
جنگل تنک	۳۲۹/۲	۰/۱۸	۱۴۰/۲۶	۲۱۲۷/۵۳	۲۵۹۷/۱۸
جنگل متراکم	۱/۷۶			۹۴/۴۵	۹۶/۲۲
زراعت	۳۷۱/۹۳	۲۷۷/۵۶	۳۲۳/۲۸	۲۰۸۲/۵۴	۳۰۳۵/۳
زراعت دیم	۳۸/۴۲	۴۶/۲۱	۷۳/۹۹	۳۰۴/۲۶	۴۶۲/۸۸
اراضی بدون پوشش گیاهی	۱۱/۱۹			۱۷۴/۴۲	۱۸۵/۶۲
محدوده‌های آبی				۲۹/۳۷	۲۹/۳۷
مرتع خوب				۳۱/۵	۳۱/۵
مرتع فقیر	۴۴۰/۳۹	۰	۱۰۰/۴۸	۳۱۹۲/۶۴	۳۷۳۳/۵
مرتع متوسط	۶۹۲/۶۱	۲۴۶/۷۶	۱۵۳/۰۴	۳۰۳۳/۸۵	۴۱۲۶/۲۵
مناطق شهری	۱۶/۶۳	۸/۳۲	۲/۲۱	۸۲/۹۷	۱۱۰/۱۲
مساحت کل کلاس شدت سیل - km <sup>۲</sup>	۲۰۵۷/۷	۶۱۶/۲۶	۱۰۷۱/۴	۱۲۵۵۴/۴۱	۱۶۲۹۹/۷۸

#### ۴-۱۰- تلفیق نتایج و معرفی اطلس سیل

یکی از ویژگی‌های بسیار مهم حوزه آبخیز، قابلیت سیل‌خیزی آن است. برآورد و نمایش شدت سیل‌خیزی توأم با ویژگی‌هایی نظیر آستانه شروع رواناب، دبی ویژه با دوره بازگشت‌های مختلف، حجم سیل، خسارات و تلفات سیل، جمعیت و تراکم مراکز مسکونی در معرض سیل و تعداد وقوع سیل‌های دارای تلفات، نمایش خصوصیات سیل‌خیزی در حوزه‌های آبخیز کشور و روابط برآورد سیل طراحی از جمله اهداف انجام در طرح است. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات نقطه‌ای و پهنه‌ای، آستانه شروع رواناب، شدت و خطر سیل برآورد و سپس در دو دسته‌بندی ارائه شد. دسته‌بندی اول دارای هفت طبقه خطر سیل و نه طبقه شدت سیل‌خیزی و دسته‌بندی دوم در چهار کلاس طبقه خطر سیل و چهار کلاس شدت سیل‌خیزی ارائه شد. طبقات خطر سیل شامل عادی، نسبتاً خفیف، خفیف، متوسط، نسبتاً شدید، شدید و خیلی شدیدو طبقات شدت سیل‌خیزی نیز شامل کلاس‌های ناچیز، خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد، خیلی زیاد و طغیانی است. همچنین در دسته‌بندی دوم خطر سیل شامل کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد و شدت سیل‌خیزی شامل کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد است. در این اطلس عوامل هواشناسی و هیدرولوژیکی شامل حجم کل جریان، حجم کل رواناب سطحی سالانه و ضرایب رابطه شدت - مدت - فراوانی برای بارش با دوره بازگشت تا ۵۰ ساله برای حوضه‌های رده هفت استان چهارمحال و بختیاری نمایش داده شده است. همچنین، براساس تحلیل منطقه‌ای و احتمالاتی، دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف، آستانه شروع رواناب و فرمول‌های تجربی محاسبه سیل طراحی در شرایط مختلف برای هرکدام از حوضه‌های رتبه هفت برآورد و ارائه شده است. جداول (۴-۱۴) و (۴-۱۵) نتایج کلاس‌های ترکیب شده را نشان می‌دهند.

