بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی کشاورزی
گروه آب و خاک
پایان نامه کارشناسی ارشد

شبیه‌سازی بارش_رواناب حوضه آبریز شیرگاه با استفاده از مدل wms

سید امین عمادی

استاد راهنما:

دکتر صمد امامقلی زاده

دکتر خلیل اژدری

استاد مشاور:

مهندس حسن علی اصغرزاده

تیر ۱۳۹۴

از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی چشمداشت برای من بوده‌اند؛

از استاد با کمالات و شایسته، جناب آقای دکتر صمد امامقلی زاده که در کمال سعه‌صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد صبور و با تقوا، جناب آقای دکتر خلیل اژدری، مدیریت محترم کرسی گروه که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی‌رسید؛

کمال تشکر و قدردانی را دارم باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهدنامه

اینجانب **سید امین عمادی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **آب و خاک دانشکده مهندسی کشاورزی** دانشگاه شاهرود نویسنده پایان‌نامه **شبیه‌سازی بارش_رواناب حوضه آبریز شیرگاه با استفاده از مدل wms** تحت راهنمائی **دکتر صمد امامقلی زاده** و **دکتر خلیل اژدری** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه شاهرود» و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند؛ در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است؛ ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

چکیده

هرساله شاهد وقوع سیلاب‌ها و طغیان رودخانه‌ها در سراسر جهان هستیم که باعث خسارات جانی و مالی، تخریب منازل مسکونی، نابودی باغات و زمین‌های زراعی می‌گردد. این پدیده‌ی طبیعی پژوهشگران و اندیشمندان را در دوره‌های گوناگون برآن داشته تا رابطه‌ای ریاضی میان میزان بارش معین و سیلاب متناظر با آن بیابند. در چند دهه‌ی اخیر با رشد سریع علم، مدل‌های هیدرولوژیکی جهت شبیه سازی بارش_رواناب گسترش یافتند این مدلها می توانند با حداقل داده ها به محاسبه‌ی حجم رواناب احتمالی، دبی‌اوج و زمان رسیدن به اوج بپردازند. یکی از این مدلها، مدل WMS می‌باشد مدل WMS یک مدل کارآمد هیدرولوژیکی می‌باشد که می‌تواند به صورت خودکار، خصوصیات فیزیوگرافیکی یک حوضه ی آبریز را محاسبه نماید. در این پژوهش به بررسی کارآیی مدل WMS و مدل‌سازی بارش_رواناب در حوضه‌ی آبریز کسیلیان شیرگاه پرداخته شد حوضه‌ی آبریز مذکور در استان مازندران در شمال ایران واقع شده است. در این پژوهش با بهره گیری از نقشه های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک، شماره ی منحنی (CN) محاسبه گردید و از آن در مدل سازی استفاده شد شبیه سازی بارش_رواناب یک بار تا زیرحوضه‌ی ولیک‌بن اجرا شد و سپس کل حوضه کسیلیان مدل سازی شد. بدین منظور از سه بارش برای زیرحوضه‌ی ولیک‌بن استفاده گردید که از یک بارش جهت واسنجی و از دو بارش دیگر جهت صحت سنجی استفاده شد سپس با استفاده از سه بارش دیگر در شبیه سازی بارش_رواناب در کل حوضه تا ایستگاه هیدرومتری شیرگاه انجام گرفت ابتدا با استفاده از روش هیدروگراف واحد SCS شبیه سازی انجام گرفت با آنکه داده های مشاهداتی و محاسباتی به هم نزدیک شدند اما برای دقت بالاتر از روش هیدروگراف واحد کلارک استفاده گردید و مدل کالیبره شد و پس از صحت سنجی مدل با دو بارش دیگر نتیجه گرفته شد که مدل WMS گزینه‌ی مناسبی جهت

شبیه سازی بارش_ رواناب درحوضه ی آبریز کسیلیان می باشد. لذا از این مدل می توان در تحقیقات آینده در حوضه ی کسیلیان استفاده نمود.

کلمات کلیدی: مدل WMS /HEC1، حوضه ی کسیلیان، هیدروگراف واحد کلارک، هیدروگراف واحد SCS، شماره ی منحنی CN

فهرست

فـصـل اول.....۱

کلیات پژوهش ۱

۱- کلیات پژوهش ۲

۱-۱) پیشگفتار.....۲

۱-۲) بیان مسئله ۳

۱-۳) ضرورت و اهمیت موضوع ۵

۱-۴) اهداف تحقیق ۷

۱-۵) متغیرهای تحقیق ۷

۱- ۶) قلمروی پژوهش ۸

۱-۶-۱) قلمروی موضوعی تحقیق.....۸

۱-۶-۲) قلمروی زمانی تحقیق ۸

۱-۶-۳) قلمروی مکانی تحقیق ۸

۱-۷) روش تحقیق.....۸

فـصـل دوم.....۱۱

پیشینه و سوابق پژوهش ۱۱

۲-۱) پیشینه و سوابق تحقیق ۱۲

۲-۱-۱) تحقیقات داخلی ۱۲

۲-۱-۲) تحقیقات خارجی.....۱۹

۲-۲) جمع بندی ۲۰

فصل سوم ۲۱

مواد و روش ها ۲۱

۳-۱) حوضه‌ی آبریز دریای مازندران ۲۲

۳-۲) مشخصات عمومی منطقه‌ی مورد مطالعه ۲٤
۳-۳) هواشناسی حوضه ۲۸
۳-۳-۱) مقدمه ای بر آب و هوای حوضه ۲۸
۳-۳-۲) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی ۲۹
۳-۳-۳) میزان بارش ایستگاه‌های هواشناسی ۳۱
۳-۳-۴) میانگین دمای سالانه حوضه ۳۲
۳-۳-۵) پارامترهای اقلیمی دیگر ۳۳
۳-۴) رودخانه‌ی کسیلیان ۳٤
۳-۴-۱) رده‌ی رودخانه‌ی حوضه ۳٤
۳-۴-۲)ایستگاه‌های هیدرومتری ۳٦
۳-۴-۳) آمار ایستگاه‌های هیدرومتری ولیک‌بن ۳٦
۳-۴-۴) ایستگاه هیدرومتری شیرگاه ۳٦
۳-۵) پوشش گیاهی حوضه‌ی کسیلیان ۳۷
۳-۶) خاک حوضه ۳۹
۳-۶-۱) بافت خاک ۳۹
۳-۶-۲) زمین‌شناسی و ساختار خاک حوضه ۳۹
۳-۷) شبیه‌سازی ٤۱
۳-۸) نرم‌افزار WMS در مدل‌سازی حوضه های آبریز ٤۱
۳-۸-۱) مدل HEC-1 ..... ٤۷
۳-۸-۱-۱) BASIN DATA ٤۷
۳-۸-۱-۲) بارش (PRECIPITATION) ٤۸
۳-۸-۱-۳) تلفات حوضه (LOSS METHOD) ٤۸
۳-۸-۱-۴) روش هیدروگراف واحد ٤۹

۳-۸-۱-۵) SNOW MELT DATA ٤٩
۳-۸-۱-۶) ROUTING DATA ٥٠
۳-۹) نرم افزار ARC VIEW /ARC GIS ٥٠
۳-۱۰) نرم افزار GLOBAL MAPPER..... ٥٠
فصل چهارم ٥٣
نتایج و بحث ٥٣
۴) نتایج و بحث..... ٥٤
۴-۱) مدل WMS/HEC_1 ..... ٥٤
۴-۱-۱) مقدمه ٥٤
۴-۲) ساختن DEM حوضه‌ی کسیلیان توسط GLOBAL MAPPER..... ٥٥
۴-۳) تغییر سیستم جغرافیایی در محیط WMS ٥٦
۴-۴) مشخص کردن مرز حوضه ٥٧
۴-۵) قابلیت ویرایش پستی و بلندی‌های حوضه در مدل WMS ٥٨
۴-۶) محاسبه‌ی خودکار پارامترهای فیزیوگرافیکی ٥٩
۴-۶-۱) خصوصیات فیزیوگرافیکی زیرحوضه‌ی ولیک‌بن ٦٠
۴-۶-۲)خصوصیات فیزیوگرافیکی حوضه‌ی کسیلیان ٦١
۴-۷) نقشه‌های مورد نیاز برای محاسبه شماره منحنی رواناب..... ٦١
۴-۷-۱) نقشه‌ی کاربری اراضی ٦١
۴-۷-۲) بافت خاک ٦١
۴-۷-۳) محاسبه‌ی CN مرکب ٦٤
۴-۸) بارش ٦٥
۴-۹) شبیه‌سازی بارش-رواناب ایستگاه ولیک بن ٦٧
۴-۹-۱) مقدمه ٦٧

۴-۹-۲) مرحله‌ی کالیبره نمودن ٦٧
۴-۹-۳) شبیه سازی به روش SCS CRUVE NUMBER در زیرحوضه‌ی ولیک‌بن ٦٩
۴-۹-۴) روش هیدروگراف واحد کلارک ٧١
۴-۹-۵) صحت سنجی نتایج مدل HEC-1 برای زیرحوضه‌ی ولیک بن ٧٣
۴-۱۰) شبیه‌سازی بارش-رواناب کل حوضه‌ی کسیلیان (شیرگاه) ٧٥
۴-۱۰-۱) مقدمه ٧٥
۴-۱۰-۲) مرحله‌ی کالیبره نمودن کل حوضه‌ی کسیلیان ٧٦
۴-۱۰-۳) هیدروگراف واحد کلارک در شبیه سازی حوضه‌ی کسیلیان ٧٨
۴-۱۰-۴) صحت سنجی برای حوضه‌ی کسیلیان (شیرگاه) ٨٠
فصل پنجم ٨٣
نتیجهگیری و ارائه‌ی پیشنهادات ٨٣
۵) نتیجهگیری و ارائه‌ی پیشنهادات ٨٤
۵-۱) نتیجهگیری ٨٤
۵-۲) پیشنهادات ٨٥
منابع و مآخذ ٨٦

فهرست جداول

فصل دوم
جدول (۲-۱) شماره منحنی مشاهداتی در ایستگاه ولیک‌بن ۱۸
فصل سوم
جدول (۳-۱) میانگین بارش سالیانه ایستگاه‌هاي هواشناسي حوضه و نزدیک‌ترین ایستگاه‌هاي سینوپتیک ۳۱
جدول (۳-۲) پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی حوضه و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک ۳۴
فصل چهارم
جدول (۴-۱) مشخصات فیزیوگرافیکی حوضه‌ی کسیلیان ۶۰
جدول (۴-۲) محاسبه‌ی خودکار CN مرکب توسط WMS ۶۴
جدول (۴-۳) ارتفاع بارش به همراه تاریخ وقوع ۶۵
جدول (۴-۴) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در اولین مرحله در ولیک بن ۷۰
جدول (۴-۵) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در دومین مرحله در ولیک بن ۷۱
جدول (۴-۶) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی نهایی شبیه‌سازی ولیک بن ۷۲
جدول (۴-۷) نتایج صحت سنجی در ایستگاه ولیک بن ۷۵
جدول (۴-۸) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی اول شبیه‌سازی در شیرگاه ۷۷
جدول (۴-۹) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی دوم شبیه‌سازی در شیرگاه ۷۸
جدول (۴-۱۰) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی چهارم شبیه‌سازی در شیرگاه ۸۰
جدول (۴-۱۱) نتایج صحت سنجی در ایستگاه شیرگاه ۸۱

فهرست اشکال

شکل (۳-۱) حوضه‌ی آبریز دریای مازندران ۲۳
شکل (۳-۲) تصویر ماهواره‌ای از ایستگاه هیدرومتری شیرگاه ۲۵
شکل (۳-۳) حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی کسیلیان ۲۷
شکل (۳-۴) حوضه‌ی آبریز کسیلیان در محیط نرم افزار WMS ۲۸
شکل (۳-۵) حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی تالار و کسیلیان ۳۰
شکل (۳- ۶) منحنی هم‌دمای حوضه‌ی کسیلیان (درجه‌ی سلسیوس) ۳۳
شکل (۳- ۷) شبکه آبراهه های حوضه‌ی کسیلیان ۳۵
شکل شماره (۳-۸) نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه‌ی کسیلیان ۳۸
شکل (۳-۹) نقشه‌ی ساختار خاک در حوضه‌ی کسیلیان ۴۰
شکل (۴-۱) فلوچارت شبیه‌سازی بارش_رواناب به روش WMS/HEC-1 ۵۵
شکل (۴-۲) نمایی از محیط نرم‌افزار Global Mapper ۵۶
شکل (۴-۳) ایجاد نقشه‌ی مورد نیاز با فرمت DEM در نرم‌افزار Global Mapper ۵۶
شکل (۴-۴) تغییر سیستم مختصات جغرافیایی در نرم‌افزار WMS ۵۷
شکل (۴-۵) نمایی از ویرایش پستی و بلندی حوضه در نرم‌افزار WMS ۵۸
شکل (۴-۶) نقشه‌ی گروه هیدرولوژیک خاک در حوضه‌ی کسیلیان ۶۳
شکل (۴-۷) هایتوگراف رگبارهای بارش ۶۶
شکل (۴-۸) نمایی از محیط job control ۶۸
شکل (۴-۹) نمایی از محیط Basin Data ۶۸
شکل (۴-۱۰) قرار دادن ارتفاع بارش تجمعی مورخ ۹۱/۱۱/۰۱ در مدل ۶۸
شکل (۴-۱۱) هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ولیک بن در اجرای اول(CN=75) ۶۹
شکل (۴-۱۲) هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ولیک بن در اجرای دوم (CN=72) ۷۰
شکل (۴- ۱۳) هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ولیک بن در اجرای سوم ۷۲
شکل (۴-۱۴) هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ولیک بن در اجرای نهایی ۷۳
شکل (۴-۱۵) هیدروگراف سیلاب محاسباتی و اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی صحت سنجی حوضه‌ی آبریز ولیک بن (سیلاب ۸۸/۰۱/۱۴) ۷۴

شکل (۴-۱۶) هیدروگراف سیلاب محاسباتی و اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی صحت سنجی حوضه‌ی آبریز ولیک بن (سیلاب ۸۶/۰۱/۱۳) ۷۵
شکل (۴-۱۷) هیدروگراف سیلاب شیرگاه حاصل از اجرای اول مدل و اندازه‌گیری ۷۷
شکل (۴- ۱۸) هیدروگراف سیلاب شیرگاه حاصل از اجرای دوم مدل و اندازه‌گیری ۷۸
شکل (۴- ۱۹) هیدروگراف سیلاب شیرگاه حاصل از اجرای سوم مدل و اندازه‌گیری ۷۹
شکل (۴- ۲۰) هیدروگراف سیلاب شیرگاه حاصل از اجرای چهارم مدل و اندازه‌گیری ۸۰
شکل(۴- ۲۱) هیدروگراف سیلاب محاسباتی و مشاهداتی شیرگاه در مرحله‌ی صحت‌سنجی تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۱۳ ۸۱
شکل (۴- ۲۲) هیدروگراف سیلاب محاسباتی و مشاهداتی شیرگاه در مرحله‌ی صحت‌سنجی تاریخ ۱۳۹۱/۰۶/۲۵ ۸۱

فـــصـــل اول

کلیات پژوهش

۱- کلیات پژوهش

۱-۱) پیشگفتار

افزایش روزافزون جمعیت باعث افزایش به‌کارگیری منابع آبی گردیده است. با داشتن برنامه‌ریزی اصولی و مناسب، رواناب حاصل از بارش می‌تواند در جهت رفع مشکل کمبود آب مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی به ویژه در شرایط خشکسالی، بسیار کارآمد واقع گردد. سرعت و دقت برآورد حجم رواناب در محاسبات، با به‌کارگیری تکنیک‌های جدید به منظور طراحی صحیح سازه‌های آبی و کاهش هزینه‌های اجرایی بسیار ضروری است (ملائی، ۱۳۸۱).

دو عامل آب و خاک به‌عنوان منابع طبیعی اصلی در عرصه‌های آبخیز کشور، به‌طور پیوسته در حال تخریب و از بین رفتن می‌باشند(روحانی زاده و همکاران، ۱۳۸۶). رفتار هیدرولوژیکی خاک‌ها شامل نفوذ، توزیع آب و خاک و رواناب، تابع مکانیسم‌های تولید رواناب منطبق با مناطق اقلیمی متفاوت است (Calvo-Cases et al., 2003).

رواناب، تابع شرایط فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز، شدت و مقدار بارش می‌باشد که در برنامه‌ریزی های منابع آبی و نیز مدیریت حوضه‌های آبریز حائز اهمیت می‌باشد (ملائی و همکاران، ۱۳۸۸). بهره‌برداری و استفاده‌ی مطلوب از منابع آب و مدیریت بهینه‌ی آن مستلزم شناخت بهتر مدل‌های هیدرولوژیکی است. بارش و به دنبال آن تشکیل رواناب سطحی از فازهای مهم چرخه‌ی هیدرولوژیکی محسوب می‌شود و اساس کار مدل برای توسعه‌ی مدل‌های جدید هیدرولوژیکی بررسی بین بارش و رواناب است (Gupta et al., 1999).

در مدیریت آب، نیازمند به افزایش مدل‌های موجود می‌باشیم، برای مثال افزایش بارش در یک منطقه ممکن است فرسایش آبی را در حوضه‌ها تسریع کند و احتمال رخداد سیل را در مناطق شهری بالا ببرد و اثرات اقتصادی _ اجتماعی و محیطی را در پی دارد (Chi et al., 2005).

سالانه شاهد وقوع سیل و هدررفت منابع آب و خاک در سطح کشور هستیم که برای جلوگیری از بخشی از میزان آن، اقدام به اجرای اقدامات آبخیزداری می‌شود. احداث سازه‌های مهار سیل، پرهزینه بوده و مستلزم طراحی جامع و اجرای دقیق است (نجفی نژاد، ۱۳۷۶). در بسیاری از موارد به منظور مقابله با سیلاب فعالیت‌هایی بدون ارزیابی تأثیر درازمدت آن‌ها بر روی وضعیت طبیعی انجام می‌شود. در صورت طراحی و اجرای دقیق عملیات کنترل سیل می‌توان خسارات سیل را تا حدی کاهش داد؛ این در حالی است که عدم موفقیت در طرح‌های کنترل سیلاب با توجه به ایجاد یک امنیت کاذب در محدوده‌ی تحت حمایت، سبب تشدید سیل و افزایش خسارت می‌گردد. امروزه استفاده از قابلیت مدل‌های هیدرولوژیکی به منظور شبیه‌سازی اثرات فعالیت‌های مدیریتی در فرآیند تصمیم‌گیری نقش تعیین‌کننده‌ای به خود گرفته است.

۱-۲) بیان مسئله

در طرح و انتخاب موضوع که به باور پژوهشگران دشوارترین مرحله‌ی پژوهش و تحقیق است مواردی چون عملی و عینی بودن، نو بودن و تازگی پژوهش، محدودیت‌های زمانی و مکانی و اهمیت آن و توجه به ضرورت ها و کاربردی بودن موضوع و همچنین علاقه‌ی محقق به پژوهش مورد توجه است (وحدتی، ۱۳۸۳).

سرعت و دقت برآورد حجم رواناب در محاسبات، با به‌کارگیری تکنیک‌های جدید و به منظور طراحی صحیح سازه‌های آبی و کاهش هزینه‌های اجرائی بسیار ضروری است. در این پژوهش هدف شبیه‌سازی بارش_رواناب با استفاده از مدل WMS به منظور محاسبه‌ی رواناب در حوضه‌ی آبریز کسیلیان در شیرگاه می‌باشد. حوضه‌ی آبریز کسیلیان شیرگاه در استان مازندران واقع شده است.

نوع کاربری اراضی و پوشش گیاهی در سطح حوضه مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده در نفوذ آب حاصل از بارش در زمین بوده و بر روی رواناب و به تبع آن بر روی دبی اوج حوضه تأثیرگذار است. دقت زیاد در تعیین نوع پوشش گیاهی و تراکم آن، همچنین وضعیت نفوذپذیری خاک بر حجم رواناب و

به خصوص دبی اوج ضرورت دارد و باعث می‌گردد زمان تمرکز به‌طور صحیح برآورد گردد. با توجه به اینکه بیشتر سطح منطقه جنگلی و مرتعی می‌باشد و سهم این نوع پوشش در این پهنه کمترین میزان رواناب را در حوضه ایجاد کرده ضرورت دارد به منظور کاهش رواناب و سیل‌خیزی منطقه، پوشش گیاهی جنگلی حفظ و گسترش مراتع نیز تقویت گردد. در این پژوهش ارتباط بارش با رواناب و عوامل محیطی مرتبط با آن در پوشش جنگلی و مرتعی مد نظر قرار خواهد گرفت و نقش پوشش گیاهی بررسی خواهد شد. شبیه‌سازی رفتار آب‌شناسی حوضه‌های آبریز به منظور مقابله با خطرات سیلاب امری واجب است. جهت طراحی کلیه‌ی سازه‌های هیدرولیکی در حوضه‌های بدون آمار نیازمند پیش‌بینی سیلاب طراحی هستیم. امروزه با پیشرفت علوم می‌توان پیش‌بینی رویدادها را با استفاده از مدل‌ها و برنامه‌های رایانه‌ای انجام داد. استفاده از مدل‌های بارش_رواناب در شبیه‌سازی رفتار آب‌شناسی حوضه‌های آبریز و هیدروگراف سیلاب نتایجی مطلوب در برداشته است. روند افزایش سیل در پنج دهه ی گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۸۰ نسبت به دهه ۴۰ تقریباً ۱۰ برابر شده است به عبارت دیگر ۹۰۰ درصد افزایش داشته است (عبدی، ۱۳۸۵). از این رو، استفاده از مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش_رواناب برای دسترسی به خصوصیات سیلاب از قبیل دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج و حجم سیلاب ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به شرایط موجود در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور، از لحاظ کمبود آمار و پیچیدگی‌های زیاد اکوسیستم‌های هیدرولوژیکی و عدم امکان شناخت کامل آن‌ها استفاده از روش‌هایی که بتوان با کمک آن‌ها میزان رواناب حاصل از بارندگی را در حوضه‌های فاقد آمار و یا دارای آمار ناقص تخمین زد؛ از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (نجفی، ۱۳۸۱).

اساس کار مدل‌های هیدرولوژیک بر پایه‌ی روابط بین بارش_رواناب استوار است و به این منظور در این مدل‌ها از معادله‌های ریاضی و همچنین خصوصیات فیزیوگرافیکی حوضه‌ی آبریز استفاده می‌شود

(Viessman and Lewis, 2002). به عنوان مثال شیب حوضه تأثیر به سزایی بر شدت رواناب خواهد داشت و به‌تبع آن بر حجم سیلاب و زمان تمرکز و دبی اوج سیلاب تأثیرگذار خواهد بود.

در مورد اثر شیب بر شدت رواناب اعتقاد عمومی بر این است که با افزایش شیب، شدت رواناب افزایش می‌یابد، علت آن نیز کاهش فرصت نفوذ عنوان شده است؛ اما در عین حال برخی از محققین نیز نتایج متفاوتی ارائه داده‌اند (Fox and Bryan, 1999).

۱-۳) ضرورت و اهمیت موضوع

یکی از مسائل عمده‌ی حوضه‌های آبریز در کشور ما هدررفت آب‌های سطحی است که با تمرکز و تبدیل هرزاب‌ها به سیلاب سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی به مراکز صنعتی، شهری و روستایی وارد می‌کنند. به همین جهت استفاده از روش‌هایی که بتواند از آمارهای ناقص موجود، آستانه‌ی شروع رواناب و حجم رواناب خروجی از یک حوضه را تخمین بزند، اهمیت زیادی می‌یابد.

تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی از دید ایمنی، جنبه‌ی اقتصادی طرح و عملکرد سازه‌های هیدرولیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از پارامترهای مهم در این زمینه، رواناب است که اندازه‌گیری آن در ایستگاه‌های هیدرومتری، با وسایل گوناگون انجام می‌گیرد. تنگناهای مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری، دشوار بودن گردآوری داده‌های هیدرومتری از آبراهه‌های رتبه پایین، هزینه‌بر بودن جمع‌آوری آمار و اطلاعات مشاهده‌ای، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف سیل را ایجاب می‌نماید. استفاده از داده‌های مربوط به بارندگی به دلیل دقت قابل قبول آن‌ها در مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری، یکی از گزینه‌های کاربردی در این خصوص است (برگرفته از تارنمای www.modares.ac.ir).

همان‌طور که پیش‌تر عنوان شد، رواناب، تابع شرایط فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز، شدت و مقدار بارش می‌باشد که در برنامه‌ریزی‌های منابع‌آبی و نیز مدیریت حوضه‌های آبریز حائز اهمیت

می‌باشد. کارشناسان و متخصصان منابع آب همواره در پی آن بوده‌اند تا بتوانند روابطی برای مقادیر بارندگی و رواناب حاصل از آن در حوضه‌های آبریز و در شرایط مختلف زمانی و مکانی بیابند. تا به امروز مدل‌های بارش_رواناب فراوانی با قابلیت‌ها و پیچیدگی‌های متفاوتی جهت پیش‌بینی سیلاب ساخته و به‌کار برده شده‌اند. اطلاع از خصوصیاتی مانند حداکثر دبی سیل در بازه‌های پایین‌دست و زمان رسیدن به نقطه‌ی اوج هیدروگراف خروجی، برای طراحی سازه‌های کنترل سیلاب و سازه‌های کنترل سطح آب مانند سدها، سرریزها و ...، در جهت کاهش خسارات احتمالی ضروری است (مجموعه مقالات هفتمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری، ۱۳۹۰). موضوع مهم دیگر نقش خاک در کاهش شکل‌گیری رواناب می‌باشد. بی‌گمان خاک‌هایی با بافت شنی و سیلتی به دلیل نفوذپذیری بالا در مقایسه با خاک‌های رسی با نفوذپذیری کم، رواناب کم‌تری ایجاد می‌کند و دیرتر نیز از حوضه تخلیه می‌گردد.

از رخدادهای بسیار مهم که طی فرسایش بارانی در بسیاری از خاک‌های حساس به فرسایش رخ می‌دهد تشکیل اندوده سطحی است. اندوده سطحی از فشرده شدن لایه‌ی بسیار نازک سطحی خاک و مسدود شدن منافذ آن در اثر نفوذ آب گل‌آلود ایجاد می‌شود که در خاک‌های حساس و در پی شکسته شدن خاکدانه‌های سطح خاک صورت می‌گیرد. این لایه در سطح خاک باعث تغییرات فیزیکی شده که منجر به تغییر رفتار خاک در مقابل برخورد قطرات باران و جریان رواناب شده در نتیجه فرآیند فرسایش خاک را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا با توجه به اهمیت موضوع در تحقیق حاضر از مدل WMS برای شبیه‌سازی بارش_رواناب حوضه‌ی آبریز کسیلیان شیرگاه استفاده خواهد شد مدل WMS مدلی کارآمد در شبیه‌سازی سیلاب و محاسبه‌ی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه می‌باشد. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد محققین مختلفی از مدل WMS برای شبیه‌سازی سیلاب حوضه‌ی آبریز و همچنین روندیابی سیلاب استفاده نمودند. لذا پس از انجام مدل‌سازی و کالیبره نمودن مدل از آن برای پیش‌بینی سیلاب منطقه در آینده با توجه به

دگرگونی‌های احتمالی مانند پوشش گیاهی در منطقه استفاده خواهد شد. از آنجا که در حوضه‌های آبریز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز جهت بررسی عکس‌العمل حوضه امکان‌پذیر نمی‌باشد لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار، با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی موردنیاز، پیش‌بینی با دقت قابل قبولی را ارائه کند امری ضروری به نظر می‌رسد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۳).

