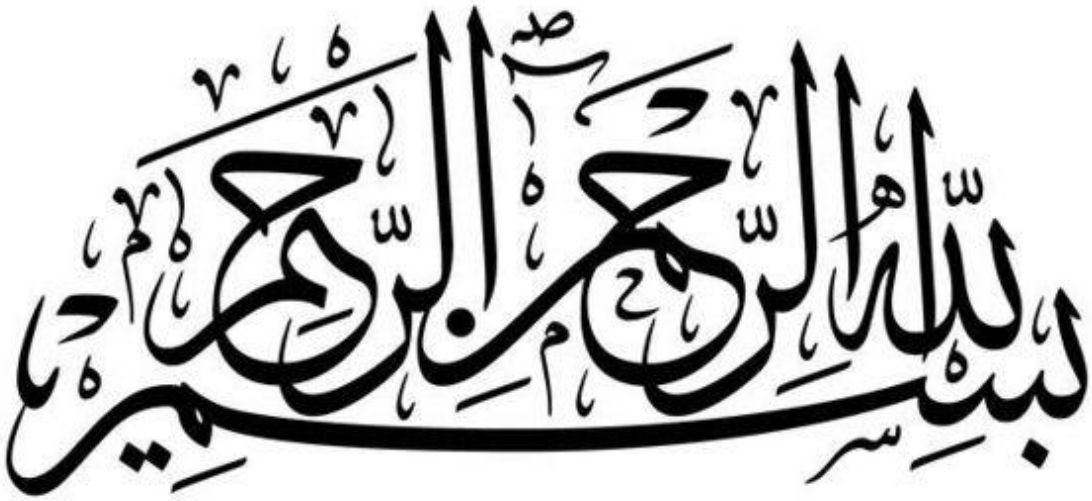
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

تخمین رواناب و رسوب در حوزه بهشت‌آباد در کارون شمالی با استفاده از مدل SWAT2000

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی

رخساره رستمیان

اساتید راهنما

دکتر سید فرهاد موسوی

دکتر منوچهر حیدرپور

۱۳۸۵

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی خانم رخساره رستمیان

تحت عنوان

تخمین رواناب و رسوب در حوزه بهشت‌آباد در کارون شمالی با استفاده از مدل SWAT2000

در تاریخ ۱۳۸۵/۱۱/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سید فرهاد موسوی
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر منوچهر حیدرپور
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر مجید افیونی
۴- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر احمد جلالیان
۵- استاد داور	دکتر سید سعید اسلامیان
۶- استاد داور	دکتر حسین خادمی**سرپرست**
تحصیلات تکمیلی دانشکده	**دکتر بهرام شریف نبی**

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای متعال که بندگانش را توفیق تلاش و تفکر داد و نعماتش را در حق مخلوقات در حد کمال ارزانی داشت. ستایش می‌کنم آن ذات پاک را که توان عبور از این مرحله را به من عطا فرمود. وظیفه خود می‌دانم ازتمام عزیزانی که در این امر مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر سید فرهاد موسوی و دکتر منوچهر حیدرپور که در سمت اساتید راهنما در نهایت صبر و بردباری و دقت نظر با راهنمایی‌های ارزنده خود در تمام مراحل پژوهش مرا یاری نمودند کمال تشکر را دارم. از اساتید مشاور پایان‌نامه، جناب آقای دکتر مجید افیونی و دکتر احمد جلالیان که همواره مشاور و مشوق اینجانب بودند و با نظرات خویش این پایان‌نامه را پربار کردند صمیمانه سپاسگزارم. از اساتید محترم داور جناب آقای دکتر سید سعید اسلامیان و دکتر حسین خادمی که زحمت داوری و بازخوانی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

اینجانب بخشی از پایان‌نامه خود را در طی ۲ ماه در مرکز تحقیقات EAWAG کشور سوئیس انجام دادم که مراتب تقدیر و تشکر خود را از استاد گران‌قدر جناب آقای دکتر کریم عباسپور که در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه مرا از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند خویش بهره‌مند ساختند، اعلام می‌دارم.