نقشه اطلس سیل با دو دسته اطلاعات شامل اطلاعات نقطه‌ای و اطلاعات پهنه‌ای تنظیم و تهیه شد. اطلاعات مندرج در نقشه اطلس سیل شامل شدت سیل‌خیزی است که برای هر حوضه رتبه هفت به صورت یک رنگ که نمایان‌گر شدت سیل‌خیزی است در زمینه نقشه ارائه شده است. همچنین طبقات خطرات سیل در پهنه‌های وقوع سیل با رنگ‌های معینی ارائه شده‌اند. علاوه بر دو نوع اطلاعات پهنه‌ای فوق، اطلاعات مربوط به ویژگی رگبارهای شش ساعته به‌عنوان رگبار شاخص در محل ایستگاه‌های سینوپتیک نمایش داده شده است.

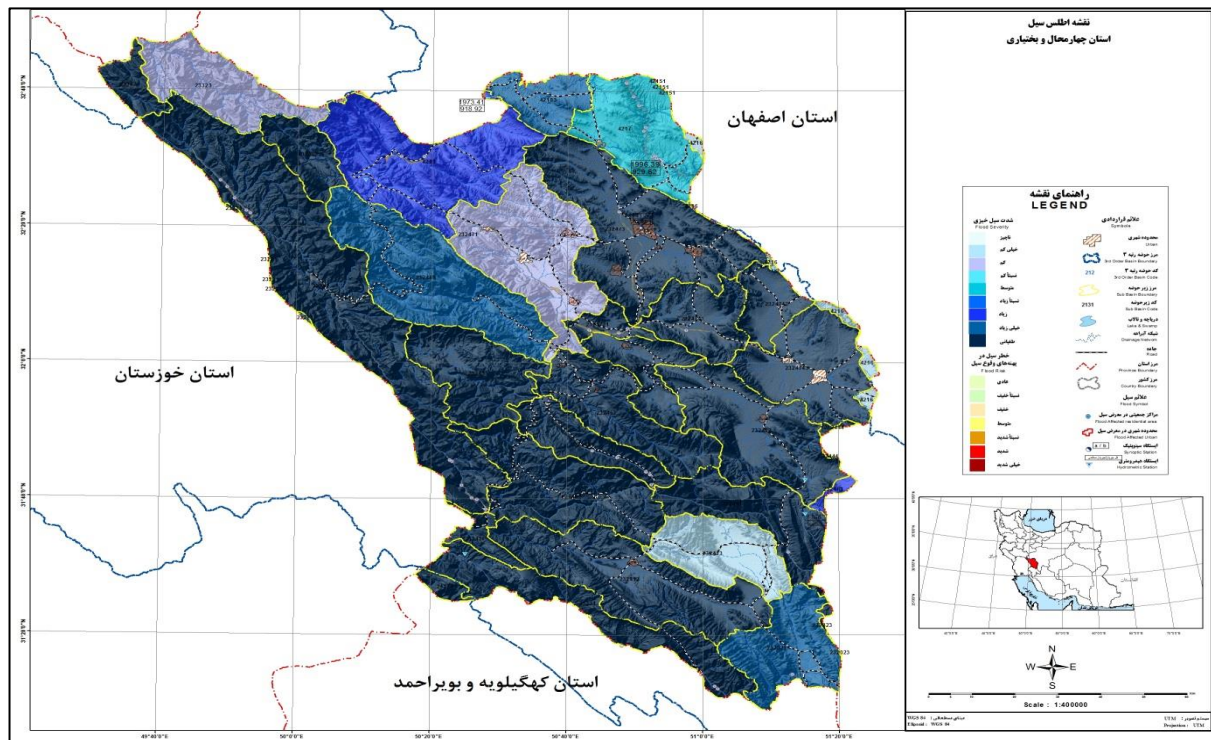
همچنین در محل ایستگاه‌های هیدرومتری ویژگی‌های جریان سالانه با دوره بازگشت ۵۰ ساله شامل حجم کل جریان و حجم مؤلفه رواناب سالانه ارائه شده است. شکل (۴-۵) اطلس سیل استان چهارمحال و بختیاری را براساس روش طبقه‌بندی تعریف شده در دست‌بندی اول (مطابق جداول ۳-۷ و ۳-۸) و شکل (۴-۶) اطلس سیل استان را در دسته‌بندی دوم (مطابق ردیف دوم جداول ۴-۲۳ و ۴-۲۴) نشان می‌دهد.