۱-۴) اهداف تحقیق

با تعیین حجم رواناب ناشی از بارندگی و آگاهی از زمان طغیان رودخانه‌ها می‌توان در امر پیش‌بینی سیلاب و به دنبال آن کاهش خسارات ناشی از آن کمک کرد. رواناب حاصله از بارندگی را می‌توان بر حسب ارتفاع یا حجم توصیف کرده و آن را به روش‌های مختلف برآورد نمود Hundecha, (2001).

هدف اصلی انجام این پژوهش بررسی کارآمدی مدل WMS جهت شبیه‌سازی بارش_رواناب در حوضه‌ی رودخانه‌ی کسیلیان بوده است تا دقت مدل در شبیه‌سازی رواناب حوضه معین گردد و درصد خطای مدل محاسبه و با داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گیرد در راستای تحقق این هدف، فعالیتهای دیگری نیز انجام گرفت که از جمله‌ی این فعالیتها می‌توان به ایجاد نقشه‌ی کاربری اراضی در کل حوضه‌ی کسیلیان اشاره نمود همچنین تهیه‌ی نقشه‌ی گروه هیدرولوژیک خاک حوضه‌ی کسیلیان که در راستای مدل‌سازی بارش_رواناب حوضه کسیلیان انجام گرفت.

۱-۵) متغیرهای تحقیق

شبیه‌سازی بارش_رواناب در این پژوهش دارای یک متغیر ورودی می‌باشد که عبارت‌اند از: بارش در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای ایستگاه باران‌سنجی سنگده در حوضه‌ی آبریز کسیلیان است.

۱- ۶) قلمروی پژوهش

قلمرو این پژوهش از سه بعد، موضوعی، مکانی و زمانی به شرح زیر انجام می‌گیرد.

۱-۶-۱) قلمروی موضوعی تحقیق

قلمروی موضوعی این پژوهش شبیه‌سازی بارش_رواناب با استفاده از مدل WMS می‌باشد.

۱-۶-۲) قلمروی زمانی تحقیق

قلمرو زمانی این پژوهش در طول دوره‌ی آماری ۱۰ ساله (از سال‌های ۱۳۸۲ الی ۱۳۹۲) می‌باشد.

۱-۶-۳) قلمروی مکانی تحقیق

قلمرو مکانی این پژوهش حوضه‌ی آبریز کسیلیان تا ایستگاه هیدرومتری شیرگاه در استان مازندران در شمال ایران می‌باشد.

۱-۷) روش تحقیق

جهت طراحی و مدیریت منابع آب در حوضه‌های کشور وجود آمار و اطلاعات هیدرولوژیک ضروری است **(**Hundecha, 2001**)**. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده و آگاهی کلی از منطقه‌ی موردمطالعه، آمار و داده‌های موردنیاز از سازمان آب منطقه‌ای، اداره‌ی منابع طبیعی و آبخیزداری، اداره هواشناسی و سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران جمع‌آوری گردید و از بین داده‌های موجود، از داده‌های مرتبط با تاریخ ۱۳۹۱/۰۱/۱۱ به شکل تصادفی جهت واسنجی مدل در زیرحوضه‌ی ولیک بن_کسیلیان و از داده‌های مرتبط با ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ برای واسنجی مدل در ایستگاه هیدرومتری شیرگاه_کسیلیان انتخاب گردید.

در این پژوهش با توجه به محدودیت داده ها، از اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفت که داده‌های همزمان بارش با رواناب موجود باشد. زیرا اطلاعات ایام محدودی در طول یک سال از دبی رواناب ثبت گردیده است. در تحقیق حاضر نخست منابع کتابخانه‌ای مرتبط با موضوع تحقیق و گزارش‌های مطالعاتی منطقه، جمع‌آوری و مورد بررسی واقع گردید و سپس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نیز مشاهدات میدانی و همچنین نقشه‌ی کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و با نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، حدود حوضه مشخص گردید. در این بررسی پس از محاسبه‌ی میانگین بارش حوضه و ۲ ایستگاه خارج از حوضه و استخراج آمار حداکثر دبی سیلاب، حجم سیلاب و زمان اوج سیلاب با استفاده از عناصر اقلیمی حوضه، رابطه‌ی بین بارش و رواناب طی یک دوره‌ی آماری ۱۰ ساله (۱۳۹۲- ۱۳۸۲) با چند نمونه‌ی آماری موجود مورد بررسی قرار گرفت.

در این بخش از پژوهش ابتدا به مطالعات تئوری در این زمینه و همچنین جمع‌آوری اطلاعات پرداخته شده که جمع‌آوری اطلاعات به دو صورت انجام‌گرفته است: روش کتابخانه‌ای و روش میدانی.

در روش کتابخانه‌ای اقدامات زیر انجام شد:

۱- جمع‌آوری اطلاعات که منابع در این زمینه بسیار اندک بوده است.

۲- جمع‌آوری اطلاعات با روش میدانی و داده‌ها و آمارها با مراجعه به ادارات و مؤسسات مربوطه و همچنین جمع‌آوری نقشه‌ها و عکس‌های هوایی مورد نیاز و ویرایش آن با کمک نرم‌افزار WMS، Arc Gis، Global Mapper و اتوکد.

۳- استفاده و بهره‌برداری از منابع موجود در تارنماهای مربوط با موضوع موردمطالعه.

در روش میدانی نیز اقدامات زیر انجام گردید:

۱-نمونه‌برداری، عکس‌برداری، مطالعات و مشاهدات میدانی که با حضور در نواحی موردمطالعه و تهیه‌ی عکس‌های هوایی از سازمان نقشه‌برداری کشور و تبدیل عکس‌های فوق به نقشه‌ی موردنظر و مراجعه به سازمان هواشناسی منطقه مورد مطالعه انجام گرفت.

۲- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی

۳-به خدمت گرفتن نرم‌افزارهای رایانه‌ای مختلف جهت ترسیم نقشه‌ها و نمودارها و همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری‌شده.

فــصــل دوم

پیشینه و سوابق پژوهش

۲-۱) پیشینه و سوابق تحقیق

تاکنون پژوهشی در مورد شبیه‌سازی بارش_رواناب حوضه‌ی کسیلیان تا ایستگاه هیدرومتری شیرگاه توسط مدل WMS با شبیه‌ساز هیدرولوژیکی HEC-1 انجام نشده است لیکن موضوعاتی که مشابه موضوع این پژوهش توسط دانشجویان و محققین انجام‌گرفته است در زیر به آن اشاره می‌گردد.

۲-۱-۱) تحقیقات داخلی

قهرودی تالی (۱۳۸۵) به ارزیابی مدل SCS-CN در تخمین رواناب حوضه‌ی سد امیرکبیر کرج پرداخت. قهرودی روش شماره‌ی منحنی را در حوضه‌ی آبریز سد کرج اجرا نمود و به این نتیجه رسید که استفاده از مدل وزنی در محاسبه‌ی شماره منحنی این امکان را فراهم می‌سازد که تمام عوامل مؤثر در تولید رواناب در نظر گرفته شود و در نتیجه تخمین درست‌تری از رواناب ناشی از بارندگی به دست آید.

هاشمی (۱۳۸۵) به بررسی استخراج هیدروگراف سیلاب رودخانه با استفاده از نرم افزار GIS پرداخت. گروه اول داده‌ها شامل داده‌های هیدرولوژیکی نظیر آمار بارندگی و هیدروگراف سیلاب ثبت شده در ایستگاه‌های اندازه‌گیری است. گروه دوم اطلاعات توصیفی است که از تجزیه و تحلیل‌های انجام‌گرفته توسط توابع GIS استخراج می‌شود. مدل افزون بر شبیه‌سازی، قابلیت کالیبراسیون را نیز دارا است. شبیه‌سازی مدل نیز می‌تواند با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری و یا در محیط GIS انجام شود. همچنین از قابلیت‌های گرافیکی محیط GIS برای رسم نمودارهای هیدروگراف سیل به منظور تسهیل در نتیجه‌گیری استفاده می‌شود. مدل پیشنهادی برای حوضه‌ی آبریز معرف امامه به کار رفته و صحت مدل مورد تأیید قرار گرفته است. نتایج مدل حاکی از آن است که با استفاده از GIS همراه با دخالت در تغییرات مکانی بارش، نتایج بسیار خوبی به دست آمده است

که با نتایج حاصل از روش دستی نیز مقایسه شده است. به‌کارگیری توانایی‌های GIS در این مقاله نشان‌دهنده‌ی کارایی بالای آن در ارائه‌ی یک سیستم هشدار سیل است.

خیرفام و روحانی (۱۳۹۰) به شبیه‌سازی بارش_رواناب با استفاده از مدل IHACRES در حوضه‌ی آبریز چهل چای پرداختند. مدل IHACRES دارای ۳ متغیر ورودی بارش روزانه، دمای روزانه و دبی روزانه می‌باشد. ابتدا مدل با داده‌های روزانه دبی ۷ سال (۷۴-۱۳۶۸) واسنجی گردید و سپس در طول دوره‌ی آماری ۸۷-۱۳۸۱ اعتبارسنجی شد. از معیار ضریب همبستگی جهت فرآیندهای واسنجی مدل استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل IHACRES قادر به شبیه‌سازی دبی روزانه برای حوضه‌ی آبریز چهل چای با ضریب همبستگی ۰/۵۱۴ می‌باشد.

در پژوهشی دیگر کریمی و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی توانایی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل پرداختند در این ارتباط تعدادی واقعه‌ی بارش_رواناب استخراج و پارامترهای مدل به روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی SCS بر پایه‌ی سه هیدروگراف مشاهده‌ای برآورد و بر اساس دو هیدروگراف مشاهده‌ای دیگر مورد ارزیابی واقع شدند و سرانجام مشخص گردید اختلاف پیش‌بینی زمان وقوع و اندازه‌ی حداکثر سیلاب مشاهده‌شده و محاسبه‌شده توسط مدل کمتر از ۱۰٪ می‌باشد لذا می‌توان به نتایج به دست‌آمده اطمینان کامل داشته و از آن‌ها برای پیش‌بینی سیلاب‌های احتمالی بهره جست.

پس از مطالعات مرتبط با سایر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به‌طور تخصصی به مطالعه‌ی مقالات مرتبط با مدل WMS پرداخته شد.

اوجاقلو و همکاران (۱۳۸۷) با کمک مدل WMS به شبیه‌سازی هیدروگراف سیل و تخمین دبی اوج، حجم رواناب و زمان رسیدن به نقطه‌ی اوج برای حوضه‌ی کسیلیان تا ایستگاه هیدرومتری ولیک‌بن

پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد مدل دقت مطلوبی را در برآورد دبی‌اوج و حجم رواناب دارد. به‌طوری‌که مقدار درصد خطای نسبی برای پارامترهای ذکرشده به ترتیب ۲ و ۸/۳ درصد بوده است.

گنجی خرم‌دل و همکاران (۱۳۹۲) دبی پیک حوضه‌ی آبریز رودخانه سراب‌دوره را با استفاده از مدل WMS برآورد کردند. آن‌ها با استفاده از مدل مذکور و با توجه به هیدروگراف خروجی حوضه، ضریب CN معادل با ۶۵، ۷۰ و ۷۵ را محاسبه و نظر به پوشش گیاهی حوضه، ضریب CN=۶۵ را برای دبی طراحی ۶۷ مترمکعب بر ثانیه برای سیلاب انتخاب نمودند.

پورکاظمی و همکاران (۱۳۸۷) نیز به بررسی و کاربرد مدل WMS در مهندسی رودخانه در حوضه‌ی آبریز کامه در استان خراسان رضوی پرداختند در این پژوهش که با استفاده از نرم‌افزار WMS و همچنین مدل HEC-RAS اجرا شد پروفیل سطح آب با دوره‌های بازگشت مختلف تعیین گردید. در نهایت در محیط WMS پهنه‌ی سیل منطقه تهیه شد. نتایج حاکی از دقت و سرعت بالای مدل در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی داشته است.

نوری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مدل WMS و HEC-HMS سیلاب حوضه‌ی آبریز قروه را پیش‌بینی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد مدل بارش_رواناب WMS ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز می‌باشد.

در پژوهشی دیگر حسینی (۱۳۹۱) به ارزیابی مدل WMS در تعیین دبی حداکثر سیلاب در استان خوزستان پرداخت در این پژوهش مقادیر تجربی و روش SCS مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل WMS تطابق مناسبی را با سیلاب محاسباتی با معادلات تجربی در استان خوزستان نشان می‌دهد و می‌توان از این مدل برای برآورد سیلاب در این منطقه استفاده نمود.

جاجرمی زاده و همکاران (۱۳۹۱) نیز به ارزشیابی توانمندی مدل WMS در شبیه‌سازی حوضه‌ی آبریز گوده بستک پرداختند در این مطالعه به منظور ارزیابی میزان توانمندی مدل WMS، حوضه‌ی

آبریز گوده بستک در جنوب ایران به عنوان مطالعه‌ی موردی انتخاب گردید و برای مدل‌سازی هندسی علاوه بر روش شبیه‌سازی کاملاً خودکار حوضه، از تکنیک ارتفاع مجازی بر روی مرز واقعی حوضه استفاده گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حوضه‌ی گوده بستک نشان داد که تکنیک ارتفاع سازی مجازی در کنار بهتر شبیه‌سازی کردن حوضه، در بحث محیط و شیب حوضه خطاهایی هم تولید می‌کند که البته قابل تصحیح و کنترل می‌باشند. در نتیجه اینکه تکنیک ارتفاع مجازی کمک شایانی در افزایش دقت شبیه‌سازی آبراهه‌ها و مرز حوضه داشته است.

همچنین محققینی مانند صدرالاشرافی و همکاران (۱۳۸۸)، حمادی و همکاران (۱۳۸۸)، نوری و همکاران (۱۳۹۰)، نوری و حیدری (۱۳۹۱) از مدل WMS برای شبیه‌سازی بارش_رواناب حوضه‌های مختلف استفاده نمودند. از توانایی مدل مذکور، ارتباط با GIS بوده و با استفاده از این ارتباط می‌توان نقشه‌ی منطقه را به مدل معرفی کرد.

همچنین مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی تأثیر کاربری اراضی بر حوضه‌های آبریز انجام گرفت تغییر در کاربری اراضی و پوشش زمین اثرات مستقیمی را بر فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز دارد که منجر به تخریب و زوال در محیط‌های آبی و افزایش خطر سیل می‌گردد.

احمدی ایلخچی و همکاران (۱۳۸۱) طی پژوهشی اثر تغییر کاربری زمین‌های مرتعی به دیم‌کاری بر تولید رواناب، هدررفت و کیفیت خاک در منطقه‌ی دوراهان چهارمحال بختیاری مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده‌ی آن بود که کاهش بیشتر کیفیت خاک در اثر تخریب مرتع در قسمت شانه شیب، نسبت به موقعیت پشت شیب، انتقال بیشتر خاک در اثر عملیات شخم از موقعیت شانه شیب بوده است.

ذاکری نیری و همکاران (۱۳۹۱) از مدل WMS و شبیه‌ساز هیدرولوژیکی HEC_HMS برای تعیین نقش پوشش گیاهی در برآورد دبی سیلاب حوضه‌ی آبریز اسلامشهر استفاده کردند و دریافتند

که پوشش گیاهی متراکم به مراتب در کاهش دبی پیک سیلاب مؤثرتر از مناطق فاقد پوشش یا با پوشش ضعیف خواهد بود.

مقصودی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی به اثرات تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی حوضه‌ی الموت با استفاده از مدل HEC_HMS پرداختند و مشخص گردید به دلیل تغییر کاربری اراضی ضریب رواناب از ۷۳/۳۷ به ۸۰/۶۶ در طی سال‌های ۶۶ تا ۸۵ رسیده است.

یمانی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز گیلانغرب پرداختند برای این منظور از داده‌های بارندگی، دبی و دمای روزانه و همچنین تبخیر ماهانه‌ی ایستگاه گیلانغرب برای سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۷ جهت شبیه‌سازی بارش_رواناب از مدل HEC_HMS استفاده شد در مؤلفه‌ی مدل حوضه، روش‌های شماره منحنیSCS و هیدروگراف واحد SCS به ترتیب برای قسمت‌های تلفات بارش و انتقال جریان، انتخاب و از گزینه‌ی Specified Hydrograph در مؤلفه‌ی مدل هواشناسی استفاده گردید نتایج شبیه‌سازی نشان داد که ضریب رواناب از ۷۶/۹۲ درصد در سال ۱۳۶۶ به ۷۷/۳۴ درصد در سال ۱۳۸۷ افزایش پیداکرده است.

به دلیل اینکه غالب مساحت حوضه‌ی کسیلیان را پوشش جنگلی تشکیل می‌دهد بنابراین به تأثیر جنگل بر کاهش سیلاب نیز پرداخته شد.

علیدوست و همکاران (۱۳۸۵) طی پژوهشی به اثرات پوشش جنگلی در کاهش و جلوگیری از بروز سیل و تخریب حوضه پلرود در مناطق کوهستانی شرق گیلان پرداختند و با بررسی پارامترهای فیزیولوژی حوضه و اندازه‌گیری بارندگی با استفاده از باران‌سنج دیتالاگر و اندازه‌گیری شدت هر بارش و رواناب ناشی از هر بارش رابطه‌ی رگرسیونی به‌دست‌آمده بین شدت بارندگی و رواناب با مقدار ضریب همبستگی ۸۰/۰ به دست آمد که با توجه به وجود ۶۰ درصدی پوشش گیاهی درختی و

درختچه‌ای و لاشبرگ که تأثیر به سزایی در کاهش رواناب در عرصه داشته؛ ضریب رواناب حاصل از بارندگی در این منطقه ۴۶/۸ درصد محاسبه شد.

در پژوهش دیگر سیدکابلی و آخوندعلی (۱۳۸۸) به ارزیابی روش‌های تلفات باران در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل، به مطالعه در حوضه‌ی آبریز کسیلیان پرداختند در این تحقیق با اعمال روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت شاخص Φ و روش SCS در مدل باران_ رواناب کلارک، هیدروگراف‌های خروجی ناشی از ۲۴ واقعه‌ی رگباری از حوضه‌ی آبریز کسیلیان محاسبه گردید. سپس ویژگی‌های هیدروگراف‌های محاسبه‌شده شامل دبی اوج، حجم رواناب و زمان اوج با همین ویژگی‌ها از هیدروگراف‌های متناظر مشاهده‌شده، مورد مقایسه و تحلیل آماری قرار گرفتند. ارزیابی آماری تأثیر روش‌های تلفات مذکور بر ویژگی‌های هیدروگراف‌های خروجی با آماره‌های متوسط خطای نسبی پیش‌بینی، شیب خط برازش، ضریب و متوسط جذر میانگین مربعات خطا، منجر به برتری نتایج روش SCS نسبت به پیوسته با نرخ ثابت گردید.

بررسی شریفی و همکاران (۱۳۷۵) با استفاده از ۱۴ بارش و داده‌های مشاهداتی موجود نشان داد که مقدار شماره منحنی بین ۴۶/۳ تا ۹۰/۲ برای این ۱۴ بارش متغیر بوده است در جدول (۲-۱) یک نمونه از جداول محاسبه شده در حوضه ولیک بن کسیلیان که توسط شریفی و همکاران تهیه شده آمده است.

جدول (۲-۱) شماره منحنی مشاهداتی در ایستگاه ولیک‌بن (شریفی و همکاران، (۱۳۷۵))

عمق بارش (میلی‌متر)	CN	زمان تمرکز	دبی پیک		
	مشاهداتی	(ساعت)	مشاهداتی	محاسباتی (شماره منحنی)	محاسباتی (روش منطقی)
۴۲,۶۵	۷۰	۲,۲۳	۵,۷۵	۹,۵	۱۵,۳
۲۶,۹۵	۶۵	۲,۵۴	۱۱	۱۲,۵	۱۸,۷
۱۹,۳	۷۶,۴	۱,۸۶	۲,۲	۵,۹	۲۹,۲

۳۸,۷	۲۹,۶	۱۵,۳	۴,۱	۴۶,۳	۴۰,۴۳
۳۳,۴	۱۶,۱	۶,۳	۲,۴	۶۷,۱	۵۵,۴۵
۲۴	۸,۴	۴,۵۵	۱,۵۱	۸۳,۱	۸,۸۱
۲۲,۷	۴,۴	۲۰,۵	۱,۶۸	۷۹,۷	۱۷,۱
۳۰,۱	۴۵	۱۹,۰۹	۱,۷۱	۷۹,۲	۶۴,۴
۳۲,۷	۴۰	۸,۶۳	۱,۱۶	۹۰,۲	۲۵,۷
۱۹,۴	۱۵,۷	۸,۴۷	۱,۸۷	۷۶,۲	۹,۲
۳۱,۴	۴۷,۲	۲۱,۳۶	۱,۲۱	۸۹,۱	۴۲,۳۷
۴۰	۲۱	۵,۰۶	۱,۳۱	۸۷,۱	۲۳,۸
۷۳,۵	۴,۳	۲,۲۵	۲,۸۵	۶۰,۶	۵۱,۸
۳۶,۷	۱۷,۷	۱۳,۰۵	۲,۵	۶۵,۶	۲۱,۳

عملیات آبخیزداری تأثیر به سزایی در کاهش رواناب و فرسایش خاک حوضه دارد لذا در این زمینه، مطالعات گوناگونی انجام گرفت که بعضاً از مدل‌های هیدرولوژیکی متعدد جهت ارزیابی کاهش حجم سیلاب مورد استفاده قرار گرفت.

حقگو (۱۳۸۰)، با هدف ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری مکانیکی و بیولوژیکی بر کاهش دبی اوج سیلاب‌ها در آبخیز غازمحله کردکوی استان گلستان به این نتیجه رسید که این کاهش ۴۷ درصد بوده و سیل‌خیزی در آبخیز کاهش یافته است.

تاجیکی (۱۳۸۶)، با بهره‌گیری از روش هیدروگراف واحد SCS به شبیه‌سازی وضعیت قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری آبخیز رامیان استان گلستان پرداخت و کاهش ۴۵ درصدی دبی اوج سیلاب و منظم شدن رژیم هیدرولوژیکی رودخانه را گزارش نمود و بیشترین تأثیر را به چرخه‌ی بازگشت ۱۰ ساله، نسبت داد.

کبیر و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی اثر احداث سازه‌های اصلاحی بر روی زمان تمرکز در آبخیز رودبار قشلاق استان گلستان با استفاده از فرمول کرپیچ به این نتیجه رسیدند که میزان افزایش زمان تمرکز در همه‌ی موارد کمتر از یک درصد بوده است.

۲-۱-۲) تحقیقات خارجی

موئندرا و همکاران (۱۹۹۷)، رواناب سطحی و فرسایش خاک را تحت تأثیر فشار چرای دام در ارتفاعات اتیوپی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن ها نشان داد که فشار چرای سنگین تا خیلی سنگین، پوشش گیاهی سطح زمین را به طور معنی‌داری کاهش و کمیت رواناب سطحی و فرسایش خاک را افزایش داده است (Mwendera et al., 1997).

پیروکلین (۱۹۹۴) در تحقیقی در جنوب اسرائیل رابطه مشخصی بین درجه‌ی شیب و رواناب پیدا نکردند. در مطالعه گروش و جرت نیز اختلاف معنی‌داری بین شدت رواناب در حالت پایدار در شیب های ۱۵ تا ۸۵ درصد مشاهده نشد (Grosh and Jarrett, 1994).

در مطالعه فاکس و برایان (۱۹۹۹) شدت نفوذ با افزایش شیب کاهش یافت که قاعدتاً انتظار می‌رود این چنین نیز باشد (Fox and Bryan, 1999).

شریدان و همکاران (۲۰۰۳) مشاهده نمودند که افزایش شیب از ۵ تا ۳۰ درصد اثر کمی بر شدت رواناب در حالت پایدار دارد (Sheridan et al., 2003).

لبیت و همکاران (۲۰۰۴)، در یک دوره آماری ۱۰۰ ساله رابطه‌ی بین امواج گرمایی را بر روی رودهای بزرگ در سراسر جهان مطالعه کردند و نشان دادند که رابطه‌ی نزدیکی میان دما، بارش و جریان آب سطحی وجود دارد. گرمایش زمین و سناریوهای تغییرات اقلیمی در چرخه‌ی آب‌شناختی کاملاً نمود بارزی می‌یابند که تمامی اجزای آن تحت تأثیر تغییرات حاصله در میزان تبادلات انرژی و

جرم قرار می‌گیرند نیاز به این منابع با افزایش تبخیر و تعرق در شرایط گرم‌تر، خشک و آفتابی‌تر بیشتر می‌شود.

تغییر اقلیم فرآیندی کاملاً طبیعی نبوده و تحت تأثیر شرایط اقتصادی و اجتماعی جامعه نیز قرار دارد و افزایش گازهای گلخانه‌ای در سال‌های اخیر سرعت و روند نامشخص تری به خود گرفته است (Kabashi et al., 2011).