در طول تحصیل از محضر اساتید بزرگوار آقایان دکتر عابدی، مصطفی‌زاده، افضلی‌مهر و مهندس لندی و سقائیان‌نژاد کسب فیض نمودم که از آنها تشکر می‌کنم.

صمیمانه‌ترین سپاس‌ها را نثار خانواده‌ام می نمایم: پدر و مادر عزیزم که هرچه دارم نتیجه تلاش، فداکاری و دعای خیر آنها است و خواهرانم که همیشه مرهون محبت و مهربانی آنها بوده‌ام.

یاد و خاطره تمام دوستان دوران تحصیل برای همیشه در ذهن من باقی خواهد ماند.

رخساره رستمیان

زمستان ۱۳۸۵

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

بخشی از هزینه‌های انجام این تحقیق از محل اعتبارات طرح مشترک گروه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان و مؤسسه تحقیقات محیط‌زیست کشور سوئیس (EAWAG)، با کد K۶۰۶ تأمین گردیده است که بدین وسیله تشکـر و قدردانی می‌گردد.

تقدیم به:

اسطوره تلاش و فداکاری

پدرم

الهه عشق و مهربانی

مادرم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... نه
فهرست شکل‌ها ..... دوازده
فهرست جدول‌ها ..... شانزده
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه و سابقه تحقیق ۳
۱-۱ کلیات ۳
۱-۲ تعریف مدل ۵
۱-۲-۱ طبقه‌بندی مدل‌های شبیه‌سازی ۵
۱-۲-۲ دیدگاه‌های مهم مدل‌سازی ۷
۱-۲-۳ گام‌های مختلف توسعه یک مدل ۷
۱-۳ مروری بر مدل‌های تخمین فرسایش ۸
۱-۳-۱ مدل ANSWERS ۹
۱-۳-۲ مدل GUEST ۹
۱-۳-۳ مدل WEPP ۱۰
۱-۳-٤ مدل EUROSEM ۱۰
۱-۳-۵ مدل SWRRB ۱۱
۱-٤ معرفی مدل SWAT ۱۱
۱-۵ بررسی منابع ۱۲
۱-٦ اهداف تحقیق ۱۵
فصل دوم: مواد و روش‌ها ۱۷
۲-۱ تئوری مدل SWAT2000 ..... ۱۷
۲-۲ ساختار مدل ۱۷
۲-۲-۱ چرخه هیدرولوژی ۱۸
۲-۲-۲ رواناب سطحی ۱۸
۲-۲-۳ حداکثر رواناب ۲۳
۲-۲-٤ پتانسیل تبخیر و تعرق ۲٦
۲-۲-۵ آب موجود در خاک ۲۸
۲-۲-٦ جریان آب زیرزمینی ۳۰
۲-۲-۷ مدل ذوب برف ۳۱
۲-۲-۸ دمای خاک ۳۲
۲-۲-۹ رسوب ۳۳
۲-۲-۱۰ روندیابی جریان ۳۳
۲-۲-۱۱ روندیابی رسوب ۳٦
۲-۳ شاخص‌های آماری ارزیابی مدل ۳۷
۲-۳-۱ درصد تفاوت ۳۷
۲-۳-۲ ضریب تبیین ۳۷
۲-۳-۳ ضریب ناش- ساتکلیف ۳۸
۲-٤ واسنجی ۳۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۵ مدل‌سازی معکوس ۳۸
۲-۶ آنالیز عدم قطعیت ۳۹
۲-۷ اساس مفهومی آنالیز عدم قطعیت SUFI-2 ..... ۴۰
۲-۸ الگوریتم SUFI-2 ..... ۴۱