جدول (۴-۲۳): ترکیب کلاس‌های شدت سیل برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و نمایش در اطلس سیل

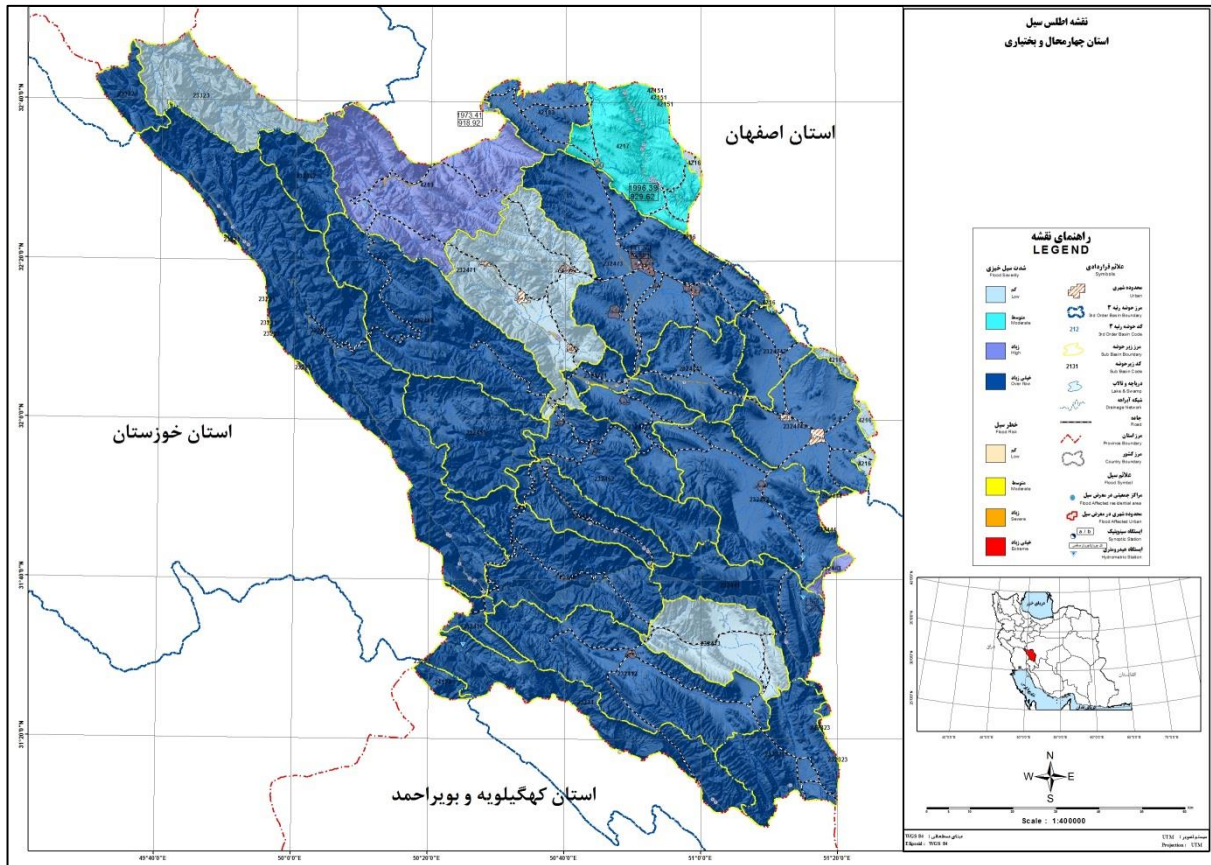
کلاس شدت سیل در طبقه‌بندی اول							
طغیانی	خیلی زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً کم	کم	خیلی کم
خیلی زیاد		زیاد	متوسط		کم		

جدول (۴-۲۴): ترکیب کلاس‌های خطر سیل برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و نمایش در اطلس سیل

کلاس خطر سیل در دسته‌بندی اول						
خیلی شدید	شدید	نسبتاً شدید	متوسط	خفیف	نسبتاً خفیف	عادی
خیلی زیاد	زیاد		متوسط		کم	



شکل (۴-۵): نقشه اطلس سیل استان چهارمحال و بختیاری براساس طبقه‌بندی ۹\*۷ خطر سیل و شدت سیل -