۲-۲) جمع بندی

بررسی منابع انجام شده در زمینه‌ی تحقیق حاضر نشان می‌دهد محققین برای انجام شبیه‌سازی رواناب حوضه از مدل‌های مختلفی مانند HEC-HMS، WMS، IHACRES و ... استفاده کردند و با توجه به توانایی‌های مدل WMS در تحقیق حاضر از این مدل استفاده گردید.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱) حوضه‌ی آبریز دریای مازندران

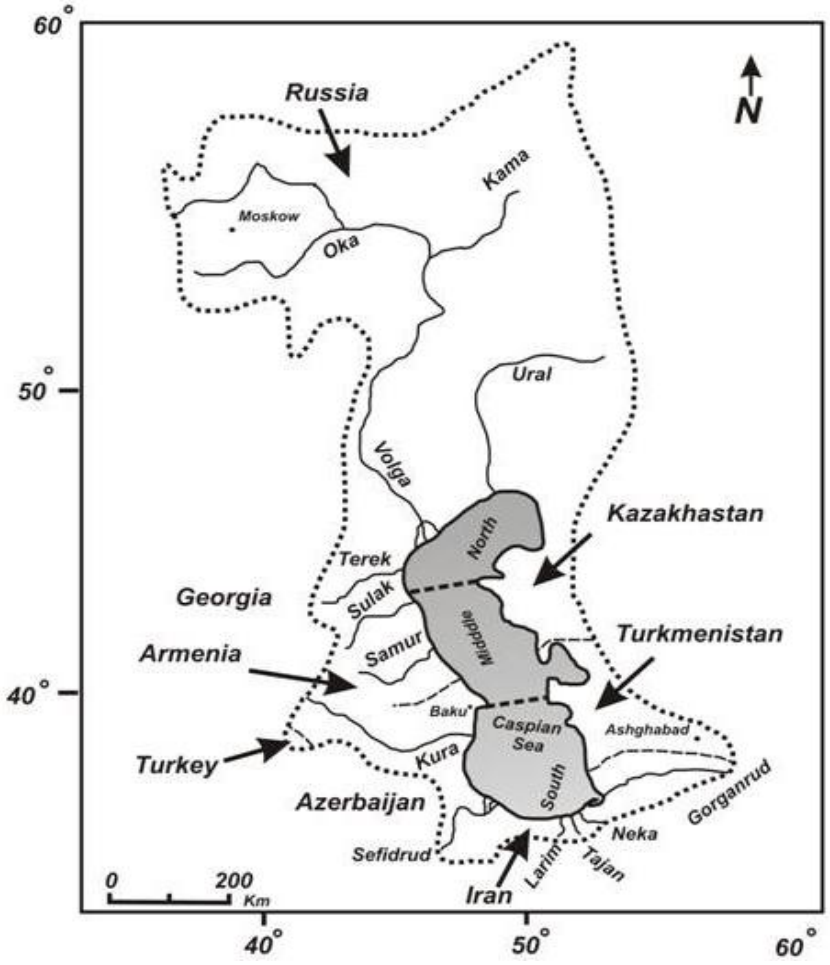
مساحت حوضه‌ی آبریز دریای خزر روی هم رفته ۳/۵ میلیون کیلومترمربع می‌باشد که در بین کشورهای ایران، ترکمنستان، آذربایجان، روسیه و مقداری از خاک ترکیه توزیع‌شده است (Radionov, 1994).

رودخانه‌های مهمی که از بخش های مختلف ساحل خزر وارد این دریاچه می شوند عبارت‌اند از:

۱- رودخانه ولگا، اورال، امبا در بخش شمالی که ۸۷٪ آب حوضه را تأمین می‌کنند. رودخانه ولگا به تنهایی ۱/۴ میلیون کیلومترمربع از مساحت کل حوضه‌ی آبریز را به خود اختصاص داده است (Kroonenberg, 1997).

۲- رودخانه های بخش غربی شامل کورا، ترک، سولاک که ۷٪ آب، وارد خزر می‌نمایند.

۳- رودخانه های سواحل جنوبی خزر چون سفیدرود، هراز، ارس و تالار که حدود ۵٪ از آبدهی را به خود اختصاص داده‌اند.



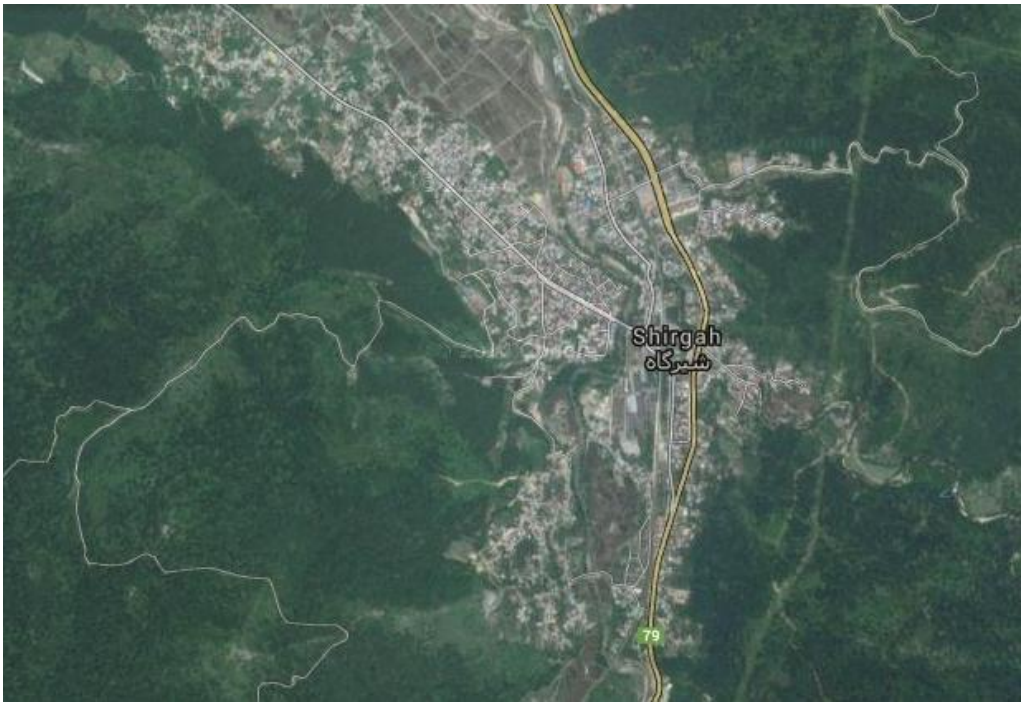
شکل (۳-۱) حوضه‌ی آبریز دریای مازندران (حسین دوست، ۱۳۸۴)

حوضه‌ی آبریز خزر در بخش جنوبی با مساحتی در حدود ۲۵۶۰۰۰ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های آبریز وسیع ایران می‌باشد و به صورت نواری از شمال غربی آذربایجان شروع می‌شود و پس از طی دامنه‌های شمالی البرز تا شمال غربی خراسان ادامه می‌یابد. در بخش حوضه‌ی آبریز رودخانه قزل اوزن قسمتی از این حوضه تا کوه‌های زاگرس و کردستان ادامه دارد (افشین، ۱۳۷۳).

حوضه‌ی آبریز خزر دارای شیب زیادی بوده و بیشترین اختلاف ارتفاع حوضه‌های آبریز کشور (بالغ بر ۵۵۰۰ متر) را به خود اختصاص داده است (جعفری، ۱۳۷۹). در حدود ۸۶۶ رودخانه بزرگ و کوچک که اکثراً از ارتفاعات البرز شمالی سرچشمه می‌گیرند در این بخش جریان دارند.

۳-۲) مشخصات عمومی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد پژوهش، حوضه‌ی آبریز کسیلیان با مساحت ۳۴۲۷۸ هکتار در شمال ایران و در شهرستان سوادکوه استان مازندران واقع می‌باشد. از جنوب به سلسله ارتفاعات البرز شرقی، کوه گلرد و دو برار و از شرق به شهرستان ساری، از شمال به کوه گرو و از غرب به شهرهای پل‌سفید و زیرآب منتهی می‌گردد. موقعیت جغرافیایی این حوضه بین ۳۵/۵۹ و ۳۶/۱۹ درجه‌ی شمالی و بین ۵۲/۵۳ و ۵۳/۱۵ درجه‌ی شرقی واقع شده است. بلندترین ارتفاع این حوضه ۳۱۱۲ متر از سطح دریا می‌باشد که در جنوب این حوضه قرار دارد و مطابق جدیدترین تقسیمات جغرافیایی، استان مازندران را از استان سمنان جدا می‌سازد. پست‌ترین قسمت در ناحیه‌ی شمال غربی حوضه در قسمت شیرگاه با ۲۲۶ متر ارتفاع می‌باشد زهکش اصلی این حوضه یکی از زیرحوضه‌های رودخانه‌ی تالار می‌باشد که به نام رودخانه‌ی کسیلیان نام‌گذاری شده و از جنوب به سمت شمال غرب و به طول ۵۸ کیلومتر جریان یافته و در ایستگاه هیدرومتری شیرگاه، این رودخانه به رودخانه‌ی تالار متصل می‌شود. رودخانه‌ی تالار نیز از ارتفاعات منطقه‌ی چاشم سرچشمه می‌گیرد و پس از اتصال با رودخانه‌های دیگر همچون رودخانه‌ی آلاشت، کسیلیان و توجی، در شرق بابلسر در منطقه‌ی تیررود به دریای مازندران منتهی می‌گردد. در شکل (۳-۲) نمایی از خروجی ایستگاه هیدرومتری شیرگاه و شهر شیرگاه مشاهده می‌گردد.



شکل (۳-۲) تصویر ماهواره‌ای از ایستگاه هیدرومتری شیرگاه

حوضه‌ی مورد مطالعه منطقه‌ای کاملاً جنگلی با انبوهی از پوشش گیاهی بوده و رژیم آبدهی حوضه نیز بارانی و شدت بارندگی در حوضه در حد ملایم قرار دارد، طبق روش آمبرژه این حوضه دارای اقلیمی معتدل و مرطوب می‌باشد و ارتفاع متوسط حوضه‌ی کسیلیان ۹۹۳ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد.

ضریب رواناب حوضه ۶۵ درصد می‌باشد این ضریب نشان‌دهنده‌ی این است که از ۱۰۰ درصد بارش ۶۵ درصد از بارندگی حوضه تبدیل به رواناب یا هرزاب می‌شود و نشان می‌دهد همبستگی خوبی بین بارش و رواناب ماهانه در حوضه وجود دارد، رابطه‌ی بین بارش و رواناب از نوع خطی می‌باشد که با توجه به کوچک بودن حوضه، بارش هر ماه رواناب همان ماه را نشان می‌دهد به طوری‌که با افزایش بارندگی در حوضه‌ی مورد مطالعه رواناب هم زیاد می‌شود. بیشترین میزان رواناب مربوط به ماه مهر می‌باشد که بیشترین بارندگی را دارا می‌باشد. هم‌چنین با توجه به بالا بودن زمان تمرکز در حوضه‌ی مورد مطالعه، خطر سیل‌خیزی کمتر و در نتیجه از قدرت فرسایش‌پذیری کمتری نیز برخوردار است.

دامنه‌ی تغییرات زهکشی در حوضه نسبتاً کم است بدین معنی که دبی سیلابی حوضه پایین می‌باشد (مهندسین مشاور رواناب، ۱۳۸۴).

خصوصیات فیزیکی حوضه‌های آبریز را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم‌بندی کرد که عبارت‌اند از:

- خصوصیات مربوط به پستی و بلندی
- خصوصیات مربوط به نفوذپذیری

این دو ویژگی از عوامل مؤثر بر ایجاد رواناب و سیل می‌باشد. نمایه‌های پستی و بلندی حوضه شامل سطح حوضه، شیب، الگوی رودخانه‌ای و نمایه‌ی نفوذپذیری شامل توان جذب آب به داخل خاک و ذخیره‌ی رطوبت در آن می‌باشد.

از لحاظ اقلیمی کلیه‌ی آمار و اطلاعات مربوط به بارش، دبی رسوب سالانه، رواناب ماهانه و ... طی سال‌های اندازه‌گیری در ادامه‌ی فصل سوم جمع‌آوری، پالایش و آنالیز خواهد گردید.

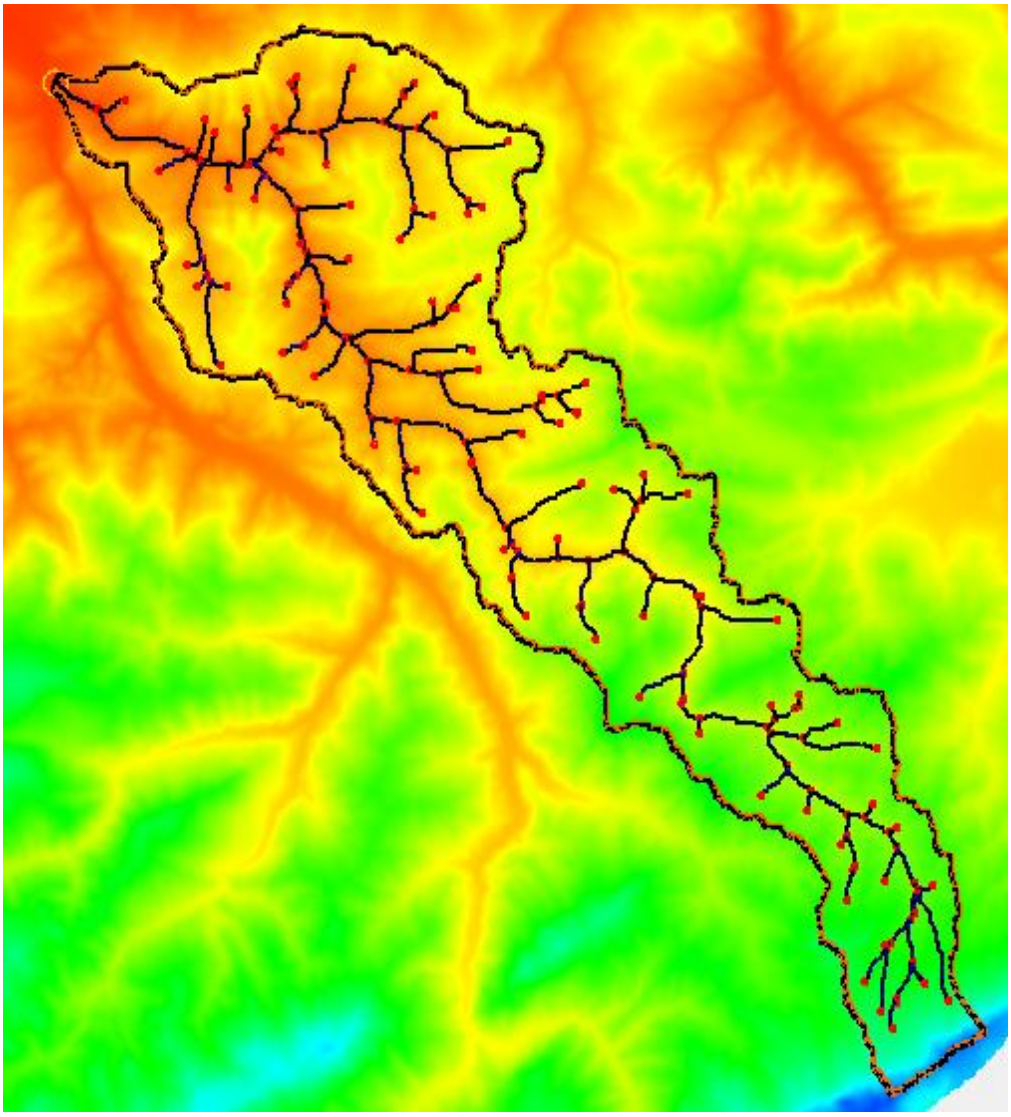
باید یادآور شد منطقه‌ی مورد مطالعه در جایی واقع شده که پوشش گیاهی به اندازه‌ی کافی وجود دارد و دارای پوشش جنگلی نیز می‌باشد پوشش گیاهی حوضه موجب می‌شود که قطرات باران با سرعت خود به زمین نخورند و با سرعت بسیار کمتری به خاک برخورد می‌کنند و در نتیجه انرژی جنبشی آن هم کاهش می‌یابد و به تبع آن فرسایش خاک هم کاهش زیادی می‌یابد و مورد دیگر این که گیاهان مقدار زیادی از آب را در زمین نفوذ می‌دهند زیرا پوشش گیاهی هم سرعت آب را کم می‌کند و هم ذرات خاک را در جای خود ثابت می‌کند و در نتیجه مقدار زیادی از آب به زمین نفوذ می‌کند که موجب کاهش فرسایش می‌شود ارقام به‌دست‌آمده نشان می‌دهد شدت بارش ملایم می‌باشد. البته قابل ذکر است در قسمت‌هایی از حوضه مورد مطالعه به علت ورود دام به منطقه و چرای بی‌رویه باعث از بین رفتن گیاهان شده‌اند که باعث سخت شدن اراضی مذکور گردیده و خود

باعث فرسایندگی باران می‌باشد. شکل (۳-۳) نمایی ازحوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی کسیلیان را نشان می دهد.

شکل (۳-۳) حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی کسیلیان

حوضه‌ی کسیلیان دربرگیرنده‌ی چند روستا و آبادی در کنار رودخانه می‌باشد که می‌توان به سنگده، درزی‌کلا، وزملا، ولیک چال، ولیک‌بن، اتو، سی‌پی و ولیلا اشاره نمود. حومه‌ی این آبادی‌ها زراعت آبی، دیم، مراتع و جنگل‌های تخریب‌شده مشاهده می‌گردد. سنگده به‌عنوان یکی از آبادی‌های مهم این ناحیه با فاصله‌ی ۲۵ کیلومتر به مسیر تهران قائم‌شهر در محور فیروزکوه وصل می‌شود و از سمت دیگر از طریق محمدآباد فریم و با فاصله‌ی ۱۰۰ کیلومتر به ساری راه می‌یابد. شیب متوسط حوضه که به صورت خودکار توسط نرم افزار محاسبه گردید برابر ۰/۲۹ m/m می‌باشد؛ و ارتفاع متوسط کل

حوضه نیز ۹۹۳ متر از سطح دریا می باشد در فصل چهارم به خصوصیات فیزیوگرافیکی حوضه پرداخته خواهد شد. شکل شماره (۳-۴) شکل حوضه‌ی آبریز کسیلیان شیرگاه را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴) حوضه‌ی آبریز کسیلیان در محیط نرم افزار **WMS**

۳-۳) هواشناسی حوضه

۳-۳-۱) مقدمه ای بر آب و هوای حوضه

به طور کلی آب و هوای استان مازندران بر پایه‌ی خصوصیات دما و بارش و توپوگرافی منطقه می‌توان به دو نوع آب و هوای معتدل خزری و آب و هوای کوهستانی تقسیم کرد. در نواحی معتدل خزری که شامل ارتفاعات پست تا ۱۵۰۰ متری را شامل می‌گردد که به دلیل رطوبت نسبی بالا و به دلیل

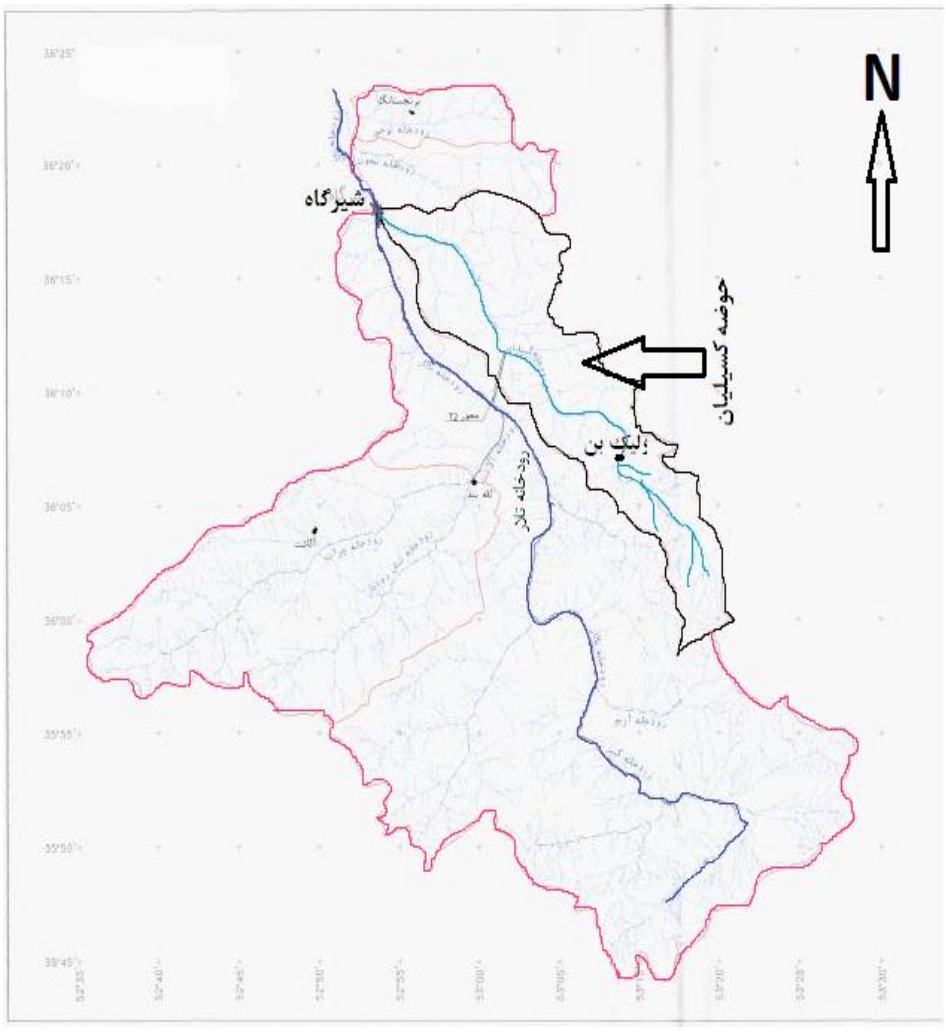
هم جواری با دریای خزر دارای هوای معتدل و دامنه‌ی دمایی اندک می‌باشد. با افزایش ارتفاع و دور شدن از دریای خزر شرایط آب و هوایی کوهستان حاکم است که همراه خود نشانه‌هایی چون کاهش متوسط درجه حرارت ماهانه، کاهش بارندگی، زمستان‌های سرد همراه با یخبندان‌های طولانی و تابستان‌های کوتاه را دارا می‌باشد (تارنمای هواشناسی استان مازندران).

. منطقه‌ی موردمطالعه تحت تأثیر سیستم‌های محلی و کلی جو قرار دارد. جریانات محلی باعث می‌گردد رطوبت ناشی از تبخیر آب دریا به سمت سواحل و دامنه‌های شمالی البرز کشیده شود کاهش درجه حرارت در ارتفاعات باعث تراکم هوا و در نتیجه ایجاد ابر می‌گردد که منشأ ریزش‌های جوی را تشکیل می‌دهد. این توده‌ی غالب قادر به عبور از ارتفاعات البرز نبوده و یا به عبارتی دشت‌های جنوبی البرز به ندرت تحت تأثیر این فعل و انفعالات قرار می‌گیرند. لذا منطقه‌ی تحت مطالعه همانند دیگر دشت‌های شمالی البرز، دارای هوای نیمه گرمسیری و مرطوب با تابستان‌های گرم است. ریزش‌های جوی سالانه در تمامی منطقه از جمله محدوده‌ی مورد مطالعه قابل ملاحظه است.

۳-۳-۲) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

ایستگاه‌های هواشناسی در این منطقه شامل ایستگاه‌های باران‌سنجی شیرگاه، اوریملک، سوت کلا، ولیک چال و اتو می‌باشد. در این پژوهش از ایستگاه‌های تبخیرسنجی سنگده و درزی‌کلا، ایستگاه باران‌سنجی شیرگاه و ایستگاه‌های سینوپتیک پل‌سفید و قراخیل استفاده گردیده است. ایستگاه تبخیر سنجی سنگده در ارتفاع ۱۳۳۷ متری از سطح دریا واقع شده است و دارای تجهیزاتی جهت اندازه‌گیری بارش، دما، تبخیر، باد و رطوبت می‌باشد. ایستگاه سنگده دارای باران‌نگار ثبات می‌باشد و به عنوان ایستگاه معرف هواشناسی در حوضه‌ی کسیلیان شناخته می‌شود. ایستگاه درزی‌کلا نیز در ارتفاع ۱۳۰۰ متری از سطح دریا واقع می‌باشد و از امکاناتی مشابه با ایستگاه سنگده برخوردار است

اما از باران‌نگار ثبات برخوردار نیست. ایستگاه باران‌سنجی شیرگاه نیز از دیگر ایستگاه‌های هواشناسی حوضه می‌باشد. مابقی ایستگاه‌ها در طی سالیان اخیر غیرفعال گردیده‌اند. دو ایستگاه سینوپتیک پل سفید و قراخیل هرکدام به ترتیب در ارتفاع ۶۱۰ متر و ۱۴ متری از سطح دریا واقع گردیده‌اند. این دو ایستگاه در حوضه‌ی رودخانه‌ی تالار قرار دارد ولی به دلیل مجاورت و مشابهت از این ایستگاه‌ها استفاده گردیده است. متوسط دمای سالانه سنگده ۱۱/۳ و درزی‌کلا ۱۱/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد؛ در ادامه به پارامترهای اقلیمی این حوضه بیشتر پرداخته خواهد شد.



شکل (۳-۵) حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی تالار و کسیلیان

۳-۳-۳) میزان بارش ایستگاه‌های هواشناسی

همانطور که پیشتر بیان شد توده هوای پرفشار سیبری که ذاتاً سرد و خشک می‌باشد پس از گذار از دریای خزر، رطوبت کسب کرده و با رانده شدن و برخورد با بلندی‌های شمالی البرز از جمله ارتفاعات کسیلیان ناگزیر به صعود گشته و پس از سرد شدن و عبور از تراز تقطیر، عمل تقطیر شکل گرفته و در صورت مهیا شدن شرایط می تواند منجر به بارش‌های باران و برف چشمگیر در فصل پاییز و زمستان گردد؛ اما این توده هوا نمی تواند در ارتفاعات جنوبی و دشت‌های آن منجر به بارش گردد. وزش بادهای شدید در دامغان، سمنان، شهمیرزاد و فیروزکوه که به بادهای تورانه مشهور می باشد و منجر به کاهش دما در این مناطق می‌گردد ناشی از همین فعل و انفعلات در شمال البرز می‌باشد. لذا تفاوت چشمگیری بین میزان بارش سالیانه در ارتفاعات شمالی البرز و دشت‌های جنوبی آن مشاهده می‌گردد به عنوان مثال شهر سمنان که در جنوب سلسله ارتفاعات البرز شرقی قرار گرفته از میزان بارش سالیانه ۱۴۰ میلی‌متر برخوردار می‌باشد که در برابر بارش‌های دشت‌ها و دامنه‌های شمالی البرز که در جدول (۳-۱) نیز ملاحظه می‌گردد بسیار ناچیز است.

در جدول (۳-۱) آمار بارش در ایستگاه‌های هواشناسی سنگده، درزی‌کلا و شیرگاه طی ۱۰ سال اخیر و ایستگاه‌های سینوپتیک قراخیل و پل سفید طی ۳۰ سال اخیر ملاحظه می شود.