۲-۹ برنامه I- SWAT ۴۵
۲-۱۰ آنالیز حساسیت ۴۷
۲-۱۱ اعتبارسنجی ۴۸
۲-۱۲ معرفی حوزه مورد مطالعه ۴۸
۲-۱۳ داده‌های هیدرولوژیک مورد نیاز در مدل‌های هیدرولوژی ۴۸
۲-۱۴ هیدرولوژی آب‌های سطحی ۴۹
۲-۱۵ جمع‌آوری اطلاعات عمومی هواشناسی حوزه بهشت‌آباد ۵۳
۲-۱۵-۱ بارش ۵۳
۲-۱۵-۲ درجه حرارت ۵۳
۲-۱۶ جمع‌آوری اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری ۵۳
۲-۱۷ نقشه‌های مورد نیاز ۵۵
۲-۱۷-۱ نقشه ارتفاعی ۵۵
۲-۱۷-۲ نقشه شبکه جریان ۵۶
۲-۱۷-۳ نقشه کاربری اراضی ۵۶
۲-۱۷-۴ نقشه خاک ۵۶
۲-۱۸ تحلیل داده‌ها ۵۶
۲-۱۸-۱ آزمون داده‌های پرت ۶۱
۲-۱۸-۲ آزمون همگنی داده‌ها ۶۱
۲-۱۹ بازسازی داده‌ها ۶۱
۲-۱۹-۱ تخمین بارندگی ۶۲
۲-۱۹-۲ تخمین حداقل و حداکثر دما و تشعشع خورشیدی ۶۳
۲-۲۰ اشاره‌ای به خصوصیات هیدرولوژیک حوزه ۶۴
۲-۲۱ اجرای مدل و تحلیل نتایج ۶۵
فصل سوم: نتایج و بحث ۶۹
۳-۱ آزمون داده‌های پرت ۶۹
۳-۲ آزمون همگنی داده‌ها ۶۹
۳-۳ شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوزه بهشت‌آباد با استفاده از مدل SWAT2000 ..... ۶۹
۳-۴ واسنجی رواناب ماهانه حوزه بهشت آباد با استفاده از برنامه SUFI-2 ..... ۸۲
۳-۵ اعتبارسنجی رواناب ماهانه حوزه بهشت‌آباد با استفاده از برنامه SUFI-2 ..... ۹۷
۳-۶ برخی خصوصیات هیدرولوژیک و فیزیوگرافیک زیرحوزه‌های مختلف حوزه بهشت‌آباد ۱۰۵
۳-۷ تأثیر تعداد و توزیع ایستگاه‌های باران‌سنجی بر نتایج مدل ۱۰۶
۳-۸ واسنجی رواناب حوزه با استفاده از ایستگاه هیدرومتری بهشت‌آباد در خروجی حوزه ۱۱۰
۳-۹ واسنجی رواناب و رسوب روزانه حوزه بهشت‌آباد با استفاده از برنامه SUFI-2 ..... ۱۱۰
۳-۱۰ اعتبارسنجی رواناب و رسوب روزانه حوزه بهشت‌آباد با استفاده از برنامه SUFI-2 ..... ۱۲۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۱۱ مدل‌سازی هیدرولوژی و کیفیت آب در حوزه تور با استفاده از مدل SWAT2000 ..... ۱۳۱
۳-۱۲ کاربرد برنامه SUFI-2 برای واسنجی حوزه چائوهی ۱٤٤
۳-۱۳ کاربرد برنامه SUFI-2 برای واسنجی غرب آفریقا ۱٤٤
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۵۱
٤-۱ نتیجه‌گیری ۱۵۱
٤-۲ پیشنهادها ۱۵۳
فصل پنجم: پیوست ۱۵۵
منابع ۱۸۷
چکیده انگلیسی ۱۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