شکل (۴-۶): اطلس سیل استان چهارمحال و بختیاری براساس کلاس‌های ترکیب شده خطر و شدت سیل با طبقه -

بندی ۴\*۴ خطر سیل و شدت سیل خیزی

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

### ۵-۱- تحلیل نتایج

در این پژوهش بررسی عوامل مهم و نیز نحوه تهیه اطلس حوضه‌های رتبه‌های هفت استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. در این راستا در بخش‌های مختلف پژوهش پارامترهای هیدرولوژیکی مختلف از جمله آستانه شروع رواناب، دبی بیشینه لحظه‌ای حوضه‌ها، شدت سیل‌خیزی و کلاس خطر مورد بررسی و نتایج پژوهش ارائه شد. نتایج تحقیق در برآورد آستانه شروع رواناب با استفاده از مدل AWBM نشان داد که بیشترین مساحت استان دارای آستانه شروع رواناب بین ۵ تا ۱۰ میلی‌متر است. این محدوده آستانه شروع رواناب در استان چهارمحال و بختیاری قریب ۷۵/۲۶ درصد کل حوضه‌های استان است (شکل ۴-۲).

بنابراین، با توجه این‌که هرچه آستانه شروع رواناب کمتر باشد نشان از قابلیت نفوذپذیری کمتر و در نتیجه سیل‌خیزی بیشتر است، بیشتر پهنه‌های حوضه‌های استان مستعد تبدیل بارش به رواناب است. همچنین نتایج پژوهش (جدول ۴-۱ و ۴-۲) نشان داد که بالاترین مقدار آستانه شروع رواناب در حوضه کد ۴۲۱۵۱ برابر با ۱۵ میلی‌متر است که دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای آن برابر با ۰/۱۴ مترمکعب بر ثانیه در کیلومترمربع برآورد شده است. کمترین مقدار آن نیز در حوضه‌های ۲۴۱۲۴، (کارون گته) ۲۳۲۴۴۱، ۲۳۲۴۷۱ برابر با ۲ میلی‌متر است که دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای آن‌ها به ترتیب ۱/۴۷، ۱/۹۸، ۰/۲۱ مترمکعب بر ثانیه در کیلومترمربع است. همچنین حوضه‌های ۲۳۲۴۵۱، ۲۳۲۴۵۳، ۲۳۲۴۱۱ با ۵ میلی‌متر مقدار آستانه دارای دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای به ترتیب ۴۰/۳۸، ۱۸/۳، ۹/۵ مترمکعب بر ثانیه در کیلومترمربع هستند.

نتایج دیگر پژوهش نشان می‌دهد که از بین حوضه‌های استان، حوضه کارون گته (کد ۲۳۲۴۴۱) با مساحت ۱۸۷ کیلومترمربع در محدوده استان با دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای ۹/۱۸ مترمکعب بر ثانیه در کیلومترمربع دارای بیشترین مقدار و حوضه زاینده‌رود میانی ۲ (کد ۴۲۱۶) با مساحت ۳۳۹۷/۷۴ کیلومترمربع در محدوده استان با دبی ۰/۰۹ مترمکعب بر ثانیه در کیلومترمربع دارای کمترین دبی ویژه بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت ۵۰ ساله هستند.

با توجه به این که هرچه آستانه شروع رواناب در مدل برآورد بارش رواناب AWBM کمتر باشد نشان از نفوذناپذیری بیشتر و در نتیجه سیل خیزی بیشتر دارد، مقدار آستانه شروع رواناب در حوضه‌های با شدت سیل خیزی طغیانی بین ۲ تا ۷ میلی‌متر که شامل حدود ۶۵ درصد حوضه‌های کارون و گاوخونی است. بیشترین کاربری در سطح استان به مراتع (حدود ۴۸ درصد مساحت) و سپس به کاربری زراعت (حدود ۲۱ درصد سطح استان) تعلق دارد. نتایج همپوشانی لایه شدت سیل با لایه کاربری اراضی نشان می‌دهد (جدول ۴-۲۲) که شدت سیل با کاربری مراتع (۵۰ درصد) و زراعت (۱۶ درصد) دارای بیشترین همپوشانی است. بنابراین شیب و کاربری اراضی مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر شدت سیل خیزی هستند.