جدول (۳-۱) میانگین بارش سالیانه ایستگاه‌های هواشناسی حوضه و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک

ایستگاه هواشناسی	میانگین بارش سالانه
شیرگاه	۱۰۱۹
سنگده	۸۰۵/۴
قراخیل	۷۳۲
درزی‌کلا	۶۵۲
پل سفید	۵۷۰/۹

۳-۳-۴) میانگین دمای سالانه حوضه

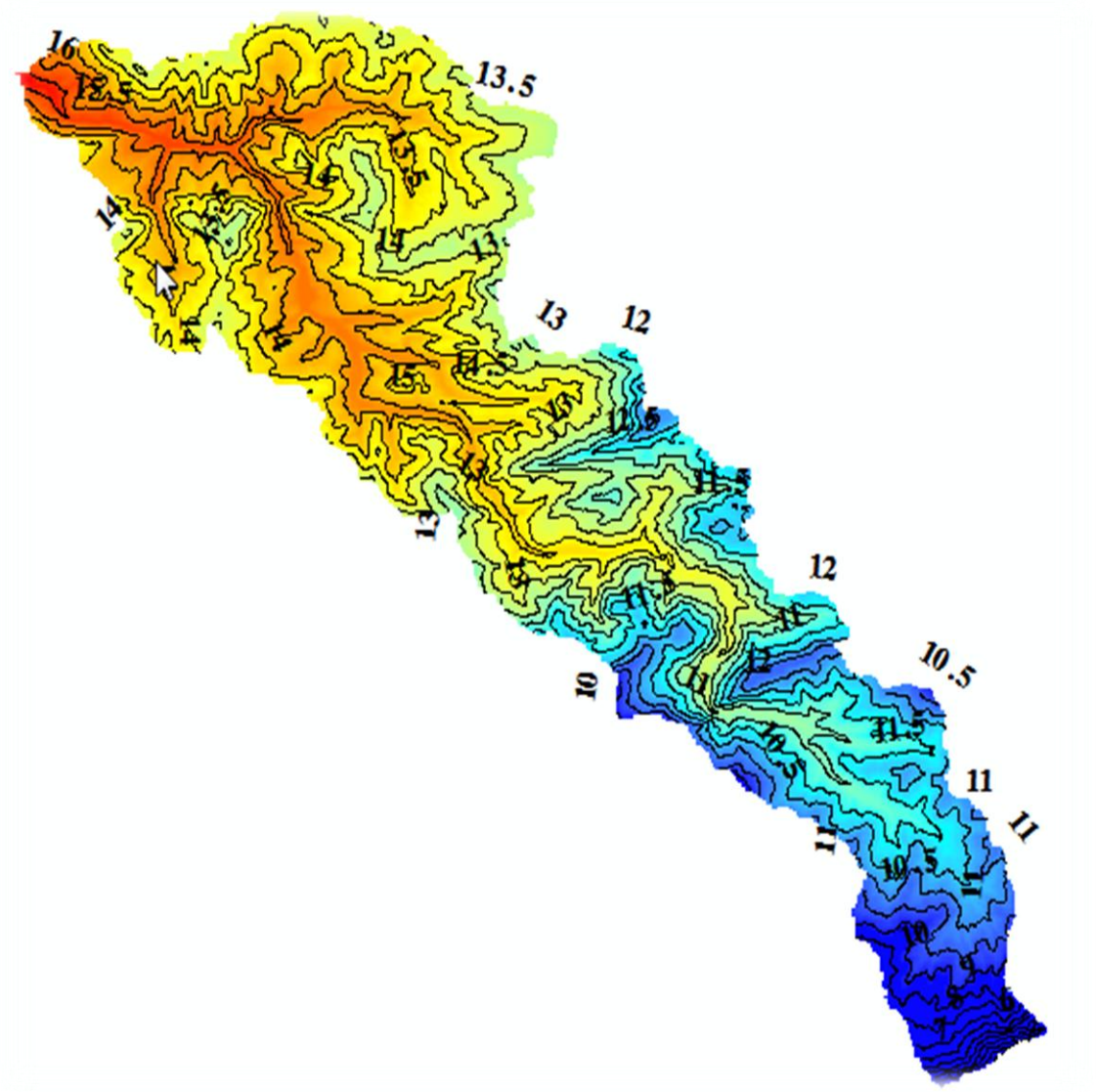
با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی که ۱۰ ساله هستند همبستگی زیر میان ارتفاع حوضه و دما برقرار شده است.

$$T = -0.004H+17.18 \qquad (۱-۳)$$

$$R=0.99$$

که در آن T برابر دما به درجه‌ی سلسیوس، H ارتفاع از سطح دریا به متر و R ضریب همبستگی می‌باشد گرادیان دما در حوضه برابر ۴ درجه‌ی سانتی گراد به ازاء هر ۱۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا محاسبه شد که به دلیل رطوبت بالای حوضه منطقی به نظر می‌رسد.

ضریب همبستگی در رابطه‌ی (۳-۱) برابر ۹۹ درصد می‌باشد که حاکی از ارتباط خطی با همبستگی بالا بین دما و ارتفاع از سطح دریا در ایستگاه‌های هواشناسی مذکور بوده است. پس از به دست آوردن رابطه‌ی (۳-۱) منحنی هم‌دما در محیط **Arc Map** تهیه گردید که بر اساس آن بیشینه میانگین دمای سالانه در حوضه برابر ۱۶/۲، کمینه‌ی میانگین دمای سالانه حوضه برابر ۴/۳ و میانگین دمای سالانه‌ی حوضه برابر ۱۳/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد محاسبه گردید.



شکل (۳- ۶) منحنی هم‌دمای حوضه‌ی کسیلیان (درجه‌ی سلسیوس)

۳-۳-۵) پارامترهای اقلیمی دیگر

با استفاده از آمار هواشناسی که از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران و اداره‌ی کل هواشناسی استان مازندران استخراج گردید؛ داده‌ها و پارامترهای هواشناسی زیر که برای سنگده و درزی‌کلا ۱۰ ساله و برای قراخیل و پل سفید ۳۰ ساله می‌باشد تهیه گردید. در جدول (۳-۲) پارامترهای اقلیمی ایستگاه موجود در حوضه و نزدیک به آن قرار گرفته است.

جدول (۳-۲) پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی حوضه و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک

نام ایستگاه	قراخیل	پل سفید	درزی‌کلا	سنگده
ارتفاع از سطح دریا به متر	۱۴	۶۱۰	۱۳۰۰	۱۳۳۷
میانگین دمای سالانه (سلسیوس)	۱۶/۹	۱۵	۱۱/۷	۱۱/۳
میانگین بیشینه دما (سلسیوس)	۲۱/۵	۱۹/۴	۱۸/۱	۱۸/۳
میانگین کمینه دما (سلسیوس)	۱۲/۳	۱۰/۳	۵/۲	۴/۴
بیشینه مطلق دما (سلسیوس)	۴۳	۴۰/۴	۳۹/۵	۳۸
کمینه مطلق دما (سلسیوس)	-۶	-۱۰	-۱۷/۵	-۱۷
میانگین رطوبت (درصد)	۷۹	۶۹	۷۸	۷۷
ساعت آفتابی در سال	۱۹۷۵,۷	۱۸۴۱	---	---
تبخیر (میلی‌متر)	۱۰۱۴/۷	۹۰۴	---	---
تعداد روزهای بارندگی	۱۱۷	۱۵۳	---	---
یخبندان (روز)	۱۴	۲۸	---	---
میانگین بیشینه رطوبت (درصد)	۹۵	۸۴	---	---
میانگین کمینه رطوبت (درصد)	۶۳	۵۳	---	---
بیشینه مطلق رطوبت (درصد)	۱۰۰	۹۹	---	---
کمینه مطلق رطوبت (درصد)	۹	۹	---	---

۳-۴) رودخانه‌ی کسیلیان

۳-۴-۱) رده‌ی رودخانه‌ی حوضه

چگونگی انشعاب و الحاق شاخه‌های مختلف تشکیل‌دهنده‌ی رودخانه‌ی اصلی یک حوضه‌ی آبریز را ترتیب آبراهه می‌نامند روش رده‌بندی رودخانه‌ها روش استرالر است که در آن هریک از آبراهه‌های انتهایی که به انشعابات کوچک‌تر تقسیم نشده باشد آبراهه‌ی درجه اول خوانده می‌شود. از به هم پیوستن دو آبراهه‌ی درجه اول، یک آبراهه درجه دوم و از به هم پیوستن دو آبراهه درجه دوم، یک

آبراهه درجه سوم و به همین ترتیب درجه‌ی N ام به وجود می‌آید. هرچه رده‌ی رودخانه در خروجی حوضه‌ی بزرگتر باشد. تخلیه سیلاب حوضه سریع‌تر خواهد بود (شکوهی و جعفرزاده، ۱۳۷۹).

برای حوضه‌ی شیرگاه با استفاده از نرم‌افزار GIS ترتیب آبراهه‌های حوضه به شکل خودکار محاسبه گردید و با استفاده از روش استرالر حوضه‌ی کسیلیان شیرگاه در خروجی دارای رودخانه‌ی درجه‌ی ۸ می‌باشد در شکل (۳-۷) شبکه‌ی آبراهه‌های حوضه‌ی کسیلیان ملاحظه می‌گردد.

شکل (۳- ۷) شبکه آبراهه های حوضه‌ی کسیلیان

۳-۴-۲) ایستگاه‌های هیدرومتری

حوضه‌ی کسیلیان دارای ۲ ایستگاه هیدرومتری می‌باشد نخستین ایستگاه واقع در ولیک‌بن با ارتفاع ۱۱۰۶ متر از سطح دریا و در موقعیت ۳۶/۰۵ شمالی و ۵۳/۱۰ شرقی واقع شده است و دربرگیرنده‌ی امکاناتی مانند اشل، پارشال فلوم بتنی و لمینوگراف می‌باشد. دومین ایستگاه در خروجی حوضه در شیرگاه و در ارتفاع ۲۲۶ متر از سطح دریا واقع گردیده است. موقعیت ایستگاه مذکور ۳۶/۱۸ شمالی و ۵۲/۵۳ شرقی می‌باشد.

۳-۴-۳) آمار ایستگاه‌های هیدرومتری ولیک‌بن

بر اساس جمع‌بندی آمار ۴۰ ساله متوسط آبدهی ماهانه در ایستگاه ولیک‌بن برابر ۰/۴۶ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد و متوسط حجم آبدهی سالانه برابر با ۱۴/۴۷ میلیون مترمکعب در سال است. پرآب‌ترین ماه سال فروردین با میانگین ماهانه ۱/۰۹ مترمکعب در ثانیه و کم آب‌ترین ماه سال در مرداد ماه با متوسط آبدهی ۰/۲۳ مترمکعب در ثانیه در رودخانه می‌باشد. حداکثر دبی میانگین ماهانه برابر ۲/۹۴ مترمکعب در ثانیه مشاهده گردیده است. حداکثر حجم سالانه برابر با ۲۶/۶۵ در سال ۸۶-۸۵ بوده است و حداقل آن برابر ۶/۷۵ در سال ۸۷-۸۶ رخ داده است. ماکزیمم دبی ماهانه ۲/۹۴ مترمکعب در ثانیه و در تاریخ اردیبهشت ۱۳۵۱ می‌باشد و مینیمم دبی ماهانه برابر ۰/۰۳ مترمکعب در ثانیه در شهریور سال ۱۳۶۵ رخ داده است.

۳-۴-۴) ایستگاه هیدرومتری شیرگاه

بر اساس گردآوری آمار ۴۶ ساله از سال زراعی ۳۵-۳۴ الی ۹۱-۹۰ متوسط آبدهی ماهانه تا ایستگاه شیرگاه برابر با ۳/۲۵ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. حجم آبدهی سالانه برابر با ۱۰۲ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. پرآب‌ترین ماه سال در فروردین برابر با میانگین ۵/۹۳ مترمکعب در ثانیه و کم آب‌ترین ماه سال در مردادماه برابر با میانگین ۱/۲۲ مترمکعب در ثانیه بوده است؛ حداکثر دبی

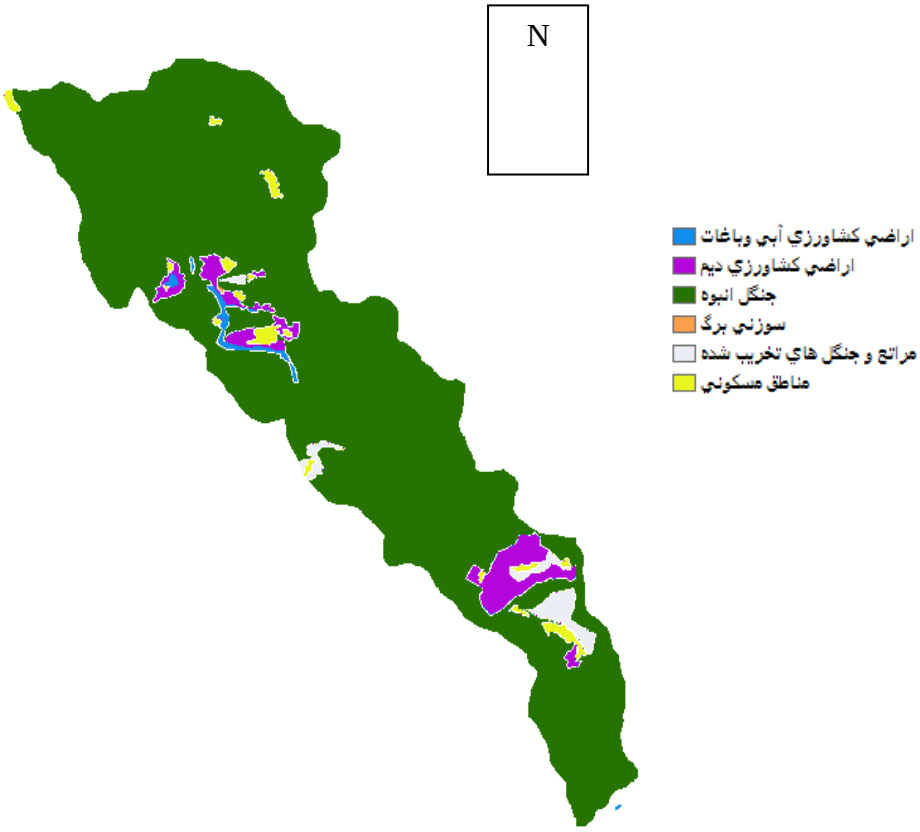
میانگین ماهانه برابر ۲۱/۱ مترمکعب بر ثانیه در اردیبهشت ۱۳۴۵ حداقل دبی میانگین ماهانه برابر با ۰/۷ مترمکعب در ثانیه در تیر ماه ۱۳۵۴ رخداده است. دبی متوسط رسوب نیز در ایستگاه شیرگاه برابر با ۲۶۹ تن در روز می‌باشد که بین سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۰ اندازه‌گیری شده است.

۳-۵) پوشش گیاهی حوضه‌ی کسیلیان

حوضه‌ی کسیلیان دارای پوشش گیاهی به شکل جنگل انبوه و نیمه انبوه، مزارع، درختان سوزنی‌برگ، درختان دست‌کاشت، باغات، زراعت دیم، زراعت آبی و جنگل‌های تخریب‌شده می‌باشد و در سمت جنوب حوضه محصولات کشاورزی به شکل آلوچه، سیب، گردو، فندق و گیلاس و محصولات زراعی مانند برنج و گندم مشاهده می‌گردد و در سمت شمالی حوضه به دلیل معتدل‌تر شدن هوا محصولات باغی بیشتر به شکل مرکبات می‌باشد. در بیشتر نواحی مسکونی حوضه به دلیل ساخت‌وسازها، تخریب شدید جنگل مشاهده می‌شود و در حاشیه‌ی رودخانه‌ها زراعت آبی همچون شالیزارها دیده می‌شود.

از درختچه‌های حوضه می‌توان به ازگل جنگلی، خرمای جنگلی، زالزالک و گردوهای جنگلی اشاره نمود. از درختان خودروی جنگلی در حوضه‌ی کسیلیان می‌توان به راش، افرا، توسکا، بلوط و شیر پنیر اشاره نمود. در ارتفاع بالاترحوضه به دلیل وجود یخچال‌های طبیعی و صخره‌ها، پوشش گیاهی بیشتر به شکل درختچه و درختان ارس می‌باشد. قرارگیری رشته‌کوه دو برار منجر به یخبندان‌های طولانی در دامنه‌های شمالی که پشت به آفتاب قرار دارند می‌گردد.

از سطح حوضه‌ی کسیلیان پس از مشاهدات میدانی ۱۰۵ عکس از پوشش گیاهی تهیه گردید و با استفاده از اطلاعات سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران، نقشه‌ی Landsat به همراه نقشه‌های تصاویر Google earth و مشاهدات میدانی نقشه‌ی کاربری اراضی تهیه گردید. شکل (۳ - ۸) نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه‌ی کسیلیان را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۳-۸) نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه‌ی کسیلیان

۳-۶) خاک حوضه

۳-۶-۱) بافت خاک

۲۵ نمونه از خاک حوضه در این پژوهش جهت تعیین بافت خاک برداشت شد و مشخص گردید بیشتر خاک حوضه از نوع لومی، رسی لومی، رسی، سیلتی رسی لومی می‌باشد.

۳-۶-۲) زمین‌شناسی و ساختار خاک حوضه

رشته‌کوه‌های البرز را به بخشی از سیستم چین‌خوردگی‌های آلپ مربوط دانسته‌اند. این رشته‌کوه‌ها در شرق و قسمت مرکزی، طاقدیس مرکبی را در حاشیه‌ی شمالی ایران مرکزی تشکیل داده است. بیشترین سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی این ارتفاعات مربوط به دوران مزوزوئیک بوده و از طبقات ضخیم آهک، ماسه وتوف با هسته پالئوزوئیک و اثرات پایه پرکامبرین می‌باشد (شریفی و همکاران، ۱۳۷۵)۰

در شکل (۳-۹) نقشه‌ی ساختار خاک حوضه‌ی کسیلیان نمایش داده شده است که با استفاده از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای در محیط Arc Map در این پژوهش تهیه شد.

شکل (۳-۹) نقشه‌ی ساختار خاک در حوضه‌ی کسیلیان

همان‌طور که در شکل (۳-۹) مشاهده می‌گردد از لحاظ نوع خاک قسمت‌های جنوبی‌تر از سازند شمشک با تناوب شیل و ماسه‌سنگ زغال دار تشکیل شده است. در قسمت‌های میانی‌تر مارن سنگ‌آهک، سازند دلیچای و سازند شمشک و کنگلومرای گچ دار مشاهده می‌شود. در نواحی شمالی‌تر حوضه عموماً جنس خاک کنگلومرای گچ دار، مارن سیلتی و ماسه سنگ آهکی و سنگ آهک ماسه‌ای می‌باشد.

۳-۷) شبیه‌سازی

با توجه به اهمیت چگونگی شکل‌گیری رواناب سطحی در یک حوضه‌ی آبریز، ارزیابی روش‌هایی که بتواند هیدروگراف سیل را با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز شبیه‌سازی کند حائز اهمیت می‌باشد (برگرفته از تارنمای rasekhoon.net).

شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه‌های آبریز و به ویژه در حوضه‌هایی که به نوعی با مناطق شهری در ارتباط هستند، برای کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی کارآمدتر امری ضروری می‌باشد. امروزه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی بارش_رواناب برای دسترسی به خصوصیات سیلاب از قبیل زمان رسیدن به دبی اوج متداول شده است در این ارتباط واسنجی و ارزیابی این مدل‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر شده است (اکبرپور و شریفی، ۱۳۸۴).

تعیین پارامترهای هیدرولوژی در طراحی سیستم‌های مدیریت منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به دبی اوج اشاره کرد. به دلیل محدودیت‌های مختلف در اندازه‌گیری این پارامترها ناچار به استفاده از مدل‌های بارش_ رواناب می‌باشیم که در حال حاضر ساختار این مدل‌ها به دلیل نیاز به دقت بالا از مدل‌های یکپارچه به‌سوی مدل‌های توزیعی تغییر یافته است. مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی با قابلیت تغییرپذیری مکانی خصوصیات حوضه و داده‌های بارش پتانسیل بالایی برای بهبود شبیه‌سازی هیدروگراف سیل دارند (برگرفته از profdoc.um.ac.ir).

۳-۸) نرم‌افزار WMS در مدل‌سازی حوضه های آبریز

پیشرفت‌های علمی اخیر باعث پیدایش و تکامل مدل‌های هیدرولوژیکی متعددی در زمینه‌های کنترل سیلاب، مدیریت منابع آب، بررسی تغییرات آب‌وهوایی و بررسی موارد مختلف در حوضه‌های آبریز شده است که بر اساس شبیه‌سازی هندسی حوضه‌های آبریز صورت می‌گیرد. یکی از این نرم‌افزارها، WMS است. نرم‌افزار WMS از مدل‌هایی است که قادر به مدل‌سازی هندسی و

هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز می‌باشد؛ نرم‌افزار WMS دارای ابزارهای برجسته و جامع در زمینه‌ی محاسبات هندسی حوضه می‌باشد. WMS یک محیط جامع برای تحلیل‌های هیدرولوژیکی است که توسط آزمایشگاه تحقیقاتی مدل‌سازی محیطی دانشگاه بریگم یانگ تولید شده و با همکاری شاخه‌ی مهندسی ارتش آمریکا در سراسر دنیا توسعه یافته است و به علت داشتن مدل‌های متنوع هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مناسب و کاربردی در نرم‌افزار WMS جهان برای مدیریت حوضه‌های آبریز و پیگیری نتایج طرح‌های خود از این نرم‌افزار استفاده می‌کند (Eturk et al., 2006).

مدل WMS یک مدل کارآمد در زمینه‌ی شبیه‌سازی سیلاب می‌باشد این مدل با استفاده از مدل رقومی حوضه‌ها توانایی بالایی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌ها و رودخانه‌ها از خود نشان داده است. با توجه به اهمیت تعیین میزان سیلاب‌های حوضه‌های آبریز مختلف در مطالعات منابع آب و با توجه به لزوم استفاده از مدل‌های جدید در تعیین پارامترهای هیدروگراف سیلاب، جا دارد جهت واسنجی این مدل‌ها و تطبیق آن‌ها با شرایط موجود در نقاط مختلف ایران مطالعاتی صورت گیرد (اکبرپور و شریفی، ۱۳۸۴).

در ضمیمه‌ی نسخه‌ی هفت این نرم‌افزار ابزار رایگان دیگری وجود دارد که به کاربر اجازه‌ی استفاده از رابط‌های گرافیکی را داده و کاربر را قادر به تنظیم هر نوع مدل هیدرولیکی می‌سازد. با توجه به اهمیت آب و پروژه‌های منابع آب و برق، نیاز کشور به خدمات تخصصی در بخش زیرساخت‌های عمودی و افقی و نقش آب در رشد کشور و خشکسالی‌های مزمن، خسارات شدید ناشی از سیلاب و از طرفی وضعیت استثنایی کشور از لحاظ منابع آبی در منطقه، مسائل چند جانبه‌ی پیرامون آب و وجود منافع سرشار ملی پیرامون این پدیده و مهار آب‌های سطحی، شرکت مهندسی مشاور بناب مصمم شدند به حیث نیروی متخصص با محور قرار دادن منافع ملی وارد عرصه‌ی مطالعات، برنامه‌ریزی و طراحی شوند تا ضمن ارائه‌ی خدمات مشاوره‌ای سهم فعالی در ایجاد زیربناها و توسعه‌ی کشور داشته باشند (اکبرپور و همکاران، ۱۳۸۷).

تحولات دنیای امروز بر اساس روابط استوار بوده که این روابط عمدتاً مبنای اقتصادی_سیاسی دارند. اصول اقتصادی را روابط تجاری، صنعتی و زراعتی کنترل می‌کند و پیشرفت صنعت و زراعت و پیامد آن، تجارت وابستگی خاصی به منابع آبی دارند. استفاده‌ی بهینه از منابع آبی جز با شناخت و اندازه‌گیری درست و مطمئن به راحتی امکان‌پذیر نیست و از آنجایی که تکنولوژی جدید نیز دستاورد روابط پیچیده‌ی جهان کنونی است؛ لذا با استفاده از دستاوردهای آن یعنی نرم‌افزارهای کامپیوتری این مهم به صورت علمی و به درستی برآورده می‌شود.

نرم‌افزار WMS نیز از جمله تکنولوژی‌های تحلیل حوضه‌های آبریز است که به صورت درست و جامع با موضوع برخورد می‌کند. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد. این نرم‌افزار توسط دانشگاه بریگم یانگ ایالات‌متحده‌ی امریکا به کمک بخش آزمایشگاه مهندسی هیدرولوژی تولید و گسترش داده شده است.

این نرم‌افزار با تلفیق امکانات GIS و مدل‌های هیدرولوژیکی متنوع توانسته است ابزاری قدرتمند در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز ایجاد کند؛ به طوری‌که ابتدا داده‌های خام ورودی توسط نرم‌افزار دریافت و پس از پردازش اولیه، برای ایجاد بستر رقومی مورد نیاز شبیه‌سازی، به فرمت TIN[1] یا DEM[2] تبدیل می‌گردند. سپس WMS با استخراج آبراهه‌ها و دریافت محل خروجی‌ها اقدام به تعیین حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها نموده و در نهایت با به‌کارگیری مدل مناسب هیدرولوژیکی، هیدروگراف حاصل از بارش را محاسبه می‌کند که این هیدروگراف را می‌توان به فراخور نیاز پروژه‌ی مورد مطالعه برای شبیه‌سازی دشت سیلابی رودخانه‌ها و اثرات تخریبی سیلاب و یا محاسبات هیدرولیکی سازه‌ها در مسیر آبراهه‌ها و در محیط‌های شهری برای طراحی سیستم سیلاب روی شهری به کار برد (برگرفته از تارنمای forum.arcgis.ir).

---

[1] - Triangulated Irregular Networks

[2]- Digital elevation models

در محیط‌های شهری به دلیل وجود خیابان‌ها و عوارض مصنوعی ایجاد شده، مسیر آبراهه‌ها فقط از شکل توپوگرافی زمین تبعیت نمی‌کند بلکه ساختار شهری و موقعیت خیابان‌ها و معابر تأثیر به سزایی در تعیین شکل و وسعت حوضه‌های آبریز دارند.

آنچه WMS را از سایر نرم‌افزارهای مشابه متمایز می‌کند ارائه‌ی مدل مفهومی است که می‌توان با به‌کارگیری این ابزار در بستر رقومی TIN اقدام به شبیه‌سازی حوضه‌های شهری نمود و با به‌کارگیری مدل‌های مربوط به هیدرولوژی شهری، حجم رواناب حاصل از بارش را محاسبه و در نهایت آن را به عنوان مقادیر ورودی در نرم‌افزار Storm Cad و یا مدل Storm Drain برای طراحی شبکه ی سیلاب روی شهری به کار برد (اکبرپور و همکاران، ۱۳۸۷).

به‌طورکلی می‌توان ویژگی‌های WMS را در خصوص سیلاب شهری به صورت زیر برشمرد:

۱- تهیه‌ی TIN و DEM و اصلاح آن‌ها

۲- استفاده از نقشه‌های **raster** و **CAD** به‌عنوان **Background Image** برای بررسی صحت داده‌های رقومی و نتایج آنالیزها

۳- استخراج آبراهه‌ها و نمایش مسیر جریان

۴-حوضه بندی بر مبنای مدل رقومی و آبراهه‌های استخراج‌شده

۵-حوضه بندی به صورت **Conceptual** بر مبنای مدل رقومی **TIN** با داشتن مسیر آبراهه‌ها و مرز تقریبی حوضه

۶- برآورد ضریب رواناب و شماره‌ی منحنی نفوذ توسط لایه‌های **GIS**

۷- محاسبه‌ی زمان تمرکز بر اساس روش **TR-55** و روابط متنوع از جمله کرپیچ و کربای

۸- استفاده از مدل‌های **HEC-HMS**، **HEC-1**، **TR-55**، **Rational** برای برآورد رواناب

۹- قابلیت اتصال به نرم‌افزارهای **HEC-HMS**، **HEC-RAS**، **Arc GIS** برای انجام آنالیزهای هیدرولوژیکی (اکبرپور و همکاران، ۱۳۸۷)

پس از کار با نرم‌افزار WMS از تجاربی که در زمینه‌ی آشنایی با نرم‌افزار، به دست آمد پیشنهاداتی به قرار ذیل ارائه می‌گردد:

- قبل از یادگیری نرم‌افزار، آشنایی با علم هیدرولوژی ضروری است.
- الزام آور بودن داشتن اطلاعات پایه در علم هیدرولیک برای کار با مدل جانبی HEC- RAS که در جهت تحلیل رودخانه استفاده می شود.
- آشنایی و کار با نرم‌افزارهای دیگر مهندسی یاری دهنده واقع می‌شود.