۲-۱ چرخه هیدرولوژی ۱۹
۲-۲ مقایسه توزیع رطوبت توسط معادله گرین و امپت و آنچه در واقعیت رخ می‌دهد ۲۲
۲-۳ رفتار سفره آب که در مدل ذخیره جنبشی فرض می‌شود ۳۱
۲-٤ ذخیره گوه‌ای و منشوری در بخشی از مسیر رودخانه ۳۵
۲-۵ مفهوم عدم قطعیت برنامه SUFI-2 ..... ٤۱
۲-٦ فلوچارت برنامه I- SWAT ٤۷
۲-۷ موقعیت حوزه آبخیز کارون شمالی ٤۹
۲-۸ تقسیم‌بندی حوزه آبخیز کارون شمالی ۵۰
۲-۹ موقعیت حوزه بهشت‌آباد در حوزه آبخیز کارون شمالی ۵۱
۲-۱۰ نقشه ارتفاعی حوزه بهشت‌آباد ۵۷
۲-۱۱ نقشه شبکه جریان حوزه بهشت‌آباد ۵۸
۲-۱۲ نقشه کاربری اراضی حوزه بهشت‌آباد ۵۹
۲-۱۳ نقشه خاک حوزه بهشت‌آباد ٦۰
۳-۱ منحنی جرم مضاعف برای ایستگاه بهشت‌آباد ۷۰
۳-۲ منحنی جرم مضاعف برای ایستگاه فارسان ۷۰
۳-۳ منحنی جرم مضاعف برای ایستگاه سورشجان ۷۱
۳-۴ منحنی جرم مضاعف برای ایستگاه چالشتر ۷۱
۳-۵ منحنی جرم مضاعف برای ایستگاه جونقان ۷۲
۳-۶ منحنی جرم مضاعف برای ایستگاه شلمزار ۷۲
۳-۷ منحنی جرم مضاعف برای ایستگاه بن ۷۳
۳-۸ تقسیم‌بندی حوزه بهشت‌آباد به ۳۲ زیرحوزه ۷۴
۳-۹ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه بهشت‌آباد ۷۶
۳-۱۰ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه درکش ورکش ۷۷
۳-۱۱ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه کوه سوخته ۷۸
۳-۱۲ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه پل خراجی ۷۹
۳-۱۳ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه جونقان ۸۰
۳-۱٤ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه دهنو ۸۱
۳-۱۵ تأثیرتغییرات v__CH_N2.rte بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۸٦
شکل ۳-۱۶ تأثیرتغییرات r__CN2__30.mgt بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۸۷
شکل۳-۱۷ تأثیرتغییرات v__GW_DELAY.gw بـر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکـش ورکش، ج) کـوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۸۸
۳-۱۸ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه بهشت‌آباد پس از واسنجی ۸۹
۳-۱۹ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه درکش ورکش پس از واسنجی ۹۰
۳-۲۰ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه کوه سوخته پس از واسنجی ۹۱
۳-۲۱ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه پل خراجی پس از واسنجی ۹۲
۳-۲۲ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه جونقان پس از واسنجی ۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