به‌طور کلی تعداد مدل‌های ارائه‌شده در مناطق مرطوب بیش از مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده است، چون در مناطق خشک فقط داده‌های ثبت شده سیلاب‌های فصلی و ناگهانی موجود است (Lang و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین پیشنهاد مدلی با دقت قابل قبول برای این مناطق مهم می‌کند. از طرفی با توجه به تعدد مدل‌های هیدرولوژیکی، انتخاب مناسبترین مدل برای هر منطقه کاری دشوار است. مدل‌هایی که با در نظر گرفتن کمبود و نواقص آمار طولانی مدت و دقیق بتوانند نتایج قابل قبولی را ارائه دهند، می‌توانند به‌عنوان ابزاری قابل اتکا در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گیرند.

## فهرست منابع:

- ابراهیمی، ن. اسلامی، ع.، و شریفی، ف. ۱۳۹۴. مدل برآورد آستانه شروع رواناب با استفاده از شبیه‌ساز باران در کرت‌های صحرایی. فصلنامه مهندسی و مدیریت آبخیز. دوره: ۷، شماره ۲. ص. ۲۱۱-۲۲۲. <https://civilica.com/doc/1360995>.
- اورشم، ع. ۱۳۷۵. مقایسه رواناب - رسوب سازندهای مختلف زمین‌شناسی با استفاده از دستگاه‌های باران‌ساز (در حوزه آبخیز ابوالفارس رامهرمز- خوزستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- پرهمت. ج. ۱۳۹۵. گزارش نهایی طرح ملی اطلس مکانی و زمانی سیل در حوضه‌های رده ۷. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- پرهمت. ج.، مهدیان م.، غفوری‌روزبهانی ع.، غیائی ن.، قرمزچشمه ب. ۱۳۹۴. گزارش نهایی طرح ملی بررسی و تعیین پارامترهای تلفات بارش و بارش مازاد در حوضه‌های معرف نه استان. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- تلوری. ع.، ۱۳۷۵. مدل‌های هیدرولوژی به زبان ساده. تهران: موسسه تحقیقات جنگل و مرتع
- چرخابی. ا.، اسکندری ذ.، ۱۳۸۲. نقش رطوبت خاک و زمان بارندگی بر ایجاد روان آب و رسوب. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران ۱۲- ۹ شهریور ۱۳۸۲ رشت. ۸۹۹-۹۰۱.
- حجازی. ا.، و مزبانی م.، ۱۳۹۴. برآورد مقادیر ارتفاع و دبی بیشینه رواناب با استفاده از روش شماره ی منحنی (CN) مطالعه ی موردی: حوضه ی آبریز سراب دره شهر، دوره ۲ شماره ۵، ص. ۶۳-۸۱. <https://civilica.com/doc/1592217>.
- خامچین م.، حجت رضایی پ.، ۱۳۸۸. نقد روش اقلیم‌بندی دومارتین برای بارش بیشینه روزانه در ایران به کمک روش گشتاورهای خطی. مجله فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد دوره دوم. شماره دوم تابستان.
- داغستانی. پ.، ۱۳۷۶. اثر عوامل فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوزه‌ها بر سیلاب‌های بیشینه در منطقه شمال (گیلان و مازندران). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران .
- رضایی کلج م.، ۱۳۷۹. عوامل مؤثر بر سیل خیزی حوزه آبخیز کن و اولویت بندی زیرحوضه‌ها. پایان نامه کارشناسی ارشد. مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره).
- رضیئی. ط.، ۱۳۹۶. منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم. فیزیک زمین و فضا. دوره ۴۳. شماره ۲. مرداد ۱۳۹۶. ص. ۴۱۹-۴۳۹. [58916.2017jesphys.10.22059](http://jesphys.iauct.ac.ir/10.22059.58916.2017) .
- رهنما ا.، ۱۳۷۸. برآورد رواناب سطحی در حوضه آبریز بشار به روش CN با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده علوم انسانی.
- روغنی م.، ۱۳۷۸. بررسی تأثیر مکانی حوزه بر روی دبی اوج سیلاب با استفاده از GIS و مدل روندیابی آب RAFT در حوزه آبخیز رودک (لتیان). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- رئیسیان ر.، ۱۳۸۴. بررسی تاثیر شیب. رطوبت خاک و کابری اراضی بر زمان شروع رواناب. مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی فرسایش و رسوب. صفحه ۳۰۵-۳۰۹. تهران- ایران.