موضوع دیگر، در مورد کار با مدل هیدرولیکی HEC-RAS می‌باشد باید توجه داشت نسخه ۷ نرم‌افزار WMS فقط HEC-RAS 3.1.1 را پشتیبانی می‌کند و از نسخه‌های جدیدتر پشتیبانی نمی‌کند.

با ارائه‌ی نسخه‌ی هفت نرم‌افزار WMS مدل‌سازی هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS پشتیبانی شده و قابلیت یک‌جا سازی با مدل‌های هیدرولوژیکی به منظور انجام تحلیل‌های کامل دشت سیلابی به آن افزوده شده است. در ضمن مدل تخلیه‌ی سیلاب (برنامه‌ی HYDRA که توسط FHWA استفاده می‌شود) برای طراحی و تحلیل شبکه‌های تخلیه سیلاب، نیز بخشی از رابط‌های WMS است.

برنامه‌ی WMS ابزار بسیار جالبی برای توسعه‌ی مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی است. ولی نمی‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای دانش و تجربه‌ی مهندسی به حساب آید. پژوهشگر باید درباره‌ی

محدودیت‌ها و ساحه‌ی عمل مدل هیدرولیکی مورد نظر در استفاده از WMS آگاهی کافی داشته باشد.

از آنجایی که WMS نرم‌افزاری برای مدل کردن حوضه‌های آبریز می‌باشد؛ لذا برای مدل‌سازی حوضه‌های آبریز نیاز به ایجاد مشخصه‌های آن از جمله آبراهه‌ها، نوع خاک، نوع زمین و ... می‌باشد.

در فصل بعد در مورد مساحت، شیب، بلندترین فاصله‌ی جریان، بزرگترین طول حوضه‌ی آبریز، محیط حوضه و ... در حوضه‌ی آبریز کسیلیان بحث شده است. پس از انجام کار لازم با فرمت‌های ارتفاعی پس‌زمینه و آشنایی با آن‌ها، کار با رابط‌های WMS که تحلیل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی با کمک آن‌ها انجام می‌شود آغاز می‌شود.

نرم‌افزار WMS ۷.۱ شامل ۸ ماژول مختلف می‌باشد این ۸ ماژول عبارتند از:

- Terrain Data Module: فرمانی جهت بررسی و ویرایش پستی و بلندی‌های حوضه
- Drainage Module: ابزاری جهت محاسبه‌ی خودکار و ترسیم حوضه‌ی آبریز
- Map Module: فرمانی جهت نمایش و ساخت لایه‌های اطلاعاتی مرتبط با حوضه و دیگر اطلاعات وابسته به نقشه
- Hydrologic Modeling Module: فرمانی جهت تعریف و اجرای یکی از مدل‌های هیدرولوژیکی
- River Module: ابزاری برای ساخت مدل‌های هیدرولیکی تک بعدی
- Gis Module: ماژول مرتبط کننده‌ی نرم‌افزار GIS با مدل WMS
- 2-D Grid Module: ابزاری جهت آنالیز بارش_رواناب به روش GSSHA
- 2-D Scatter Point Module: ابزاری جهت درون‌یابی نقاط پراکنده‌ی دو بعدی

برنامه‌ی WMS ابزار قدرتمند گرافیکی برای ایجاد مدل و مشاهده‌ی نتایج در دست دارد. مدل‌ها با استفاده از نقشه‌های دیجیتالی و مدل‌های ارتفاعی به‌عنوان مرجع و نیز از منابع اطلاعات ساخته می‌شوند؛ که از جمله می توان به HEC-1، TR-55،HEC-HMS نام برد.

۳-۸-۱) مدل HEC-1

WMS یک رابط گرافیکی برای HEC-1 دارد. خصوصیات هندسی نظیر مساحت، طول و شیب به طور اتوماتیک از حوضه‌ی آبریز رقومی‌شده محاسبه می‌شوند. پارامترهایی مثل میزان تلفات جریان، جریان پایه، هیدروگراف واحد و داده‌های روندیابی به وسیله‌ی یک سری کادرهای محاوره‌ای متقابل، فعال می‌شوند. بعد از این‌که پارامترهای لازم برای تعیین مدل HEC-1 وارد شدند می‌توان به طور اتوماتیک فایلی ورودی با فرمت مناسب برای HEC-1 نوشت. این نرم‌افزار توسط مرکز مهندسی هیدرولیکی توسعه داده شده که برای شبیه‌سازی رواناب سطحی از یک بارندگی استفاده می‌شود. این برنامه از مدل هیدرولوژیک مدلینگ روی صفحه برنامه‌ی WMS پشتیبانی می‌شود. نتیجه‌ی دستورالعمل مدل‌سازی، محاسبه‌ی هیدروگراف جریان رودخانه در موقعیت مورد نظر حوضه‌ی آبریز رودخانه می‌باشد. در حال حاضر گروه مهندسین ارتش آمریکا بیشتر از HEC-HMS تا HEC-1 استفاده می‌کنند؛ اما محاسبات هیدرولوژیک موجود در HEC-1 تغییری نکرده است و نتایج هر دو مدل مشابه هم می‌باشند. مدل HEC-1 موجود در نرم‌افزار WMS در این پژوهش جهت شبیه‌سازی بارش_ رواناب مورد استفاده قرارگرفته است پارامترها و گزینه‌هایی که در منوی Basin Select نرم‌افزار مرتبط با HEC-1 جهت شبیه‌سازی قرارگرفته است عبارتند از:

۳-۸-۱-۱) Basin Data

در مؤلفه‌ی Basin Data یا اطلاعات حوضه می‌توان اطلاعات مربوط به نام حوضه (Basin name)، مساحت حوضه‌ی آبریز (Area)، میزان دبی پایه در هیدروگراف (Base flow

parameter) را مشاهده کرد. روش مورد استفاده برای جداسازی جریان پایه در مدل HEC-1 روش Recession می‌باشد.

۳-۸-۱-۲) بارش (Precipitation)

در مؤلفه‌ی بارش ۵ آیتم وجود دارد که در صورت موجود بودن اطلاعات هر کدام و در صورت نیاز می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. این ۵ آیتم عبارتند از:

- No precipitation
- Basin Average
- Gage
- Hypothetical Storm
- Probable maximum precipitation

در این پژوهش از منوی Basin Average استفاده گردید و بارش‌ها به شکل تجمعی در بازه‌های موجود در آن قرار داده شد.

۳-۸-۱-۳) تلفات حوضه (Loss method)

این بخش روش‌های متعددی برای محاسبه و شبیه‌سازی تلفات بارش در حوضه‌ی آبریز وجود دارد که این روش‌ها عبارت‌اند از:

- روش یونیفرم
- روش Exponential
- روش گرین آمپت
- روش هولتون
- روش SCS

۳-۸-۱-۴) روش هیدروگراف واحد

در روش هیدروگراف واحد (Unit hydrograph method)، پنج شیوه جهت محاسبه‌ی پارامترها و ضرایب مرتبط با حوضه، نظیر زمان تأخیر، زمان تمرکز و ضرایب ذخیره حوضه قرار داده شده این پنج روش عبارتند از:

- هیدروگراف واحد کلارک
- هیدروگراف واحد اشنایدر
- هیدروگراف واحد SCS
- هیدروگراف واحد گیون
- روش موج کینماتیک

در مؤلفه‌ی هیدروگراف واحد با انتخاب گزینه‌ی Compute Parameter می‌توان با روش‌هایی هم چون روش دنور، روش SCS، روش تیلور زمان‌تأخیر حوضه را محاسبه نمود. روش‌هایی همچون آدوت، کربای، رامسر و کرپیچ نیز جهت محاسبه‌ی زمان تمرکز حوضه وجود دارد.

۳-۸-۱-۵) Snow melt Data

برای شبیه‌سازی بارش_رواناب به روش HEC-1 می‌توان از گزینه‌ی Snow Melt Data استفاده نمود در حوضه‌های برف‌گیر، ذوب شدن برف‌ها تأثیر زیادی بر میزان رواناب حوضه می‌گذارد. این گزینه با دو روش Degree-Day و Energy-Budget Method جهت تأثیر ذوب برف بر میزان رواناب در مدل وجود دارد.

۳-۸-۱-۶) Routing Data

مدل WMS/HEC-1 از شش مدل هیدرولیکی جهت روندیابی رودخانه استفاده می‌نماید و با شش روش زیر قادر می‌باشد هیدروگراف سیلاب را در یک رودخانه و یا در یک کانال روندیابی نماید این شش روش عبارت اند از:

- ماسکینگام _کانج
- موج کینماتیک
- ماسکینگام
- استرادلر- استگر
- استورج
- کانوکس

۳-۹) نرم افزار Arc View /Arc Gis

ماژول GIS در WMS ابزار کاملی برای وارد نمودن، ایجاد و ویرایش اطلاعات رستری و وکتوری GISدر اختیار می‌گذارد. Arc View/Arc Gis عنصر ضروری برای نرم‌افزار WMS نمی‌باشد. بلکه خودWMS قابلیت کار با اطلاعات GIS در صورت نبود Arc Gis را دارد. برخی از داده‌ها نظیر کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک که با فرمت SHP در نرم‌افزار GIS تولید می‌شوند. پس از انتقال اطلاعات به WMS از طریق ماژول Module Gis فراخوانی می‌شوند.

۳-۱۰) نرم افزار Global Mapper

نرم‌افزار Global Mapper یکی از نرم‌افزارهای پرکاربرد در زمینه‌ی نقشه‌برداری و علوم وابسته می‌باشد که توسط شرکت Global Mapper تهیه شده است و کاربرد آسان‌تری نسبت به GIS دارد. از ویژگی‌های برجسته‌ی نرم‌افزار Global Mapper عبارت است از:

- به‌عنوان یک نرم‌افزاری برای نمایش انواع پایگاه داده‌های رستری و وکتوری در فرمت‌های گوناگون
- توانایی بارگزاری داده‌ها از دستگاه GPS و در صورت به‌کارگیری سیستم Online نمایش جایگاه شخص حامل GPS بر روی نقشه‌ها
- این نرم‌افزار قادر به اتصال و دسترسی مستقیم به منابع رایگان داده‌های ماهواره‌ای از جمله داده‌های ماهواره landsat و داده‌های توپوگرافی SRTM می‌باشد که افزون بر بارگذاری نمودن آن‌ها از سایت‌های مربوطه امکان ویرایش و ذخیره‌سازی داده‌ها در فرمت‌های گوناگون نرم‌افزاری را فراهم می‌آورد
- توانایی آماده‌سازی داده‌های سه‌بعدی و نمایش آن‌ها در زوایای گوناگون از کل مناطق جهان

بخشی از قابلیت‌های کلیدی این نرم‌افزار به شرح زیر است:

ورود داده‌ها به نرم‌افزار با فرمت‌هایی همچون ECW، DWG، SHP، تنظیمات دلخواه نرم‌افزاری، لایه‌بندی اطلاعات ترسیم، جست‌وجو، اندازه‌گیری مختصات، فواصل و مساحت‌ها، تبدیل سیستم‌های مختصات، تهیه‌ی فایل DEM، سه‌بعدی سازی، ادغام دو سطح با یکدیگر، ترسیم منحنی میزان، تهیه‌ی پروفیل‌های طولی از یک امتداد دلخواه، محاسبه‌ی ارتفاع، محاسبه‌ی احجام عملیات خاکی، دریافت تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌ها از اینترنت، ژئورفرنس کردن تصاویر دستی، ارتباط با دستگاه تهیه‌ی خروجی GPS و تبدیل نقشه‌ها با فرمت‌های گوناگون به یکدیگر و سازگار با نسخه‌های گوناگون ویندوز (برگرفته از تارنمای Climatology.ir).

فصل چهارم

نتایج و بحث

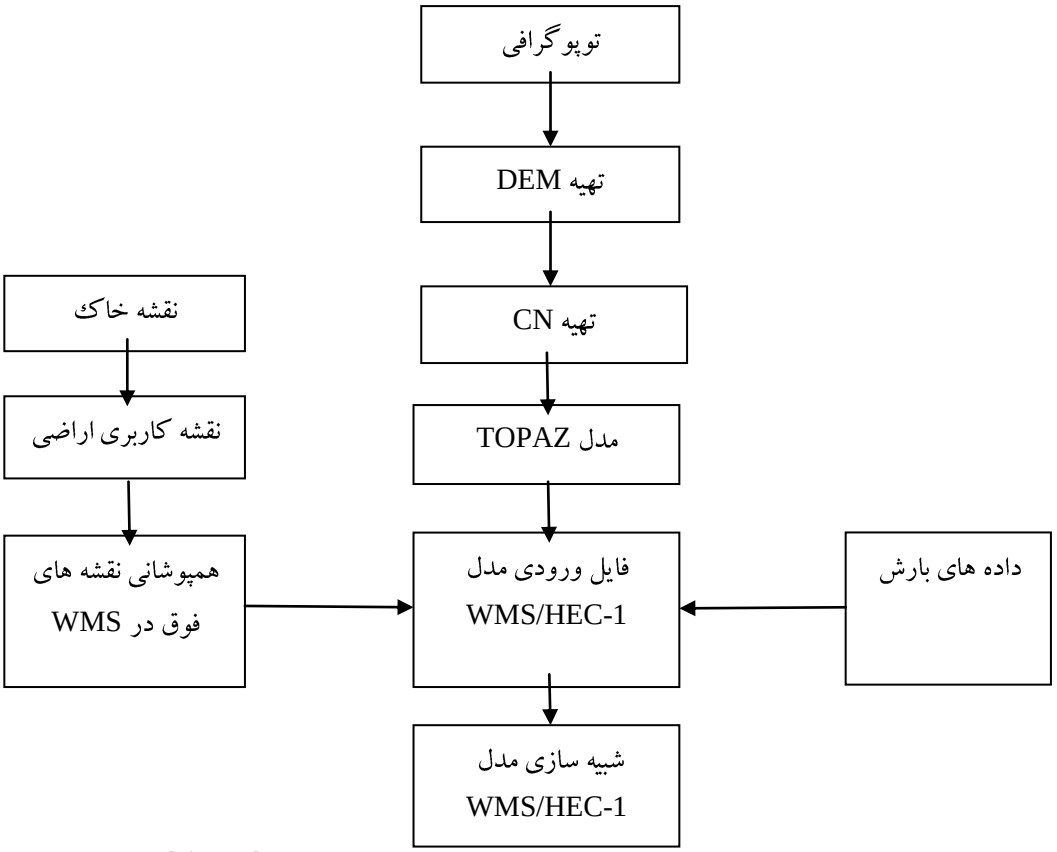
۴) نتایج و بحث

۴-۱) مدل WMS/HEC_1

۴-۱-۱) مقدمه

مدل HEC_1 یکی از ابزارهای نیرومند برآورد سیل طراحی می‌باشد که در سال ۱۹۸۴ به زبان برنامه‌ی فرترن توسط بخش مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات‌متحده‌ی آمریکا پایه‌گذاری و توسعه داده شد این برنامه و آموزش آن در اختیار عموم می‌باشد برنامه و مدارک آن نیز از طریق خدمات اطلاعات تخصصی ملی ایالات‌متحده در دسترس عموم در سراسر دنیا قرار گرفته شده است.

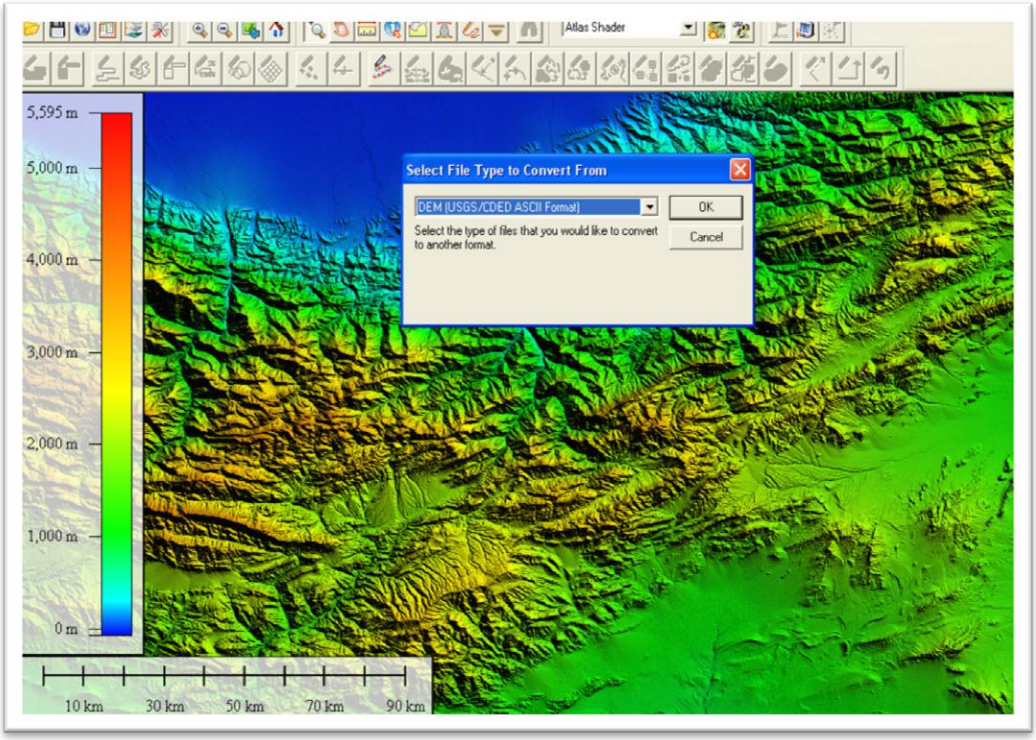
همان طور که در شکل (۴-۱) ملاحظه می‌گردد از شبیه‌ساز هیدرولوژیکی HEC-1 می‌توان جهت شبیه‌سازی یک حوضه‌ی آبریز استفاده نمود و با استفاده از داده‌های نقشه بافت خاک که شامل گروه هیدرولوژیک خاک می‌باشد به همراه نقشه‌ی کاربری اراضی که با کدهایی به نام LUCODE تعریف می‌گردند، نقشه‌ی CN تهیه می‌شود و پس از تهیه‌ی CN و با در اختیار داشتن نقشه‌های DEM از حوضه‌ی آبریز مورد پژوهش به همراه داده‌های بارش می‌توان اقدام به شبیه‌سازی نمود.



شکل (۴-۱) فلوچارت شبیه‌سازی بارش_رواناب به روش WMS/HEC-1

۴-۲) ساختن DEM حوضه‌ی کسیلیان توسط Global Mapper

به دلیل این‌که نقشه‌های موجود توپوگرافی در سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران و یا تصاویر ماهواره‌ای موجود در ماهواره‌ی Landsat با فرمت TIF هستند و در محیط نرم‌افزار WMS به نقشه‌هایی با فرمت DEM نیاز می‌باشد. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper این عمل انجام گرفت. روشی که در این نرم‌افزار انجام گرفت. روش نسبتاً سریع‌تری در مقایسه با تهیه‌ی نقشه‌ی DEM توسط اتوکد و GIS بوده است. حال برای شروع ساخت DEM با انتخاب گزینه‌ی Combine Terrain Layers در منوی File صفحه‌ی مطابق شکل (۴-۲) بازگردید. در شکل (۴-۲) نمایی از محیط نرم‌افزار Global Mapper دیده می‌شود.



شکل (۴-۲) نمایی از محیط نرم‌افزار Global Mapper

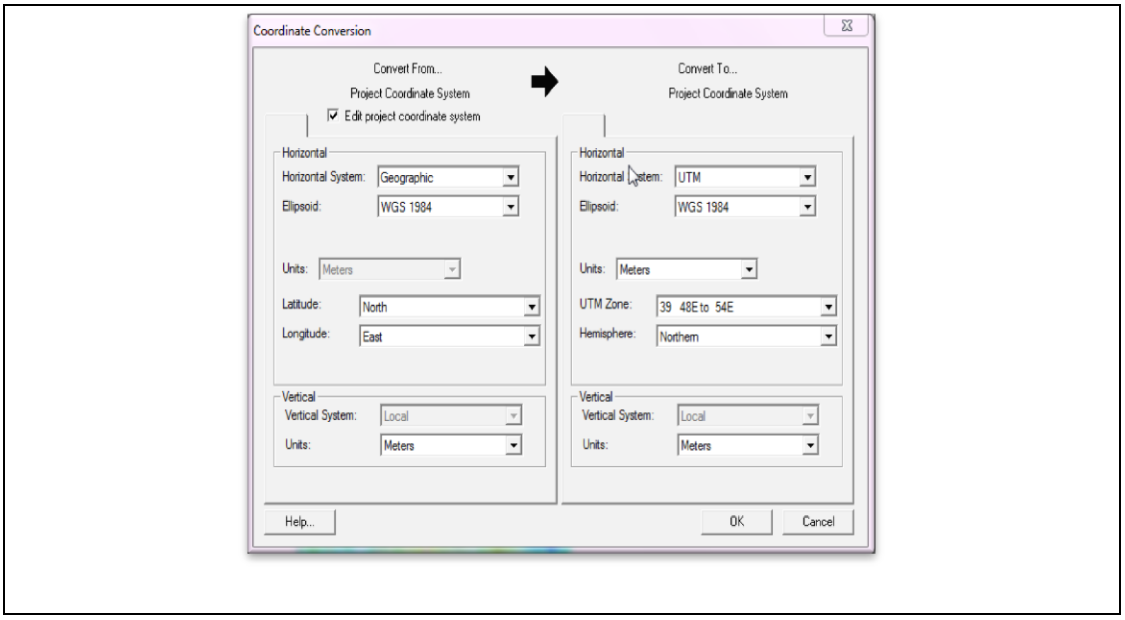
از لیست گزینه‌های موجود برای دریافت خروجی فرمت DEM را انتخاب کرده و Global Mapper نقشه‌ی TIF را به نقشه‌ای با فرمت DEM تبدیل گردانید.

شکل (۴-۳) ایجاد نقشه‌ی مورد نیاز با فرمت DEM در نرم‌افزار Global Mapper

۴-۳) تغییر سیستم جغرافیایی در محیط WMS

پس از فراخوانی نقشه‌ی حوضه در نرم‌افزار WMS بایستی سیستم مختصات جغرافیایی بازسازی گردد. انجام این عملیات از این جهت ناگزیر می‌باشد که اگر نقشه‌ها با سیستم مختصات جغرافیایی یکسان قرار نگیرد نقشه‌ها روی هم همپوشانی نمی‌شود و عملاً انجام محاسبات اشتباه خواهد بود. از این رو برای اصلاح سیستم مختصات جغرافیایی به منوی Edit رفته و در منوی Conversion Coordinate این عمل انجام گرفت، سپس Horizontal System از سمت چپ در حالت Geographic قرار داده و متناظر با آن در سمت راست در حالت Utm قرار می‌گیرد و

Elipsoid به حالت WGS 1984 قرار می‌گیرد و چون حوضه‌ی کسیلیان در Utm Zone 39 قرار دارد باید تنظیمات نقشه مطابق با شکل (۴-۴) گردد.



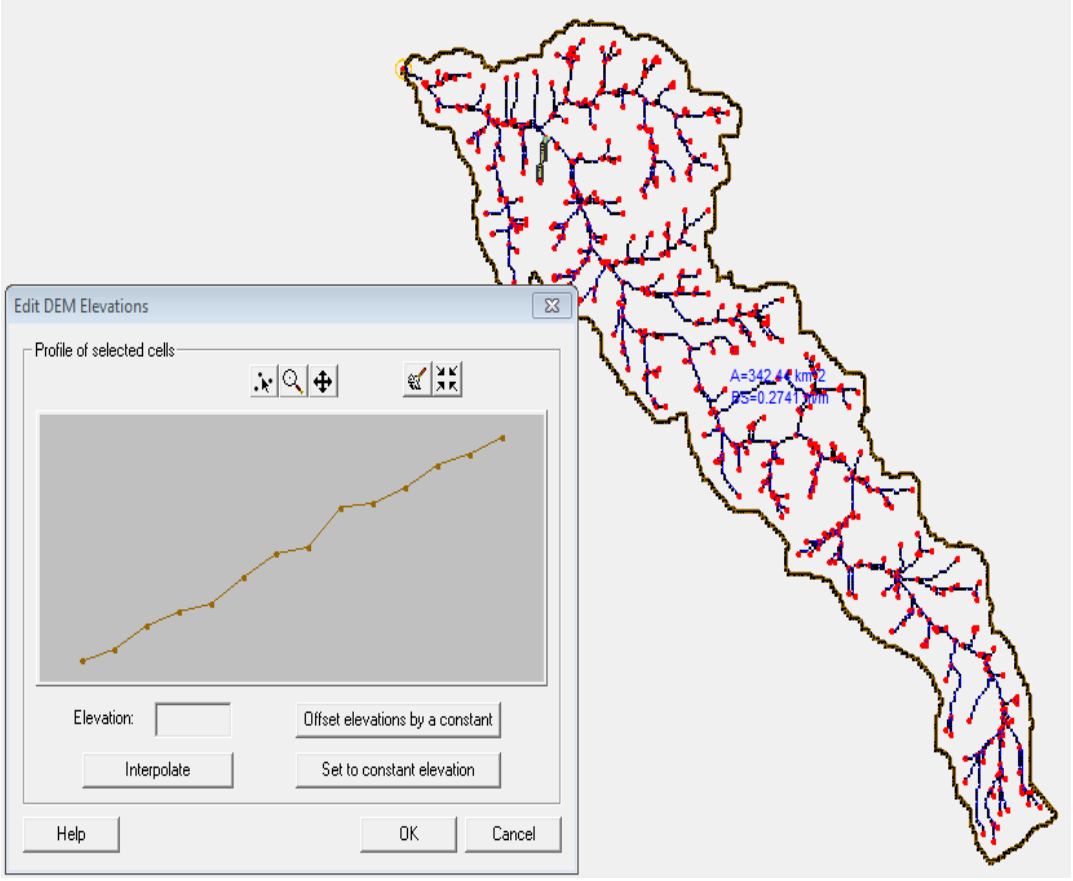
شکل (۴-۴) تغییر سیستم مختصات جغرافیایی در نرم‌افزار WMS

۴-۴) مشخص کردن مرز حوضه

نرم‌افزار WMS قابلیت محاسبه‌ی بسیاری از پارامترهای فیزیوگرافیکی یک حوضه‌ی آبریز را دارا می‌باشد به همین دلیل با استفاده از مدل WMS/TOPAZ که در درون این نرم‌افزار تعبیه شده است و با دادن مختصات جغرافیایی ایستگاه هیدرومتری ولیک بن که در ۳۶/۰۵ شمالی و ۵۳/۱۰ شرقی قرار دارد مرز حوضه ترسیم شد و نرم‌افزار به شکل خودکار مرزهای حوضه و شبکه‌ی آبراهه‌ی زیر حوضه‌ی ولیک بن را ترسیم نمود. سپس با گزینش ابزار Create Outlet Point در ماژول Drainage Module ایستگاه هیدرومتری شیرگاه که در طول جغرافیایی ۵۲/۵۳ و عرض ۳۶/۱۸ قرار دارد به عنوان خروجی کل حوضه‌ی کسیلیان- شیرگاه در نظر گرفته شد و مرزهای کل حوضه به شکل خودکار ترسیم گردید. بنا بر محاسبات مدل، مساحت زیرحوضه‌ی ولیک بن برابر ۶۷/۱۸ کیلومترمربع و مساحت کل حوضه‌ی کسیلیان تا شیرگاه برابر با ۳۴۲/۷۸ کیلومترمربع تعیین گردید.

۵-۴) قابلیت ویرایش پستی و بلندی‌های حوضه در مدل WMS

در بخش‌هایی از یک نقشه‌ی DEM احتمال آن وجود دارد که گودرفتگی‌های غیرطبیعی گودال‌ها و ... ملاحظه شود؛ لذا باید مسیر جریان آبراهه تصحیح گردد. انجام این مرحله از عملیات شبیه‌سازی زمان‌بر بوده و ممکن است روزها و هفته‌ها به طول انجامد. بدین منظور نقشه‌ی موجود حوضه‌ی کسیلیان با حضور در منطقه و بهره‌گیری از نقشه‌های گوناگون به دقت محاسبه گردید و برای انتقال اطلاعات مربوط به پستی و بلندی‌های حوضه در نرم‌افزار WMS از ماژول Terrain Data و ابزار Select Feature Arc استفاده شد. گودرفتگی‌ها یا خطای نقشه تصحیح گردید و در بخش‌هایی نیز مسیر آبراهه انترپوله شد.



شکل (۵-۴) نمایی از ویرایش پستی و بلندی حوضه در نرم‌افزار WMS

۴-۶) محاسبه‌ی خودکار پارامترهای فیزیوگرافیکی

پس از اجرای TOPAZ که مرز حوضه ترسیم گردید. به ویرایش پستی و بلندی‌ها و آبراهه‌ها مبادرت شد، در این مرحله خصوصیات فیزیوگرافیکی زیرحوضه‌ی ولیک بن و حوضه‌ی کسیلیان در خروجی شیرگاه به‌صورت خودکار محاسبه شد.

در جدول (۴-۱) خصوصیات فیزیوگرافیکی محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار WMS مربوط به زیرحوضه‌های ولیک‌بن و کسیلیان- شیرگاه آورده شده است. در این جدول علامت‌های اختصاری استفاده شده در مدل با معادل فارسی آن برای زیرحوضه‌های ولیک‌بن، زیرحوضه‌ی میانی که دربرگیرنده‌ی نواحی ایستگاه هیدرومتری ولیک‌بن تا شیرگاه می‌باشد به همراه کل حوضه‌ی کسیلیان آورده شده است.

جدول (۴-۱) مشخصات فیزیوگرافیکی حوضه‌ی کسیلیان

پارامترهای فیزیوگرافیکی حوضه‌ی کسیلیان		ولیک بن	ولیک بن تا شیرگاه	کل حوضه کسیلیان
مساحت حوضه	$A(km^2)$	۶۷/۱۸	۲۷۵/۶۰	۳۴۲/۷۸
شیب حوضه	$BS(\frac{m}{m})$	۰/۲۸۱۳	۰/۳۰۴۲	۰/۲۹۹۵
میانگین طول جریان	AOFD(m)	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۷۲
دامنه‌های شمالی حوضه	%NF	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۵۵
دامنه‌های جنوبی حوضه	%SF	۰/۳۳	۰/۴۸	۰/۴۵
فاصله مستقیم نقطه خروجی تا ابتدای حوضه	L(km)	۱۳/۶۱	۳۴/۳۳	۴۷/۳۷
محیط حوضه	P(km)	۵۷/۲۰	۱۲۶/۳۲	۱۶۴/۷۸
ضریب شکل حوضه	Shape $(\frac{mi'2}{mi'2})$	۲/۷۶	۴/۲۸	۶/۵۵
ضریب سینوسی	$Sin(\frac{msl}{l})$	۱/۰۶	۱/۲۷	۱/۲۳
ارتفاع متوسط حوضه	Avel (m)	۱۶۱۲/۵	۸۴۱/۸	۹۹۲/۸
بزرگ‌ترین طول آبراهه	MFD (km)	۱۶/۷۴	۴۵/۶۰	۶۰/۴۶۱
شیب بلندترین آبراهه	$MFS(\frac{m}{m})$	۰/۱۲۱۳	۰/۳۵۷	۰/۴۸۱
بزرگ‌ترین طول آبراهه اصلی	MSL(km)	۱۴/۴۰	۴۳/۶۱	۵۸/۱۲
شیب بزرگ‌ترین آبراهه اصلی	$MSS(\frac{m}{m})$	۰/۶۴۶۰	۰/۲۰۲	۰/۳۱۱
فاصله مرکز ثقل حوضه به نزدیک‌ترین جریان	CTOSTR(Km)	۰/۲۳	۰/۳۸	۰/۸۶
فاصله مرکز ثقل تا خروجی	CSD(km)	۶/۶۹	۲۰/۹۶	۲۶/۱۰
شیب جریان فاصله مرکز ثقل تا خروجی	$CSS(\frac{m}{m})$	۰/۳۵۸	۰/۲۰۳	۰/۱۸۰

۴-۶-۱) خصوصیات فیزیوگرافیکی زیرحوضه‌ی ولیک‌بن

همان‌طور که در جدول بالا مشاهده می‌شود در زیرحوضه‌ی ولیک‌بن که مناطق کوهستانی‌تر حوضه‌ی کسیلیان را تشکیل می‌دهد. ۶۷ درصد دامنه‌ها به سمت شمال می‌باشد. ارتفاع متوسط زیرحوضه‌ی ولیک‌بن برابر ۱۶۱۲,۵ متر از سطح دریا می‌باشد و شرایط کوهستانی حاکم می‌باشد. بزرگترین طول

آبراهه‌ی اصلی در زیرحوضه‌ی ولیک‌بن برابر ۱۴,۴ کیلومتر می‌باشد. مساحت زیرحوضه‌ی ولیک‌بن ۶۷,۲ کیلومتر مربع و محیط آن برابر ۵۷,۲۰ کیلومتر می‌باشد.

۴-۶-۲) خصوصیات فیزیوگرافیکی حوضه‌ی کسیلیان

مطابق جدول (۴-۱) حوضه‌ی کسیلیان ۳۴۲,۸ کیلومتر مربع مساحت دارد محیط حوضه ۱۶۴,۸ کیلومتر می باشد ارتفاع متوسط حوضه ۹۹۳ متر از سطح دریا می باشد و دارای ۵۵ درصد دامنه ی شمالی در برابر ۴۵ درصد دامنه ی جنوبی می باشد.

۴-۷) نقشه‌های مورد نیاز برای محاسبه شماره منحنی رواناب

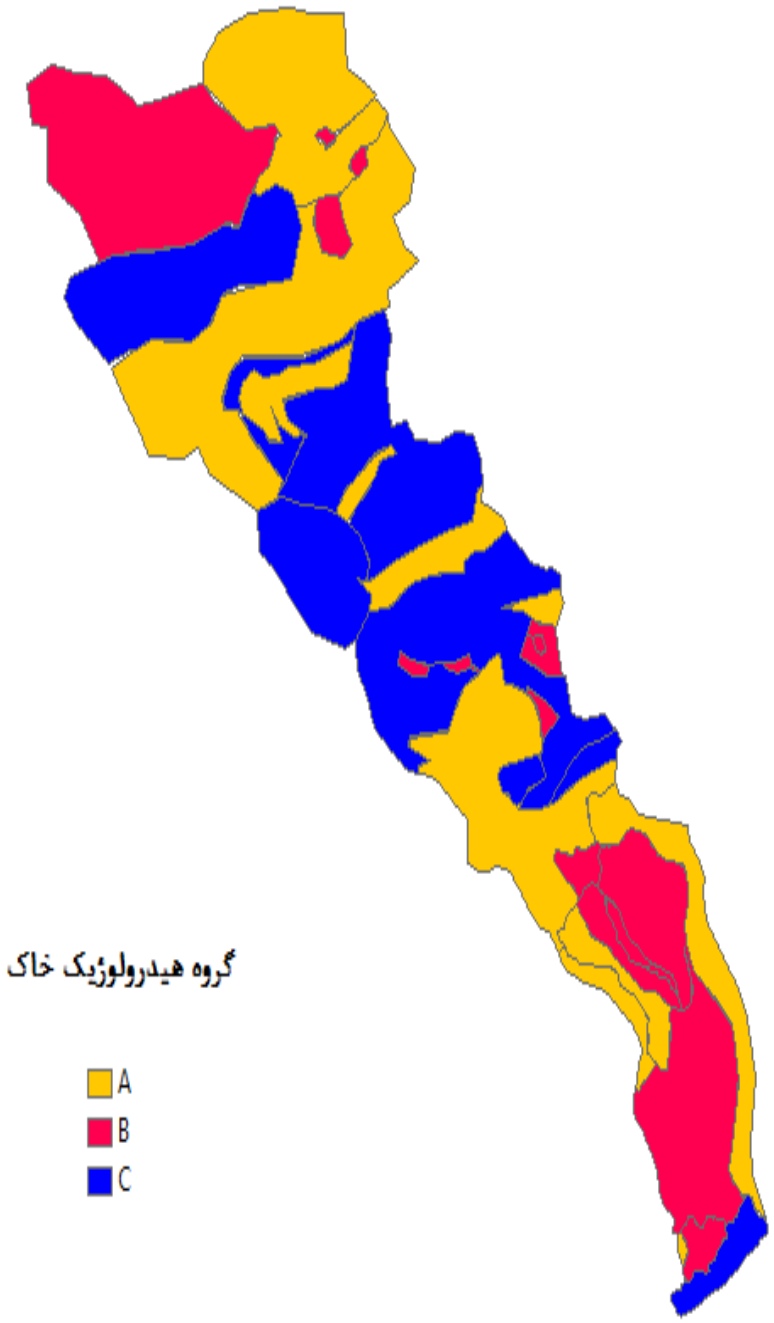
۴-۷-۱) نقشه‌ی کاربری اراضی

برای به دست آوردن شماره‌ی منحنی (CN) در روش هیدروگراف واحد SCS نیاز به نقشه‌ی کاربری اراضی (Land Use) و نقشه‌ی بافت خاک (Soil Type) جهت تعیین گروه هیدرولوژیک خاک می‌باشد؛ بدین منظور با استفاده از نقشه‌های Landsat و با استفاده از تصاویر تاریخ ۲۰۱۴/۰۵/۰۷ نرم‌افزار Google Earth پلی گون‌های لازم جهت ترسیم محدوده‌ی کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت و سپس با استفاده از داده‌های مشاهداتی و بازدید از منطقه‌ی کسیلیان به همراه داده‌های سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری اطلاعات مربوط به آن وارد گردید و نقشه‌ی کاربری اراضی با فرمت TIF در محیط GIS آماده شد؛ سپس با استفاده از جدول Lucode که کدهای مرتبط با هر نوع کاربری اراضی در محیط WMS می‌باشد نقشه‌ی کاربری اراضی تکمیل گردید. نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه‌ی کسیلیان در شکل (۳-۷) در فصل سوم آورده شده است.

۴-۷-۲) بافت خاک

برای نقشه‌ی شماره منحنی داشتن اطلاعات درباره‌ی گروه هیدرولوژیک خاک حوضه‌ی آبریز ضروری می‌باشد برای اخذ اطلاعات در این زمینه ۲۵ نمونه از خاک حوضه برداشت شد سعی شد نمونه های

انتخاب شده از پراکندگی مناسبی در حوضه برخوردار باشد نمونه های تهیه شده در آزمایشگاه تعیین بافت خاک گردید و پس از راستی‌آزمایی به همراه نقشه‌های موجود در سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری پلی‌گون‌های مربوطه بر روی حوضه در محیط Arc Gis ترسیم گردید و نقشه‌ی بافت خاک حوضه‌ی کسیلیان ساخته شد. شکل (۴-۶) نقشه ی گروه هیدرولوژیک خاک در حوضه‌ی کسیلیان را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۶) نقشه‌ی گروه هیدرولوژیک خاک در حوضه‌ی کسیلیان

۴-۷-۳) محاسبه‌ی CN مرکب

تهیه‌ی CN مرکب یکی از کاربردهای مهم نرم‌افزار WMS می‌باشد به‌طوری‌که پس از ورود اطلاعات بافت خاک و کاربری اراضی نرم‌افزار به شکل خودکار CN حوضه را محاسبه می‌نماید. بدین منظور برای حوضه‌ی کسیلیان CN مرکب از ادغام دو نقشه‌ی کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک توسط مدل WMS محاسبه گردید. جهت محاسبه‌ی CN مرکب نخست گروه هیدرولوژیک خاک و نقشه‌های کاربری اراضی وارد مدل گردید و در قسمت راست نرم‌افزار و در بخش منوهای شاخه‌ای (New Coverage) دو نقشه به نام Land Use و Soil Type انتخاب گردید و پس از واردکردن نقشه‌های فوق و هم‌پوشانی آن‌ها با استفاده از گزینه‌ی Compute Gis در قسمت Calculator جدول SCS Land را که شرح کاربری اراضی می‌باشد Import کرده تا به شکل خودکار CN حوضه را محاسبه نماید. CN مرکب محاسبه شده برای زیرحوضه‌ی ولیک‌بن، زیر حوضه میانی و کل حوضه شیرگاه- کسیلیان در جدول (۴-۲) آمده است.

جدول (۴-۲) محاسبه‌ی خودکار CN مرکب توسط WMS

حوضه‌ی آبریز	محاسبات CN مرکب
زیرحوضه‌ی ولیک بن	۷۵/۴
زیرحوضه‌ی میانی	۷۴/۹
کل حوضه‌ی کسیلیان	۷۵/۲

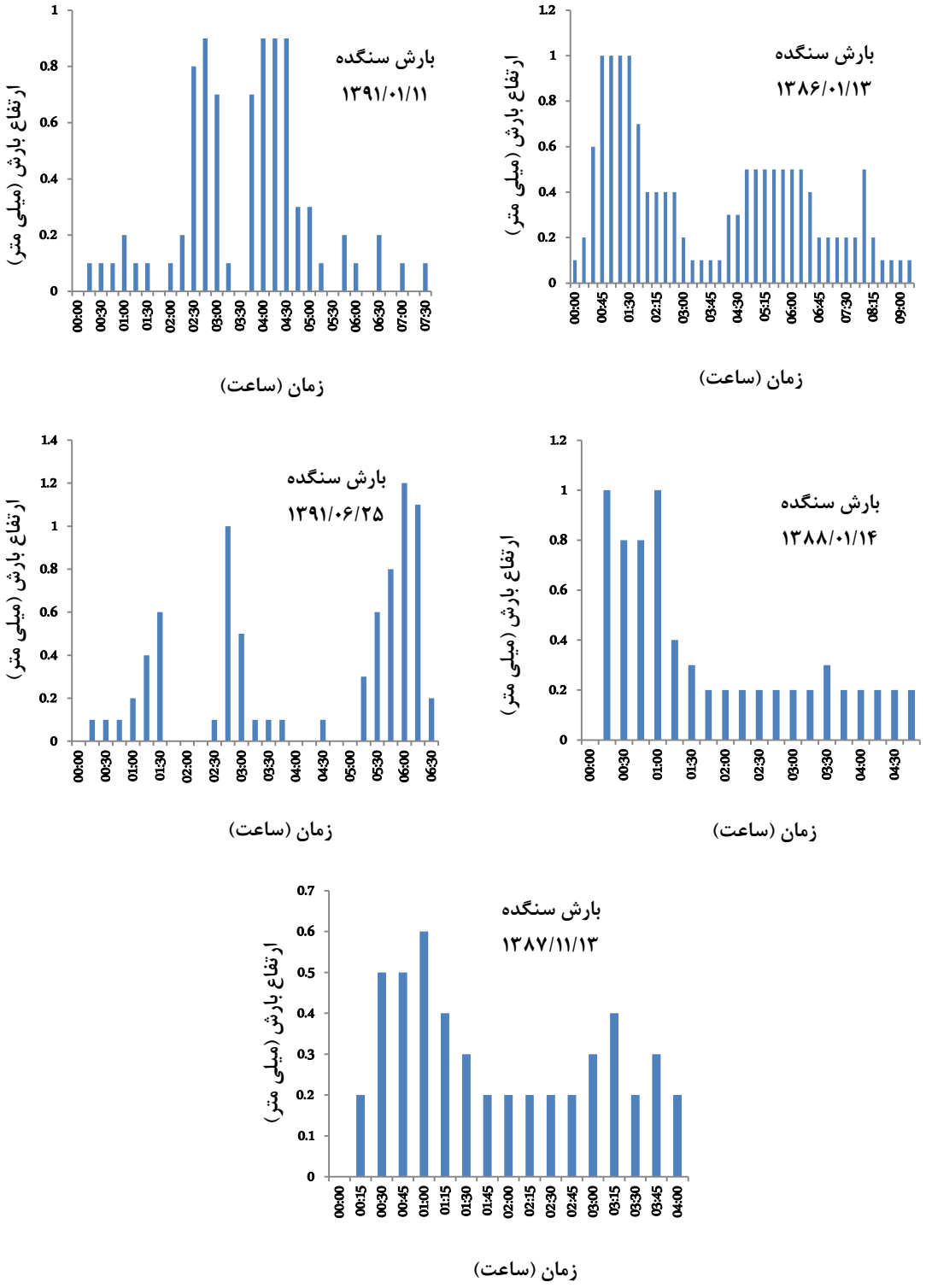
محاسبات نرم‌افزار WMS بر اساس نقشه‌های آماده شده؛ مبین تطابق عدد CN=۷۵ محاسباتی با عدد CNپیشنهادی سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران می‌باشد. لازم به ذکر است هرچقدر شماره ی منحنی به عدد ۱۰۰ نزدیک تر باشد بیانگر این مطلب می باشد که حجم وسیعی از بارش به رواناب تبدیل شده است و هرچقدر شماره‌ی منحنی به عدد صفر نزدیک‌تر باشد یعنی مقدار کمی از بارش به رواناب تبدیل شده است.

۴-۸) بارش

دیگر پارامتر مورد نیاز برای اجرای مدل، بارش می‌باشد. برای این منظور از آمار ایستگاه باران‌سنجی ثبات سنگده استفاده گردید. ایستگاه هواشناسی سنگده دارای باران‌سنج ثبات می‌باشد و بارش‌ها را در بازه‌های زمانی معین ثبت می‌کند. برای اجرای مدل نیاز به آمارهای بارشی بود که رواناب متناظر با آن ثبت و موجود باشد. لذا تنها از سه بارش موجود متناظر با سیلاب برای شبیه‌سازی تا ایستگاه هیدرومتری ولیک بن و از ۳ بارش دیگر متناظر برای کل حوضه‌ی کسیلیان تا شیرگاه مورد استفاده قرار گرفت. برای ایستگاه ولیک بن از سه بارش روزهای ۱۳۸۶/۰۱/۱۳ و ۱۳۹۱/۰۱/۱۱ و ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ مورد استفاده قرار گرفت. برای ایستگاه شیرگاه نیز از سه بارش روزهای ۱۳۸۷/۱۱/۱۳ و ۱۳۹۱/۶/۲۵ و ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ جهت شبیه‌سازی استفاده شد. میزان بارش هر یک از تاریخ‌های فوق در جدول (۴-۳) آمده است.

جدول (۴-۳) ارتفاع بارش به همراه تاریخ وقوع

تاریخ بارش	میزان بارش	ایستگاه مورد استفاده
۸۶/۰۱/۱۳	۱۳/۲ میلی‌متر	ولیک بن
۸۷/۱۱/۱۳	۸ میلی‌متر	شیرگاه
۸۸/۰۱/۱۴	۷ میلی‌متر	ولیک بن و شیرگاه
۹۱/۰۱/۱۱	۸/۳ میلی‌متر	ولیک بن
۹۱/۰۶/۲۵	۷/۷ میلی‌متر	شیرگاه



شکل (۴-۷) هایتوگراف رگبارهای بارش

جهت کالیبره نمودن مدل از ایستگاه‌های هیدرومتری ولیک بن و شیرگاه به صورت مجزا استفاده شد.

به عبارت‌دیگر ابتدا زیرحوضه‌ی ولیک بن کالیبره و با دو بارش دیگر صحت سنجی شد. سپس

کل حوضه‌ی کسیلیان کالیبره شد و با دو بارش دیگر صحت سنجی انجام پذیرفت. انجام هریک از دو مورد فوق در ۴ مرحله برای کالیبره نمودن انجام گرفت.

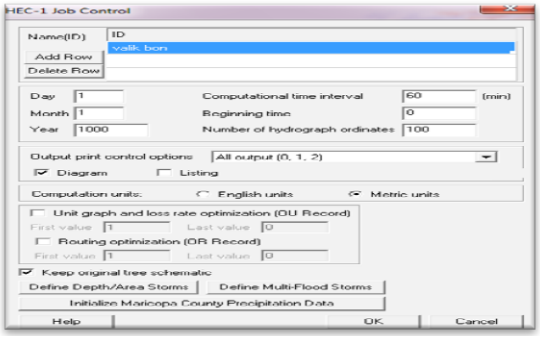
۴-۹) شبیه‌سازی بارش-رواناب ایستگاه ولیک بن

۴-۹-۱) مقدمه

شبیه سازی ابتدا در زیرحوضه‌ی ولیک بن انجام گرفت. زیرحوضه‌ی ولیک بن با مساحت حدود ۶۷,۱۸ کیلومترمربع در شمال سلسله ارتفاعات البرز شرقی و در استان مازندران واقع می‌باشد. ارتفاع متوسط زیرحوضه‌ی ولیک‌بن ۱۶۱۲,۵ متر از سطح دریا می‌باشد. بارش در ایستگاه باران سنجی سنگده اندازه گیری شده و میزان رواناب نیز در ایستگاه هیدرومتری ولیک بن اندازه گیری شده است. ابتدا از یک بارش که به صورت تصادفی انتخاب گردید. شبیه سازی انجام شد و مدل کالیبره گردید و از دو بارش دیگر جهت صحت سنجی بهره گرفته شد.

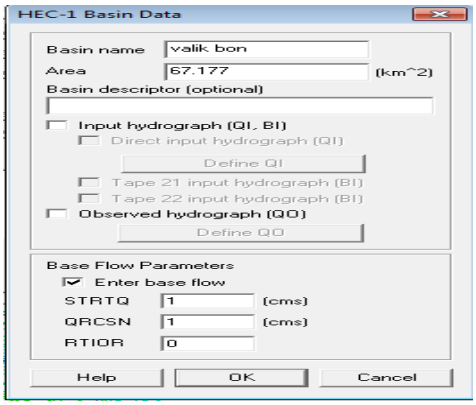
۴-۹-۲) مرحله‌ی کالیبره نمودن

برای شبیه‌سازی بارش_رواناب در زیرحوضه‌ی ولیک‌بن از آمار موجود در باران‌سنج ثبات سنگده و برای اندازه‌گیری رواناب از ایستگاه هیدرومتری ولیک‌بن استفاده گردید. برای شبیه‌سازی این زیرحوضه از بارش روز ۹۱/۱/۱۱ جهت کالیبره کردن و از بارش‌های روز ۸۶/۱/۱۳ و ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ جهت صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. جهت اجرای مدل ابتدا از ماژول Hydrologic modeling module استفاده می‌کنیم و مدل هیدرولوژیکی HEC-1 را انتخاب می‌کنیم و در منوی Computational Interval Time بازه‌های ۶۰ دقیقه‌ای برای رواناب محاسباتی جهت مطابقت با داده‌های مشاهداتی ساعتی انتخاب می‌کنیم و در قسمت Computation Units واحد محاسباتی مورد نظر را از English Unit به Metric تغییر می‌دهیم.



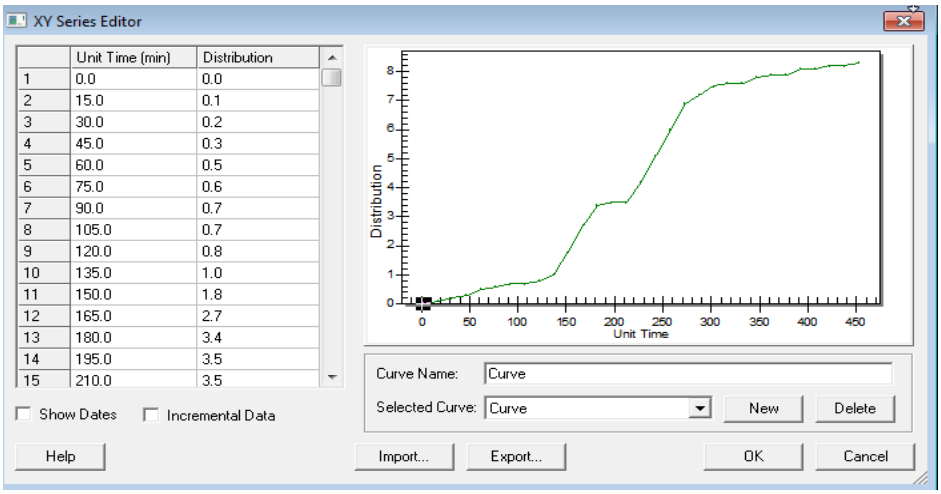
شکل (۴-۸) نمایی از محیط job control

سپس از طریق ابزار Basin وارد منوی Basin Data شده و دبی پایه‌ی مشاهداتی را که برابر با ۱ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد در قسمت Base Flow Parameters وارد می‌نماییم.



شکل (۴-۹) نمایی از محیط Basin Data

سپس وارد منوی Precipitation شده و با استفاده از گزینه Define Series میزان بارش تجمعی در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای را وارد می‌کنیم. شکل (۴-۱۰) در زیر بارش تجمعی را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۰) قرار دادن ارتفاع بارش تجمعی مورخ ۹۱/۱۱/۰۱ در مدل

۴-۹-۳) شبیه سازی به روش SCS Cruve Number در زیرحوضه‌ی ولیک‌بن

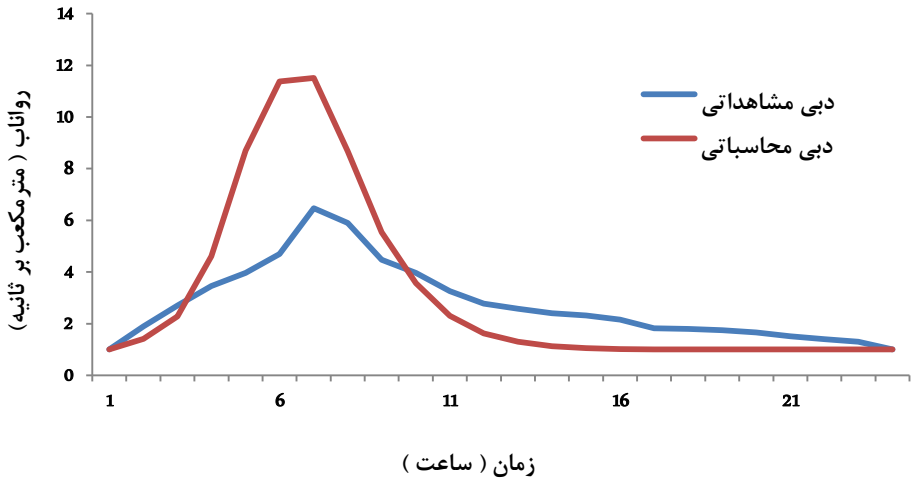
در ابتدا شبیه سازی به روش هیدروگراف واحد SCS انجام گرفت در این مرحله متغیر ما شامل CN و STRTL و RTIMP یا درصد غیر قابل نفوذ بوده است.