- سرلک ع.، ۱۹۹۴. بررسی عوامل مؤثر بر خصوصیات سیل در حوضه آبخیز قره آغاج شیراز.
- شریفی ف.، ارونندی ش.، ۱۳۹۸. ارزیابی فرایندهای هیدرولوژیکی با تحلیل داده‌های اندازه‌گیری و مدل‌های شبیه‌سازی در حوضه‌های آبخیز استان گلستان. مدیریت مهندسی آبخیز. دوره ۱۱. شماره ۱ فروردین ۱۳۹۸ ص. ۴۳-۶۱ <https://doi.org/10.22092/ijwmse.22092.10>
- شریفی ف.، ۱۳۹۴. (گزارش نهایی طرح ملی فرایند های هیدرولوژیکی مناطق نیمه مرطوب و مرطوب در ایران. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری)
- شریفی ف.، ۱۴۰۱. (گزارش نهایی طرح ملی تحت عنوان پروژه: تهیه و یکپارچه سازی نقشه‌ها و داده‌های رقومی حوضه های رده هفت کشور و توسعه پایگاه داده‌های مکانی و زمانی موضوعی مرتبط با ظرفیت آبی - پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری- ۱۴۰۱)
- شکل‌آبادی م.، ۱۳۷۹. بررسی فرسایش‌پذیری نسبی خاک برخی از سازندهای زمین‌شناسی و رابطه آن با تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در حوضه آبخیز گل‌آباد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- صفاریپور ش.، ۱۳۸۱. تخمین آستانه شروع رواناب با استفاده از شبیه‌سازی داده‌های بارش و رواناب، پایان‌نامه (کارشناسی ارشد)--دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده منابع طبیعی.
- طهماسبی ر.، ۱۳۸۱. جمع‌آوری آب باران وسیله‌ای کاربردی برای طراحی سیستم‌های حفاظت و بهره‌برداری از آب. پایان‌نامه دکتری رشته آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات-تهران
- عباسی ع.، و پرهت ج.، ۱۳۹۵. عوامل مؤثر در آستانه شروع رواناب در حوضه‌های آبخیز کوچک. ص. ۳۳-۳۸ <https://civilica.com/doc/1730778>
- فتحیان ف.، و احمد زاده ح.، ۱۳۹۱. تحلیل فراوانی منطقه ای سیلاب با استفاده از روش گشتاورهای خطی براساس تحلیل خوشه بندی در حوضه دریاچه ارومیه.
- فیضی ح.، و اسلامیان س.، ۱۳۸۴. مقایسه روش های ایستگاهی و منطقه‌ای گشتاورهای خطی در برآورد بارندگی‌های بیشینه ماهانه حوضه زاینده‌رود. مجله آب و فاضلاب. سال شانزدهم. شماره ۵۴.
- قدوسی ح.، و کوشافر ل.، ۱۳۹۶. پیش‌بینی و مقایسه دبی بیشینه لحظه ای سیلاب در دوره بازگشت های مختلف با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS در حوضه چشمه کیله. چهارمین کنفرانس و نمایشگاه محیط زیست. تهران. <https://civilica.com/doc/647130>
- کارآموز م.، و عراقی نژاد. ش.، ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. تهران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران).
- کاظمی ر.، و پرهت ج.، و شریفی ف.، ۱۳۹۷. پهنه بندی آستانه شروع رواناب با استفاده از شبیه سازی در حوضه‌های رده هفت استان کرمان. سومین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت «پایش و ارزیابی منابع و مدیریت آن‌ها در حوضه‌های آبخیز». تهران. <https://civilica.com/doc/908293>