الف- سپس به Loss Method رفته و SCS Cruve Number (Ls) را انتخاب می‌کنیم برای شروع محاسبات شماره‌ی منحنی (CN) را بنا بر داده‌های به‌دست‌آمده برابر ۷۵ در نظر می‌گیریم و درصد غیر قابل نفوذ که در نرم‌افزار به شکل RTIMP نمایش داده شده را بنا بر پیشنهاد سازمان آب منطقه‌ای ۳۳ فرض می‌کنیم برای محاسبه STRTL مطابق با رابطه‌ی موجود در راهنمای نرم‌افزار از رابطه‌ی زیر استفاده گردید.

$$STRTL = 0.2\left(\frac{1000-(10CN)}{CN}\right)$$

(۴-۱)

پس از جای گذاری CN=۷۵ در رابطه‌ی بالا STRTL برابر با ۰/۶۶ اینچ محاسبه گردید و چون تنظیمات در job Control از واحد انگلیسی به متریک تغییر کرد مقدار ۱۶/۷ میلی‌متر در محاسبات وارد گردید.



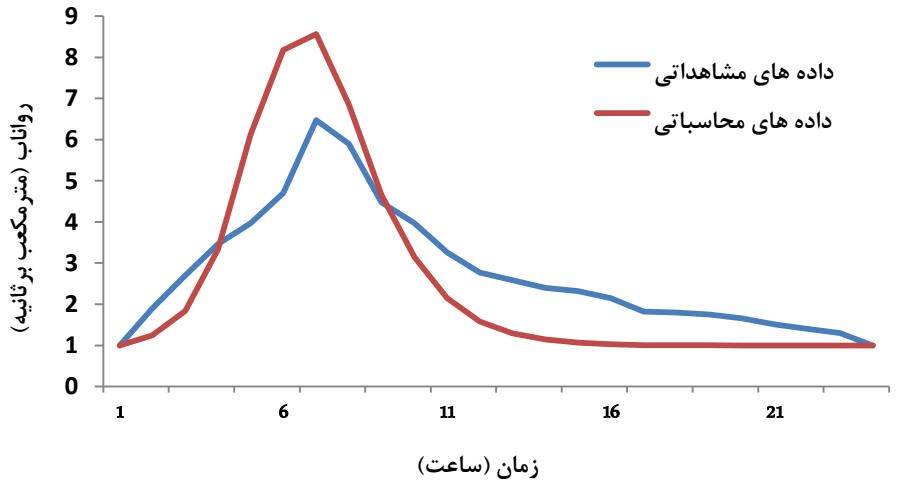
شکل (۴-۱۱) هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ولیک بن در اجرای اول **(CN=75)**

همان‌طور که در شکل (۴-۱۱) و جدول محاسبات (۴-۴) ملاحظه می‌گردد در مرحله‌ی نخست اجرای مدل اختلاف میان دبی اوج محاسباتی و مشاهداتی بسیار زیاد می‌باشد. علت این اختلاف بالا بودن مقدار CN تشخیص داده شد. به عبارت دیگر چون مقدار کمتری از بارش به رواناب تبدیل شده است و باید میزان CN کاهش یابد.

جدول (۴-۴) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در اولین مرحله در ولیک بن

مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف ایستگاه ولیک بن	هیدروگراف محاسباتی مدل	درصد خطای مدل
حجم سیلاب (m^3)	۲۹۵۶۰۵	۲۵۸۸۳۴	۱۲/۴
دبی اوج هیدروگراف (m^3/s)	۶/۴۷	۱۱/۵	۷۷/۷
زمان اوج هیدروگراف (min)	۳۶۰	۳۶۰	زیر یک درصد

ب- در مرحله‌ی بعد عدد شماره منحنی را به ۷۴ و ۷۳ و سرانجام ۷۲ رساندیم و به‌تبع آن **STRTL** به ۲۵,۷ و ۲۶,۹ و ۲۸,۱ میلی‌متر تغییر داده شد و محاسبات به شکل خودکار با محاسبه خودکار زمان تأخیر، دبی اوج، زمان رسیدن به اوج و حجم رواناب انجام گرفت.



شکل (۴-۱۲) هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ولیک بن در اجرای دوم (CN=72)

جدول (۴-۵) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در دومین مرحله در ولیک بن

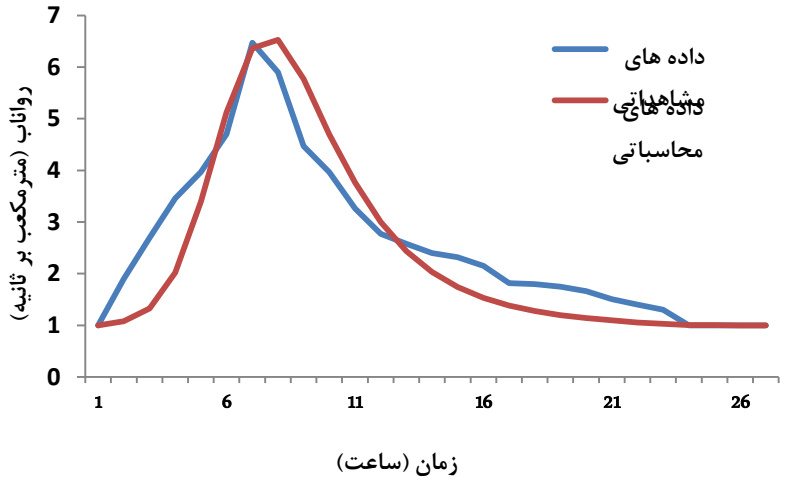
مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف ایستگاه ولیک بن	هیدروگراف محاسباتی مدل	درصد خطای مدل
حجم سیلاب (m^3)	۲۳۴۹۳۶	۲۰۲۲۳۰	۱۳/۹
دبی‌اوج هیدروگراف (m^3/s)	۶/۴۷	۸/۵۷	۳۲/۴
زمان اوج هیدروگراف (min)	۳۶۰	۳۶۰	۰

همان طور که در جدول (۴-۵) ملاحظه می‌گردد. درصد خطای نسبی در دبی اوج محاسبه شده با مشاهداتی به ازاء ثابت ماندن زمان اوج هیدروگراف کاهش یافته است؛ اما اختلاف حجم سیلاب محاسباتی و مشاهداتی رو به افزایش گراییده است. با توجه به این که هنوز اختلاف بین دبی اوج و حجم سیلاب محاسباتی و مشاهداتی زیاد می باشد. لذا در ادامه از روش هیدروگراف واحد کلارک جهت شبیه سازی استفاده شد.

۴-۹-۴) روش هیدروگراف واحد کلارک

روش هیدروگراف واحد کلارک یکی از روشهای موجود در مدل WMS بوده است که از ۲ متغیر ضریب ذخیره‌ی حوضه و زمان تمرکز برخوردار می باشد. در مرحله‌ی سوم و چهارم کالیبره کردن مدل از روش هیدروگراف واحد کلارک استفاده شد.

ج- در این مرحله با توجه به این‌که داده‌های مشاهداتی و محاسباتی به هم نزدیک شده‌اند. ولی اختلاف زیاد در حجم سیلاب مشاهداتی و محاسباتی دیده می‌شود. لذا در روش انتقال، روش هیدروگراف واحد کلارک را جایگزین روش هیدروگراف واحد **SCS** می‌نماییم و مدل به شکل خودکار زمان تمرکز را برابر ۳/۲۸ و ضریب ذخیره حوضه را برابر ۳/۲۲ محاسبه می‌کند و مدل را بار مجدد اجرا می‌نماییم. شکل (۴- ۱۳) که بیانگر داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. نشانگر آن است که درصد خطا در روش هیدروگراف واحد کلارک بهبود نسبی پیداکرده است.



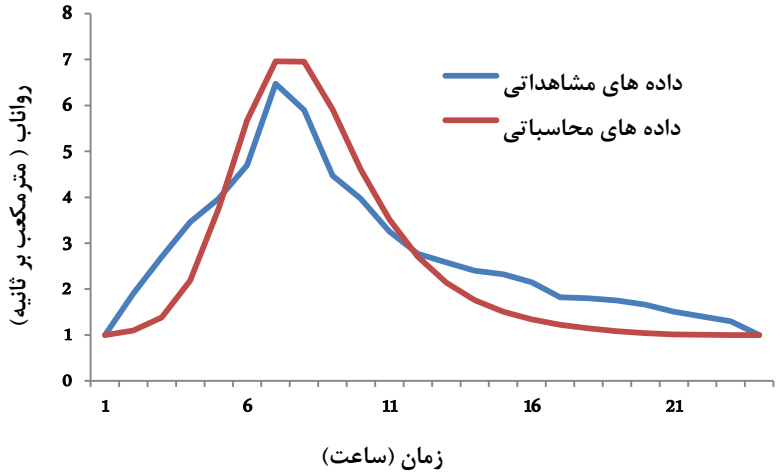
شکل (۴- ۱۳) هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ولیک بن در اجرای سوم

شکل (۴-۱۳) بیانگر نزدیک شدن داده های محاسباتی و مشاهداتی بوده است؛ اما جهت تنظیم زمان پایه‌ی هیدروگراف باید مقدار ضریب ذخیره‌ی حوضه در روش هیدروگراف واحد کاهش داده می شد. تا اختلاف بین زمان پایه‌ی محاسباتی و مشاهداتی به حداقل ممکن کاهش یابد.

د- در این مرحله در روش هیدروگراف واحد کلارک زمان تمرکز را که به شکل خودکار محاسبه گردیده را ثابت نگه می‌داریم و ضریب ذخیره‌ی حوضه که می‌توان آن را تغییر داد. جهت کالیبره نمودن طی چند مرحله تا ۲/۵ کاهش می‌دهیم و مدل دوباره اجرا گردید.

جدول (۴-۶) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی نهایی شبیه‌سازی ولیک بن

مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف ایستگاه ولیک بن	هیدروگراف محاسباتی مدل	درصد خطای مدل
حجم سیلاب (m^3)	۲۳۴۹۳۶	۲۱۶۰۰۹	۸
دبی اوج هیدروگراف (m^3/s)	۶/۴۷	۶/۹	۷/۵
زمان اوج هیدروگراف (min)	۳۶۰	۳۶۰	زیر یک درصد



شکل (۴-۱۴) هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ولیک بن در اجرای نهایی

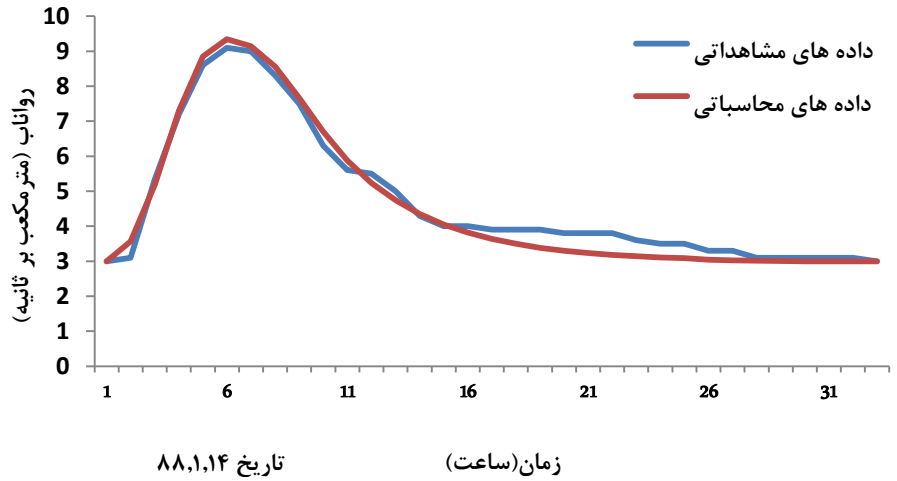
همان‌طور که در جدول (۴-۶) مشاهده می‌گردد با استفاده از روش هیدروگراف واحد کلارک میزان خطا در برآورد مشخصات هیدروگراف به نسبت زیادی قابل قبول گردیده است و میزان خطا در حجم سیلاب و دبی اوج هیدروگراف و زمان اوج آن به ترتیب به مقادیر ۸ و ۷/۵ و زیر یک درصد کاهش‌یافته است. در روش هیدروگراف واحد کلارک می توان با کالیبره کردن ضریب ذخیره ی حوضه به نتایج دقیق تری در امر شبیه سازی دست یافت.

۴-۹-۵) صحت سنجی نتایج مدل HEC-1 برای زیرحوضه‌ی ولیک بن

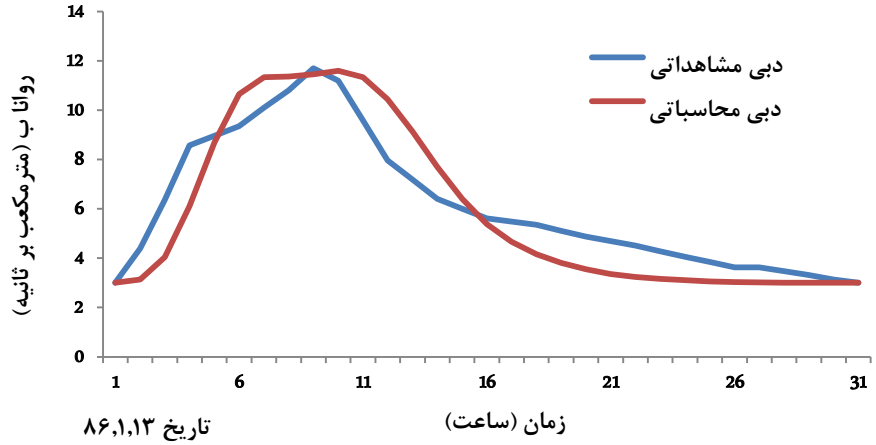
نکته‌ای که باید در محاسبات شبیه‌سازی بارش_رواناب توجه نمود این است که ممکن است پارامترهای ورودی در شبیه‌سازی دقیقاً مشابه یکدیگر نباشند. به‌عنوان نمونه در مرحله‌ی صحت سنجی مشاهده گردید که میزان شماره‌ی منحنی در دو نمونه صحت سنجی با شماره‌ی منحنی مرحله‌ی واسنجی مدل متفاوت می‌باشد. طبق پژوهشی که توسط شریفی و همکاران (۱۳۷۵) مطابق جدول (۲-۱) انجام گرفته است نشانگر این است که برای هر ۱۴ بارش میزان شماره منحنی متفاوت بوده است اما می توان مقداری برای شروع عملیات شبیه سازی پیشنهاد نمود.

مطابق شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) برای صحت سنجی مدل HEC-1 در شبیه‌سازی زیرحوضه‌ی ولیک بن از ۲ بارش دیگر در تاریخ‌های ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ و ۱۳۸۶/۰۱/۱۳ استفاده گردید و مدل اجرا گردید در بارش مورخ ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ تطابق زیادی بین داده های مشاهداتی و محاسباتی وجود داشته است.

هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی هر واقعه‌ی سیلاب در شکل های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) ترسیم گردید؛ هم‌چنین خطا در برآورد دبی اوج، حجم سیلاب و زمان رسیدن به اوج محاسبه گردیده و بیانگر دقت بالای مدل HEC-1 در شبیه‌سازی زیر حوضه‌ی ولیک بن بوده است.



شکل (۴-۱۵) هیدروگراف سیلاب محاسباتی و اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی صحت سنجی حوضه‌ی آبریز ولیک بن (سیلاب ۸۸/۰۱/۱۴)



شکل (۴-۱۶) هیدروگراف سیلاب محاسباتی و اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی صحت سنجی حوضه‌ی آبریز ولیک بن (سیلاب ۸۶/۰۱/۱۳)

جدول (۴-۷) نتایج صحت سنجی در ایستگاه ولیک بن

تاریخ وقوع رواناب	دبی اوج مشاهداتی (m^3/s)	دبی اوج محاسباتی (m^3/s)	درصد خطا دبی اوج	حجم سیلاب مشاهداتی (m^3)	حجم سیلاب محاسباتی (m^3)	خطای حجم سیلاب
۸۸/۱/۱۴	۹/۱	۹/۳۴	۲/۶	۵۴۵۹۴۰	۵۰۰۵۲۹	۸/۳
۸۶/۱/۱۳	۱۱/۷	۱۱/۶	۰/۸	۶۶۰۰۹۰	۶۲۲۶۴۵	۵/۶

۴-۱۰) شبیه‌سازی بارش-رواناب کل حوضه‌ی کسیلیان (شیرگاه)

۴-۱۰-۱) مقدمه

رودخانه‌ی حوضه‌ی آبریز کسیلیان از شمال ارتفاعات البرز شرقی در استان مازندران سرچشمه می گیرد و با پیمودن مسیری به طول ۵۸ کیلومتر در شیرگاه به رودخانه‌ی تالار متصل می‌گردد. ایستگاه هیدرومتری شیرگاه در شهر شیرگاه قرار دارد و در محل اتصال با رودخانه ی تالار میزان رواناب حوضه‌ی کسیلیان را اندازه‌گیری می‌کند. حوضه کسیلیان ۹۹۳ متر از سطح دریا ارتفاع دارد لازم به ذکر است که غالب حوضه ی کسیلیان را پوشش انبوه جنگلی تشکیل می دهد. مساحت این حوضه

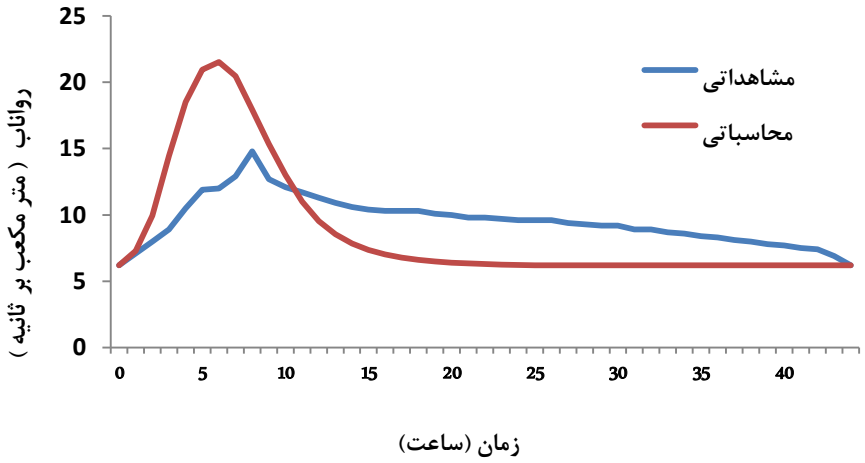
نیز ۳۴۲,۷۸ کیلومتر مربع می باشد. در کل حوضه ی کسیلیان نیز همانند زیرحوضه‌ی ولیک‌بن ابتدا مدل با یک بارش متناظر کالیبره شد و از دو بارش دیگر جهت صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب بارش جهت کالیبره شدن به شکل تصادفی انتخاب گردید. جهت شبیه سازی بارش_رواناب ابتدا از روش هیدروگراف واحد SCSاستفاده شد و در مراحل بعدی به روش هیدروگراف واحد کلارک تغییر داده شد و مدل کالیبره شد. در ادامه مراحل شبیه سازی کل حوضه ی کسیلیان توسط مدل WMS قرار داده شده است.

۴-۱۰-۲) مرحله‌ی کالیبره نمودن کل حوضه‌ی کسیلیان

پس از شبیه‌سازی زیرحوضه‌ی ولیک بن سرانجام شبیه‌سازی بارش_رواناب کل حوضه‌ی کسیلیان تا ایستگاه هیدرومتری شیرگاه انجام گرفت از بارش روز ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ جهت واسنجی مدل و از دو بارش روزهای ۱۳۹۱/۰۶/۲۵ و ۱۳۸۷/۱۱/۱۳ جهت صحت سنجی مدل استفاده گردید. جهت شبیه‌سازی هم زمانی بارش و رواناب امری ضروری می‌باشد. در این مرحله نیز همانند زیرحوضه‌ی ولیک بن چندین مرتبه پارامترهای مدل تغییر داده شد تا بهترین پاسخ ممکن از مدل به دست آید و کالیبره گردد در زیر مراحل انجام مدل‌سازی شرح داده‌شده است.

الف- در ابتدا با استفاده از مقادیر پیشنهادی آب منطقه‌ای میزان ضریب نفوذناپذیری برابر ۱۷، عدد شماره منحنی نیز برابر ۷۹ فرض گردید. علت کاهش انتخاب عدد ضریب نفوذ ناپذیری نسبت به زیرحوضه‌ی ولیک‌بن را می توان به دلیل پوشش انبوه جنگلی در دشت ها و جلگه های پایین دست زیر حوضه‌ی میانی از ولیک بن تا شیرگاه ذکر نمود پوشش انبوه جنگلی همانند آنچه پژوهشگرانی همچون احمدی ایلخچی و همکاران (۱۳۸۱)، علیدوست و همکاران (۱۳۸۵)، ذاکری نیری و همکاران (۱۳۹۱)، یمانی و همکاران (۱۳۹۲)، مقصودی و همکاران (۱۳۹۲) و... که در مطالعات پیشین در فصل دوم آمده است به آن پرداختند تاثیر به سزایی بر رواناب و سایر پارامترها در حوضه‌ی آبریز دارد.

STRTL نیز برابر ۱۳/۲ میلی‌متر محاسبه گردید. جهت شبیه‌سازی ابتدا روش هیدروگراف واحد SCSمورد بررسی قرار گرفت. نتایج نخستین مرحله نشان داد که اختلاف زیادی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی وجود دارد و نیازمند کالیبره شدن می‌باشد



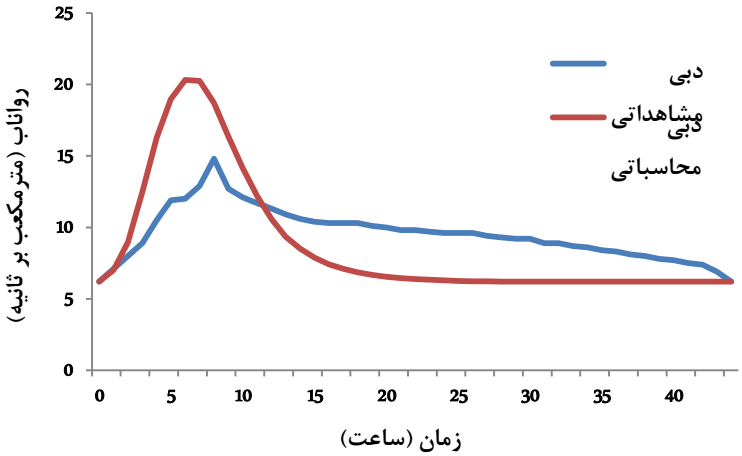
شکل (۴-۱۷) هیدروگراف سیلاب شیرگاه حاصل از اجرای اول مدل و اندازه‌گیری

جدول (۴-۸) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی اول شبیه‌سازی در شیرگاه

مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف مشاهداتی شیرگاه	هیدروگراف محاسباتی مدل	درصد خطای مدل
حجم سیلاب (m^3)	۱۵۴۶۵۶۰	۱۰۱۰۵۲۰	۳۴/۷
دبی اوج هیدروگراف (m^3/s)	۱۴/۸	۲۱/۵۲	۴۵/۴
زمان اوج هیدروگراف (min)	۴۸۰	۳۶۰	۲۵

همان گونه که در جدول (۴-۸) مشاهده می شود در هر سه پارامتر اختلاف زیادی بین داده های مشاهداتی و محاسبه شده ملاحظه می گردد. لذا برای کاهش اختلاف مقدارCN را کاهش می دهیم. با این عمل باید پارامترهای محاسباتی و مشاهداتی به هم نزدیک تر گردد.

ب) در این مرحله‌ی شماره منحنی (CN) را از ۷۹ به ۷۸ و ۷۷ و ۷۶ تا ۷۵ کاهش دادیم میزان STRTL که وابسته به شماره منحنی CN می‌باشد را از ۱۳/۲ به ۱۶/۶ میلی‌متر مطابق CN=۷۵ رسانده و مدل دوباره اجرا گردید.



شکل (۴- ۱۸) هیدروگراف سیلاب شیرگاه حاصل از اجرای دوم مدل و اندازه‌گیری

جدول (۴-۹) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی دوم شبیه‌سازی در شیرگاه

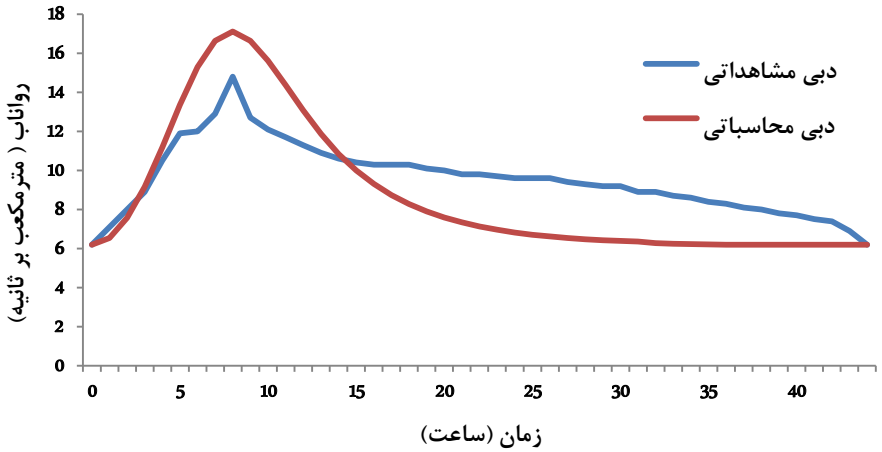
مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف مشاهداتی شیرگاه	هیدروگراف محاسباتی مدل	درصد خطای مدل
حجم سیلاب (m^3)	۱۵۴۶۵۶۰	۱۰۷۷۴۹۸	۳۰/۳
دبی اوج هیدروگراف (m^3/s)	۱۴/۸	۲۰/۳	۳۷/۱
زمان اوج هیدروگراف (min)	۴۸۰	۳۶۰	۲۵

به دلیل اینکه هنوز درصد خطای نسبی بالاست؛ در ادامه از روش هیدروگراف واحد کلارک جهت شبیه سازی استفاده می کنیم.