- کانونی ا.، . ۱۳۷۷. تخمین رواناب سالانه با استفاده از عوامل هواشناسی و خصوصیات فیزیکی حوضه‌ها در استان فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.
- مهدوی م.، . ۱۳۷۴. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۰۱ صفحه.
- نجفی، م.، شیخی‌وند، ر. و پرهمت، ج.، ۱۳۸۳. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های برف‌گیر. مطالعه موردی: حوضه سد مهاباد. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۱. شماره ۳. صفحات ۱۱۱-۱۲۲.
- نژادعنبیری ج.، . ۱۳۷۷. تخمین ضرایب رواناب در حوضه‌های آبریز دریای خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- Bissonnais, Y.L., and Singer Michael J., 1993. Seal Formation, Runoff, and Interrill Erosion from Seventeen California Soils. *Soil Sci Soc Am J* 57: 224-229
- Boughton, W. C., and Droop O., 2003. Continuous Simulation for Design Flood Estimation - A Review, *Journal of Environmental Modeling & Software*, Vol.10
- Boughton, W.C., 1993. A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. *Institution of Engineers, Australia*, 93/14: 317-324.
- Campalo M., Andreussi, P., Soldatiarina, A., 1999.. Rive flood forecasting with a neural network model, *Water Res. Res. Volume35, Issue4 April 1999 Pages 1191-1197*
- Chander, G., Markham, B. L., and Helder, D. L., 2009. Summary of Landsat-5 and Landsat-7 Thematic Mapper data performance. *Remote Sensing of Environment*, 113(6), 1302-1315.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Dalrymple, T., 1960. Flood-Frequency Analyses. *US Geological Survey Water-Supply Paper 1543-A*. Reston, VA, USA.
- Giordanengo, J., 2000. Dissipation of amitoral on Capricornia rights-of way, *sacramento*, 5: 26-30.
- Gray, D.M., 1970. *Handbook on the Principles of Hydrology*, Water Information Center. Inc., New York.
- Gross, C.M., Angle, J.S., Hill, R. L., Welterlen, M., 1991. Runoff and sediment losses from tall fescue under simulated rainfall.
- Hewlett, J.D., and Hibbert, A. P., 1967. Factors Affecting Response of Small Watersheds to Precipitation in Humid Areas, In *Forest Hydrology*, Edited by W.E. Sopper and H. W. Lull, pp. 275-290, Pergammon, New York
- Hills, B., 1972. Flash floods source. *National Weather Service*.
- Hjelmfelt, A.T., and Kramar, L.A., 1992. Unit hydrograph variability for small agricultural watershed. *Modeling Agricultural, Forest and Rangeland Hydrology*, 354-366.
- Horton, R.E., 1933. The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle, *EOS, Transactions of American Geophysical Union*, V 01. 14, pp. 446-460.
- Johnson, A.K.L., and Murray, A.E., 2004. Modelling the spatial and temporal distribution of rainfall: a case study in the wet and dry tropics of North East Australia. *Australian Geographer*, 35(1):39-57.
- Kamphorst, A., 1987. A small rainfall simulator for the determination of soil erobility. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 35: 407-415.

- Karnieli, A., & Ben-Asher, J., 1993. A Daily Runoff Simulation in Semi-arid Watersheds Based on Deficit Calculations. *J. Hydrology* 149: 9-25.
- Kirkby, M., 2001. Modeling the Interactions Between Soil Surface Properties and Water. Elsevier. *Catena* 89-102.
- Lang, J., Schick, A. P., and Leibundgut, C., 1999. A Noncalibrated Rainfall-Runoff Model for Large, Arid Catchments, *Water Resource Research*, 35(7): 2126-2177.
- Maidment, D., 1996. Regression relationship between discharges & geometric parameters, U.S.A conference, p.p 68-69.
- Maidment, D., 1992. Handbook of hydrology, McGraw Hill Book Company, USA, 551pp.
- Martinez, M., 1998. Factors Influencing Surface Runoff Generation in a Mediterranean Semi-arid Environment: Chicamo Watershed Spain. *12(5): 741-745.*
- Miller, J.B., and Newson, M.D., 1975. Flood estimation from catchment characteristics, proceed flood studis confrence London, p.57-61.
- Ponce, V.M., & Shetty, A.V., 1995. A Conceptual Model of Catchments Water Balance: 2 Application of Runoff and Base flow Modeling. *J. Hydrology* 173:41-50.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. J., Anderson, M. C., and Zhu, Z., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154-172.
- Seeger, M., 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations", *Catena*, 56:56-67.
- Sharifi, F., 1997. Evaluation of Three Continuous Rainfall-Runoff Models, A New Approach. Proceeding of the 8th International Conference on Rainwater Catchments Systems, 416-432.32-
- Sharifi, F., and Boyd, M.J., 1994. A Comparison of the SFB and AWBM Rainfall-Runoff Models, 25<sup>th</sup> Congress of The International Association of Hydrogeologists/ International Hydrology & Water Resources Symposium of The Institution of Engineers, Australia. Adelaide. 21-25 November, pp:491- 495.
- Shenzhen, A., 2002. An Assessment of Continuous Modeling for Water Management, (<http://202.136.24/>)
- Shu, C., and Ouarda, T. B. M. J., 2008. Regional flood frequency analysis at ungauged sites using the adaptive neuro-fuzzy inference system.
- Tsujimoto, T., 1999. Fluvial processes in streams with vegetal, abstract of papers. *JHR* volume 37.
- Ward, T.J., Bolton, S.M., 1991. Hydrology parameters for selected in Arizona and New Mexico as determined by rainfall simulation. New Mexico Water Resources Research Institute, NMSU, Box 30001, MSC 3167, Las Cruces, NM 88003, <http://wrri.nmsu.edu/publish/order.html>.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D., 1960. A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. Proc. 7th Inter. Congress Soil Science Soc. Vol. 1: 418-425.

**Abstract:**

Providing and completing spatial information on the natural characteristics of the watersheds of Chaharmahal and Bakhtiari province is one of the research and implementation necessities at the provincial level. Currently, there is scattered information that needs to be reviewed and updated to increase the accuracy of the information. Estimation and display of flood intensity along with features such as runoff initiation threshold, specific discharge with different return periods, flood volume, flood damages and casualties, population and density of residential centers exposed to floods and the number of floods with casualties, display of flood characteristics in the watersheds of the province and design flood estimation relationships are among the goals of the project. In this research, by using point and area information, the threshold of the start of runoff, the intensity and risk of flooding have been estimated and classified into four classes: low, medium, high and very high. In this atlas, meteorological and hydrological factors including total flow volume, total annual surface runoff volume and intensity-duration-frequency coefficients for rainfall with a return period of up to 50 years have been displayed. Also, based on regional and probabilistic analysis, the maximum instantaneous specific discharge with different return periods, threshold of runoff onset and empirical formulas for calculating the design flood have been estimated and presented for each of the basins of the seven provinces.

**Keywords:** Flooding, Flood Hazard, Threshold of Runoff Initiation, AWBM Model, Watersheds, Flood Intensity, Flood Damage

**Ministry of Agriculture Jihad  
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)  
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute  
(SCWMRI)**

---

**Title:** Preparation and Development of Atlas and Preparation of Temporal and Spatial Flood Data in the Seventh-Class Basins of Chaharmahal and Bakhtiari Province

**Author:** Abdolnabi Abdeh Kolahchi

**Editor:** Saeed Nabipay Lashkarian

**Document Formatting:** Abbas Sedigh

**Publisher:** Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.

**Circulation:** 10 Copies

**Date of Publication:** Summer 2025

This work was registered on ----- with ----- in the Agricultural Scientific Information and Documentation Center. Copyright is reserved. Quoting texts, images, tables, curves, and charts is allowed with proper citation.

**Ministry of Agricultural Jihad  
Agricultural Research, Education and Extension Organization  
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute  
(SCWMRI)**

**Technical Publication:**

Preparation and Development of Atlas and Preparation of Temporal and Spatial  
Flood Data in the Seventh-Class Basins of Chaharmahal and Bakhtiari Province

**Author:**

Abdolnabi Abduh Kolahchi

**Series Number:**

**1404**



Ministry of Agriculture - Jihad  
Agriculture Research, Education and Extension Organization  
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute



# Technical Report

**Preparation and Development of Atlas and  
Preparation of Temporal and Spatial Flood  
Data in the Seventh-Class Basins of  
Chaharmahal and Bakhtiari Province**

Series Number: 67958

2025