۴-۱۰-۳) هیدروگراف واحد کلارک در شبیه سازی حوضه‌ی کسیلیان

ج) در مرحله‌ی سوم جهت شبیه‌سازی روش هیدروگراف واحد کلارک را جایگزین روش هیدروگراف واحد SCS می‌نماییم با اینکه روش SCS روش مناسب جهت شبیه‌سازی می‌باشد اما در پژوهش اخیر بارها برتری روش هیدروگراف واحد کلارک بر روش SCS در شبیه‌سازی بارش_رواناب در حوضه‌ی کسیلیان ثابت گردید. حال در روش هیدروگراف واحد کلارک، CN و ضریب نفوذناپذیری

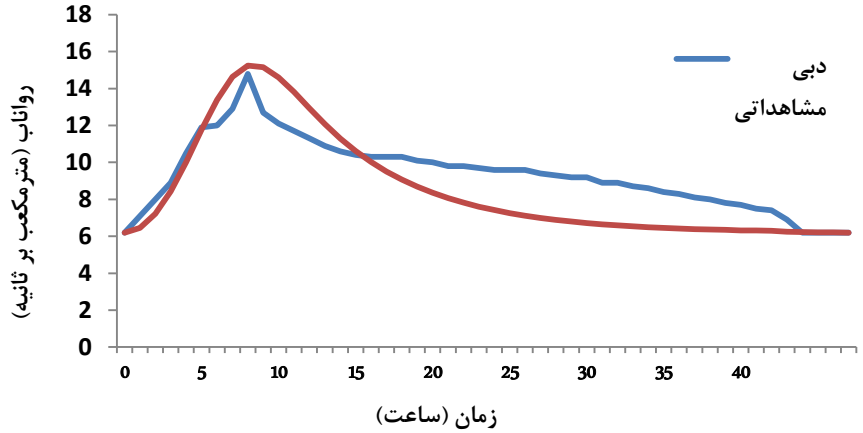
را ثابت نگه‌داشته و اجازه می‌دهیم زمان تمرکز به‌طور خودکار توسط مدل اجرا گردد. سپس ضریب نفوذ حوضه را برابر ۵ فرض می‌کنیم تا در صورت لزوم در مراحل بعد آن را تغییر داده و کالیبره نماییم.



شکل (۴- ۱۹) هیدروگراف سیلاب شیرگاه حاصل از اجرای سوم مدل و اندازه‌گیری

همان‌گونه که در نمودار (۴-۱۹) قابل ملاحظه می‌باشد. زمان پایه بین دبی مشاهداتی و محاسباتی اختلاف چشمگیری وجود دارد و در هیدروگراف محاسباتی رواناب زودتر از حوضه تخلیه شده و نشانگر آن است که ضریب ذخیره ی حوضه کم فرض شده است. لذا باید ضریب ذخیره را در روش هیدروگراف واحد کلارک افزایش داد.

د) در مرحله‌ی پایانی با ثابت نگه‌داشتن بقیه متغیرهای ورودی به افزایش تدریجی ضریب حوضه تا عدد ۷ مبادرت شد تا رواناب محاسباتی دیرتر تخلیه گردد و اختلاف زمان پایه‌ی دبی مشاهداتی و محاسباتی به حداقل برسد.



شکل (۴- ۲۰) هیدروگراف سیلاب شیرگاه حاصل از اجرای چهارم مدل و اندازه‌گیری

جدول (۴-۱۰) مقایسه‌ی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی چهارم شبیه‌سازی در شیرگاه

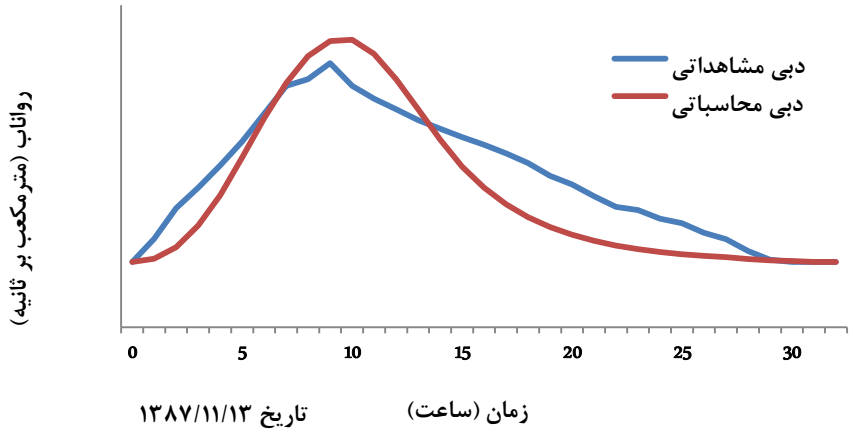
مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف مشاهداتی شیرگاه	هیدروگراف محاسباتی مدل	درصد خطای مدل
حجم سیلاب (m^3)	۱۵۴۶۵۶۰	۱۴۱۰۳۹۷	۸/۸
دبی اوج هیدروگراف (m^3/s)	۱۴/۸	۱۵/۲۴	۳
زمان اوج هیدروگراف (min)	۴۸۰	۴۸۰	زیر یک درصد

همان‌گونه که در جدول (۴-۱۰) مشاهده می‌گردد اختلاف دبی اوج، حجم رواناب و زمان رسیدن به اوج به مقدار زیادی کاهش یافته است و قابل قبول می‌باشد لذا مدل کالیبره شد و جهت صحت سنجی از دو بارش دیگر جهت شبیه‌سازی استفاده گردید و چکیده‌ی محاسبات انجام‌گرفته درجدول (۴-۱۱) قرار داده شده است.

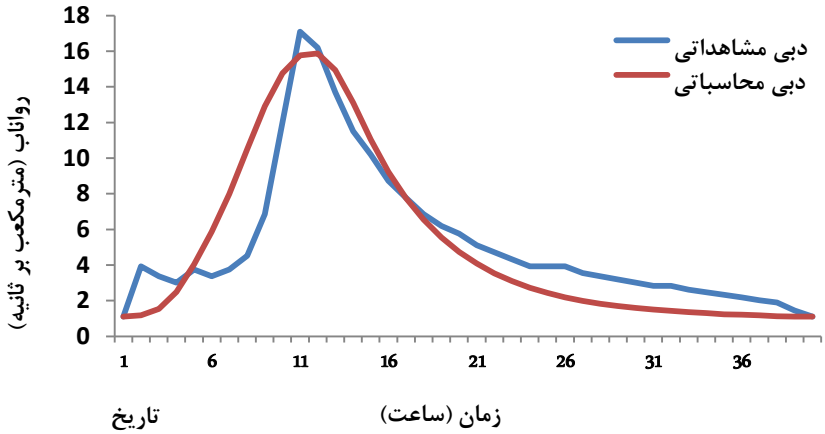
۴-۱۰-۴) صحت سنجی برای حوضه‌ی کسیلیان (شیرگاه)

همان‌گونه که در مدل‌سازی بارش رواناب در حوضه‌ی کسیلیان شیرگاه مشاهده گردید. مؤید مناسب بودن شبیه‌سازی بارش-رواناب توسط مدل WMS در این حوضه‌ی آبریز دارد و با

صحت سنجی نیز این مطلب اثبات گردید. هرچند طبق مطالب عنوان‌شده پیشین دلیلی وجود ندارد بر این‌که دو بارش و رواناب متناظر و متغیرهای آن خصوصیات عیناً مشابه یکدیگر را داشته باشند.



شکل(۴- ۲۱) هیدروگراف سیلاب محاسباتی و مشاهداتی شیرگاه در مرحله‌ی صحت‌سنجی تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۱۳



شکل (۴- ۲۲) هیدروگراف سیلاب محاسباتی و مشاهداتی شیرگاه در مرحله‌ی صحت‌سنجی تاریخ ۱۳۹۱/۰۶/۲۵

جدول (۴-۱۱) نتایج صحت سنجی در ایستگاه شیرگاه

تاریخ واقعه سیلاب	دبی اوج مشاهداتی (m^3/s)	دبی اوج محاسباتی (m^3/s)	درصد خطای دبی اوج	حجم سیلاب مشاهداتی (m^3)	حجم سیلاب محاسباتی (m^3)	خطای حجم سیلاب
۸۷/۱۱/۱۳	۲۴/۷	۲۶/۷۸	۸/۴	۱۵۸۷۳۱۲	۱۴۶۵۹۷۷	۷/۶
۹۱/۰۶/۲۵	۱۶/۲	۱۵/۸۷	۲	۷۵۳۴۸۰	۷۲۸۷۴۸	۳/۲

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات

۵) نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات

۵-۱) نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی بر آن شد تا کارایی مدل WMS با شبیه ساز هیدرولوژیکی HEC-1 در حوضه‌ی شیرگاه مورد بررسی قرار گیرد محدوده‌ی مورد پژوهش از سلسله ارتفاعات البرزشرقی تا ایستگاه هیدرومتری شیرگاه که به حوضه‌ی کسیلیان موسوم است شامل می‌شود به دلیل وجود ۲ ایستگاه هیدرومتری در این حوضه شبیه‌سازی بارش_رواناب در دو مرحله صورت گرفت نخست شامل مناطق کوهستانی‌تر حوضه که از سلسله ارتفاعات دو برار و گلیرد آغاز گشته و تا ایستگاه هیدرومتری ولیک بن را شامل می‌شد. در این مرحله با توجه به داده‌های موجود از یک بارش برای واسنجی و از دو بارش دیگر جهت صحت سنجی استفاده گردید. بیشترین خطای محاسباتی ۸/۳ درصد مرتبط با حجم سیلاب در تاریخ ۱۳۸۸/۰۱/۱۴ بوده است و نتایج حاکی از موفقیت مدل در شبیه‌سازی بارش_رواناب در زیرحوضه‌ی ولیک بن بوده است و توانمندی مدل به اثبات رسید. در مرحله‌ی دوم شبیه‌سازی کل حوضه‌ی کسیلیان تا ایستگاه هیدرومتری شیرگاه انجام گرفت در این مرحله نیز مشابه زیرحوضه‌ی ولیک‌بن از یک بارش جهت کالیبره نمودن و از دو بارش دیگر جهت صحت سنجی مدل استفاده گردید. پارامترهای اندازه‌گیری مشابه زیرحوضه‌ی ولیک‌بن، دبی اوج، زمان رسیدن به اوج و حجم رواناب بوده است در این مرحله بیشترین اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی به میزان ۸/۸ درصد؛ و مربوط به حجم رواناب در تاریخ ۱۳۸۸/۰۱/۱۴بوده است و چون خطای نسبی در هر بار مدل‌سازی چه در حوضه ی ولیک بن و چه در کل حوضه‌ی کسیلیان زیر ۱۰ درصد بوده است کارآیی و توانمندی مدل برای حوضه‌ی کسیلیان مورد تایید قرار گرفت.

۵-۲) پیشنهادات

متأسفانه یکی از مشکلات مهم در این پژوهش کمبود ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در حوضه‌ی کسیلیان بوده است و بعضی از این ایستگاه‌ها در جایی قرار دارند که از مناطق شهری یا روستایی به دور هستند و گاهی به دلیل صعب‌العبور بودن مسیر دسترسی به ایستگاه‌ها، آمار و داده‌های بارش و رواناب به موقع قرائت نمی‌گردند. به همین دلیل پژوهشگر با کمبود اطلاعات جهت تحقیق مواجه می‌باشد. به‌عنوان مثال حوضه‌ی کسیلیان تنها دارای یک ایستگاه هواشناسی فعال در روستای سنگده می‌باشد که دارای باران‌سنج ثبات می‌باشد. آمار ایستگاه‌های هیدرومتری نیز به‌ندرت در دسترس می‌باشد. لذا لزوم تجهیز گسترده‌ی ایستگاه‌های خودکار هواشناسی و هیدرومتری در سراسر حوضه‌های آبریز کشور ضروری به نظر می‌رسد تا اطلاعات همیشه به روز و کامل در دسترس پژوهشگر قرار گیرد. بنابراین جهت ارائه‌ی پیشنهادات با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش در دو بخش خلاصه می‌گردد:

- پیشنهاد می‌شود بررسی و انجام شبیه‌سازی با استفاده از مدل‌های دیگر و مقایسه با مدل WMS/HEC-1
- پیشنهاد می‌شود با به‌کارگیری مدل HEC-RAS و با معرفی مقاطع عرضی رودخانه، روندیابی سیلاب این رودخانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع و مآخذ

۱. احمدی ایلخچی، ع.، حاجی عباسی، م.،.جلالیان، ا. (۱۳۸۱). اثر تغییر کاربری زمین‌های مرتعی به دیم‌کاری بر تولید رواناب، هدررفت و کیفیت خاک در منطقه دوراهان، چهارمحال بختیاری. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ششم. شماره چهارم، ص ۱۰۳-۱۱۴

۲. اکبرپور،ا.، شریفی، م.ب (۱۳۸۴) بررسی و کاربرد مدل WMS در مهندسی رودخانه، مطالعه موردی: حوضه‌های بایگ و رشتخوار در استان خراسان. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۸ صفحه

۳. اوجاقلو، ح .و سهرابی، ت و صابری م،(۱۳۸۷). ارزیابی مدل WMS در تخمین مشخصه‌های هیدروگراف سیل (مطالعه موردی: حوضه معرف کسیلیان)، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۱۲صفحه

۴. تاجیکی، م (۱۳۸۶). ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی و رسوب‌دهی. مطالعه موردی حوضه‌ی آبریز رامیان، پایان‌نامه

۵. جعفری، غ، رامشت، م ، معیری، م، (۱۳۸۸). رابطه‌ی بارش و رواناب حوضه‌های فاقد ایستگاه‌های هیدرومتری (مطالعه موردی حوضه‌ی آبریز صغاد). نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، زمستان ۱۳۸۸، دوره ۱۴، شماره ۳۰ ;

۶. حقگو،ک. (۱۳۶۲) . ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر خصوصیات هیدرولوژیکی رودخانه مطالعه موردی رودخانه غازمحله، پایان نامه

۷. دلاور، ع، روش تحقیق در روان‌شناسی و علوم تربیتی، تهران، نشر ویرایش، (۱۳۸۸). ص ۵۳-۵۱

۸. روحانی زاده، س. کلارستاقی، ع. لاجوردی.، م ثروتی م. (۱۳۸۶). تأثیر عملیات آبخیزداری

بر کاهش میزان فرسایش و تولید رسوب(مطالعه موردی حوضه‌ی آبریز سد برنجستانک شهرستان قائم‌شهر)چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. دانشگاه تهران. صفحه. ۳۲۸

۹. امامقلی زاده، ص.، بینا، م.، قمشی، م.، و جهانی، ح. ۱۳۸۶. بررسی و ارزیابی رسوبشوئی تحت فشار در سدهای مخزنی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، جلد سوم، شماره ۱، صفحات ۶۸-۷۹.

۱۰. سیستم مدل‌سازی حوضه‌ی آبریز: آشنایی با نرم‌افزار WMS . (۱۳۸۷) آزمایشگاه تحقیقاتی مدل سازی محیط‌زیست دانشگاه بریگ، ا(مترجمین)ابوالفضل اکبرپورمحمد کبارفرد، فهیمه عنابی، سیدرضا هاشمی، هادی معمایان، تهران، نشر :سخن‌گستر

۱۱. شرکت مهندسین مشاور روان آب (۱۳۸۴) طرح جامع جنگل‌داری چندمنظوره حوضه‌ی آبریز چهل چای .(وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبریزداری کشور، اداره‌ی کل منابع طبیعی استان گلستان. ص ۹۲

۱۲. شریفی، ف. صفارپور، ش. ایوب زاده، س. (۱۳۸۳). ارزیابی مدل رایانه‌ای AWBM در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی تعدادی از حوضه‌های آبریز ایران، ص ۴۲-۳۵

۱۳. صدرالاشرافی، سیده سارا و خیاط خلقی، مجید و محمدعلی تامر احمد، (۱۳۸۸) تهیه مدل پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار WMS (مطالعه موردی حوضه‌ی آبریز دز). هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ص ۱-۸

۱۴. علیزاده، امین، (۱۳۸۲) اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ شانزدهم، ص ۴۲۹

۱۵. قهرودی تالی، م. (۱۳۸۵) ارزیابی مدل SCS -CN در تخمین رواناب، مطالعه موردی حوضه سد امیرکبیر، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۷، ص ۴۸- ۶۳

۱۶. کبیر، آ؛ نجفی نژاد، ع؛ همت زاده، ی و کورکی نژاد، م. (۱۳۸۶). بررسی احداث سازه‌های

اصلاحی بر روی زمان تمرکز .مطالعه موردی کردکوی .(پایان‌نامه ی کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.69

۱۷. گنجی خرم دل، ن و عیوضی حسن آبادی، م و فیروزی نظام‌آبادی، ف و غفاری م، (۱۳۹۲) برآورد دبی پیک حوضه با استفاده از مدل WMS (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبریز رودخانه سراب دوره). کنفرانس ملی مدیریت سیلاب

۱۸. مجموعه مقالات هفتمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری، اصفهان، ۷ و ۸ اردیبهشت ۱۳۹۰، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

۱۹. یمانی، م.، ویسی، ع.، و پرتوی منش، س. (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه های هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز گیلان غرب. سومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست.

۲۰. ملائی ع، شفیعی ا، پرهمت ج .(۱۳۸۸) بررسی بارش مازاد در زیرحوضه سپیدار با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران. دانشگاه تربیت مدرس. ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ص. ۲۶۲

۲۱. ملائی، (۱۳۸۱) تعیین شماره منحنی برای برآورد حجم رواناب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجموعه مقالات ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه جلد دوم –ص ۱۱۳۹

۲۲. ملکیان، آ. محسنی ساروی، م و مهدوی، م. (۱۳۸۳). بررسی کارایی روش شماره منحنی در برآورد عمق رواناب، منابع طبیعی ایران، ص ۶۳۳-۶۲۱

۲۳. مهدوی، محمد، (۱۳۹۲) هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ص ۲۰۹

۲۴. نجفی نژاد، ع، (۱۳۷۶) .راهنمای آبخیزداری مطالعات و برنامه‌ریزی حوضه‌های آبریز،

گرگان انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ص. ۲۶۰.

۲۵. نوری، فریده و بهمنش، جواد و محمد نژاد، بایرامعلی و رضایی حسین،(۱۳۹۱). ارزیابی مدل WMS/HEC-HMS در پیش‌بینی سیلاب آبریز قروه. مجله پژوهش حفاظت آب‌وخاک جلد نوزدهم شماره چهارم، صفحه ۲۰۱-۲۱۰

۲۶. وحدتی، فتح ا...، (۱۳۸۳) تغییر کاربری اراضی کشاورزی و باغات در توسعه فیزیکی شهر سمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی سمنان، ص ۷

۲۷. هاشمی، م. (۱۳۸۵). استخراج هیدروگراف سیلاب رودخانه با استفاده از GIS. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه.

۲۸. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۳۷. شریفی، م.، رفاهی، ح.، و معز اردلان، م. (۱۳۷۵). ارزیابی ضریب رواناب ناشی از بارش در حوضه‌ی معرف کسیلیان. مجله علوم کشاورزی ایران، ۷۹-۶۳.

۲۹. مقصودی، م.، مهرجونژاد، ا.، درفشی، خ. ب.، و دارابی، س. (۱۳۹۲). اثرات تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه های بیلان هیدرولوژیکی حوضه الموت با استفاده از مدل HEC- HMS. مجموعه مقالات کنفرانس ملی مدیریت سیلاب.

۳۰. مریانجی، زهره، معروفی، صفر، (۱۳۸۴) بررسی رواناب ناشی از بارش حداکثر ۲۴ ساعته در حوضه‌ی آبریز قره چای با استفاده از SCS و کاربرد GIS مجله پژوهش کشاورزی، شماره ۵، ص ۸۳-۷۱

۳۱. کریمی، م.، غفاری، گ.، و عزیزیان، م. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS در حوضه لیقوان.

۳۲. علیدوست، م.، صبح زاهدی، ش.، و پور نصراله، م. ر. (۱۳۸۵). اثرات پوشش جنگلی در کاهش و جلوگیری از بروز سیل و تخریب در مناطق کوهستانی شرق گیلان. صفحات ۵۴۰-۵۵۱.

۳۳. سیدکابلی، ح.، و آخوندعلی، ع. م. (۱۳۸۸). ارزیابی روش‌های تلفات باران در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه آبخیز کسیلیان. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.

۳۴. خیرفام، ح.، اسدی نلیوان، ا.، و روحانی، ح. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی بارش - رواناب با استفاده از مدل IHACRES. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.

۳۵. جاجرمی زاده، م.، حسونی زاده، ه.، و عباسی چناری، س. (۱۳۹۱). ارزشیابی توانمندی مدل WMS در شبیه‌سازی حوضه آبخیز و رفتار دیواره سازی مجازی. اولین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک، ابرکوه، ایران.

۳۶. پورکاظمی، ا.، فضل اولی، ر.، و رائینی، م. (۱۳۸۷). بررسی و کاربرد مدل WMS در مهندسی رودخانه در حوزه کامه در استان خراسان رضوی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.

۳۷. شکوهی، ع.، و جعفرزاده، س. (۱۳۷۹). پرسش های چهارگزینه ای هیدرولوژی. تهران: موسسه ی فرهنگی هنری دیباگران.

۳۸. حسینی، ی. (۱۳۹۱). ارزیابی مدل WMS در تعیین دبی حداکثر سیلاب در استان خوزستان. *اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه ی پایدار* .

۳۹. علیزاده, ا. (۱۳۸۰). *اصول هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۴۰.عبدی – پ-۱۳۸۵-بررسیپتانسیل سیل خیزی حوضه زنجان رود با روشSCS و سیستم اطلاعات جغرافیایی

۴۱.سید کابلی آخوند علی-جلد۲۳-شماره ۳-سال ۸۸ ارزیابی روشهای تلفات باران در شبیه سازی هیدرولیک سیل (مطالعه موردی حوزه آبریز سیکیان)

42“Application of Watershed Modeling System (WMS) for Integrated Management of a Watershed in Turkey،” Journal of Environmental Science and Health

43.Calvo-Cases، A.، Boix-Fayos،C.، Imeson، A. C. (2003) Runoff generation sediment and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain، Geomorphology 50، 269-291

44.Chi M. H.، Roger، A. Cropp، and Braddock، R. D.،(2005). On the Sensitivity Analysis of Two Hydrologic Models، MODSIM (2005) International Congress on Modelling and Simulation، Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand

45.Croke، B.F.W.، Andrews، F.، Jakeman، A.J.،Cuddy، S.M. and Luddy، A. ،(2005). Redesign of the IHACRES rainfall runoff model. In: Proceedings of the 29th Hydrology and Water Resources Symposium. Engineers Australia.

46.Donker، N. H.، (2001)، A Simple Rainfall-runoff model based on Hydrogical Units applied to the teba catchment (south-east Spain) Hydrological processes، Vol 15، PP. 135-149.

47.Eturk، A.، and Gurel، M.، Baloch، M.A.، Dikerler، T.، Varol، E.، Akbulut، N.، Tanik، A.، (2006)،

48.Fox، D: M، and R.B. Bryan.(1999). The relationship of soil loss by interill erosion to slope graditent. Catena، 38:211-222

49.Grosh، J.L.، and A.R. Jarrett. (1994). Interril erosion and runoff on very steep slopes. Trans. Of the ASAE،37 (4):1127-1133

50.Gupta، H.V.، Sorooshian، S. and Yapo، P.O.، (1999). Status of Automatic Calibration for

51.Hundecha، Y.، A. Bardossy & H-W. theisen.، (2001)، Development of a fuzzy ligic-based rainfall-runoff model، Hydrological Sciences Journal، 46(3)، PP. 363-376

52.Hydrologic Models comparison with multi-level expert calibration، Journal Of Hydrologic Engineering، ASCE 4(2)، 135-143

53.Kabashi Skender، Bekteshi Sadik، Ahmetaj Skender، Kabashi Gazmend، Najdovski Dimitrij،

54.Mwendera، E.J.، & M.A. Mohamed saleem (1997). Infiltration rates، surface runoff،and soil loss as influenced by grazing pressue in dhe Ethiopian highlands. Soil Use and management. pp.13-29

55.Sheridan، G.J.; H.B. So، and R.J.Loch.2003.Improved slope adjustment function for soil erosion Prediction. Aust.J. Soil Res.41:1489-1508.

56.Silviera، L.F.، Charboanier، F.، and Genta، L. (2000). The antecedent soil moisture condition. Hydrol. Sci. J. 45: 3:3-12

57.Viessman، JR.W.، and Lewis، G.L. (2002). Introduction to Hydrology. 5th ed. Harper Collins، p 612.

58.Zidanšek Aleksander، Šlaus Ivo. (2011); Applied Energy pp.88-473-478

59.http://daneshnameh.roshd.ir

60.http://fa.wikipedia.org

61.http://forum.arcgis.ir

62.http://profdoc.um.ac.ir

63.http://rasekhoon.net

64.http://www.banabgroup.com

65.http://www.inio.ac.ir

66.http://www.modares.ac.ir

67.http://Climatology.ir

68.www.mazandaranmet.ir

Rainfall-Runoff simulation of Shirgah Basin using WMS Model

Abstract

Flood occurrence is one of the natural destructive phenomena that every year it leads to financial losses and great physical harms around the world and has been the concerns of different scientists and researchers which reduce the damages caused by flood; therefore، the various hydrological models have been formed to simulate rainfall-runoff in recent decades، which flood volume، peak flow and time to reach the peak flow could be calculated by means of these models. In the present study WMS/HEC1 model was used to simulate the rainfall-runoff in Kasilian basin. Kasilian basin is located in Mazandaran province in northern Iran. In this study، by using land use maps and soil type map، CN curve number was calculated and it was used in the simulation. The Rainfall-runoff simulation once was conducted in Valikbon sub-basin in an area of 67.18 km2 with three rainfalls Apr. 02، 2007، Apr. 03، 2009 and Mar. 30، 2012 that Apr. 03، 2009 rainfall was used to calibrate and other two rainfalls were used for the authenticity survey. Then the total Kasilian basin to Shirgah which is 342.78 km2 was simulated using the rainfalls dated Apr. 01، 2008، Apr. 03، 2009 and Sep. 15، 2012. Initially، the SCS unit hydrograph method was performed with three input variables of CN، Rtimp and STRTL. The output of calculation and observation were closed together، but to calibrate and for more precise، the Clark unit hydrograph method was also used and the error was decreased dramatically. In the rainfall-runoff simulation in shirgah sub-basin، the error rate of flood volume، peak flow and time reach the peak

was 8/8, 3 and 0 percent Respectively and the error rate for the above three parameters in the whole Kasilian basin was 8/4 percent Therefore، it was concluded، the rainfall-runoff modeling using the WMS/HEC1 model is a good option to simulate in the Kasilian basin and this model can be used in future studies.

Keywords: WMS/HEC1 model، CN curve number، Shirgah، Kasilian basin، Rtimp، STRTL

University of Shahrood

Faculty of Agriculture

Rainfall-Runoff simulation of Shirgah Basin using WMS Model

Sayed Amin Emadi

Supervisor(s):

Dr. Samad Emamgholizadeh

Dr. Khalil ajdari

July 2015