۳-۲۳ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه دهنو پس از واسنجی ۹۴
۳-۲۴ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه بهشت‌آباد پس از اعتبارسنجی ۹۹
۳-۲۵ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه درکش ورکش پس از اعتبارسنجی ۱۰۰
۳-۲۶ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه کوه سوخته پس از اعتبارسنجی ۱۰۱
۳-۲۷ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه پل خراجی پس از اعتبارسنجی ۱۰۲
۳-۲۸ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه جونقان پس از اعتبارسنجی ۱۰۳
۳-۲۹ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده ایستگاه دهنو پس از اعتبارسنجی ۱۰۴
۳-۳۰ متوسط بارش ماهانه ۱۰ ایستگاه هواشناسی انتخابی در حوزه بهشت‌آباد ۱۰۷
۳-۳۱ رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده حوزه با استفاده از ایستگاه هیدرومتری بهشت‌آباد در خروجی حوزه ۱۱۱
۳-۳۲ تأثیر تغییرات v__PRF.bsn بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۱۴
۳-۳۳ تأثیر تغییرات v__SPEXP.bsn بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۱۵
۳-۳۴ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه بهشت‌آباد پس از واسنجی ۱۱۶
۳-۳۵ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه درکش ورکش پس از واسنجی ۱۱۷
۳-۳۶ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه کوه سوخته پس از واسنجی ۱۱۸
۳-۳۷ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه پل خراجی پس از واسنجی ۱۱۹
۳-۳۸ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه جونقان پس از واسنجی ۱۲۰
۳-۳۹ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه دهنو پس از واسنجی ۱۲۱
۳-۴۰ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه بهشت‌آباد پس از واسنجی ۱۲۲
۳-۴۱ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه درکش ورکش پس از واسنجی ۱۲۳
۳-۴۲ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه کوه سوخته پس از واسنجی ۱۲۴
۳-۴۳ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه پل خراجی پس از واسنجی ۱۲۵
۳-۴۴ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه جونقان پس از واسنجی ۱۲۶
۳-۴۵ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه دهنو پس از واسنجی ۱۲۷
۳-۴۶ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه بهشت‌آباد پس از اعتبارسنجی ۱۳۲
۳-۴۷ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه درکش ورکش پس از اعتبارسنجی ۱۳۳
۳-۴۸ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه کوه سوخته پس از اعتبارسنجی ۱۳۴
۳-۴۹ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه پل خراجی پس از اعتبارسنجی ۱۳۵
۳-۵۰ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه جونقان پس از اعتبارسنجی ۱۳۶
۳-۵۱ رواناب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه دهنو پس از اعتبارسنجی ۱۳۷
۳-۵۲ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه بهشت‌آباد پس از اعتبارسنجی ۱۳۸
۳-۵۳ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه درکش ورکش پس از اعتبارسنجی ۱۳۹
۳-۵۴ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه کوه سوخته پس از اعتبارسنجی ۱۴۰
۳-۵۵ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه پل خراجی پس از اعتبارسنجی ۱۴۱
۳-۵۶ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه جونقان پس از اعتبارسنجی ۱۴۲
۳-۵۷ رسوب روزانه شبیه‌سازی شده ایستگاه دهنو پس از اعتبارسنجی ۱۴۳
۳-۵۸ واسنجی رواناب شبیه‌سازی شده رودخانه تور ۱۴۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

۳-۵۹ اعتبارسنجی رواناب شبیه‌سازی شده رودخانه تور ۱۴۵
۳-۶۰ واسنجی رسوب شبیه‌سازی شده رودخانه تور ۱۴۶
۳-۶۱ اعتبارسنجی رسوب شبیه‌سازی شده رودخانه تور ۱۴۶
۳-۶۲ واسنجی نیترات شبیه‌سازی شده رودخانه تور ۱۴۷
۳-۶۳ اعتبارسنجی نیترات شبیه‌سازی شده رودخانه تور ۱۴۷
۳-۶۴ واسنجی فسفر شبیه‌سازی شده رودخانه تور ۱۴۸
۳-۶۵ اعتبارسنجی فسفر شبیه‌سازی شده رودخانه تور..... ۱۴۸
۳-۶۶ ضرایب pcnt-data و d-factor در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی غرب آفریقا ۱۴۹
۳-۶۷ ضرایب ناش- ساتکلیف در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی غرب آفریقا ۱۵۰
۵-۱ تأثیرتغییرات r__CN2__27.mgt بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۵۷
۵-۲ تأثیرتغییرات r__CN2__28.mgt بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۵۸
۵-۳ تأثیرتغییرات r__CN2__29.mgt بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۵۹
۵-۴ تأثیرتغییرات r__CN2__31.mgt بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۰
۵-۵ تأثیرتغییرات r__CN2__32.mgt بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۱
۵-۶ تأثیرتغییرات r__SOL_BD.sol بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۲
۵-۷ تأثیرتغییرات r__SOL_AWC.sol بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۳
۵-۸ تأثیرتغییرات r__SOL_K.sol بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۴
۵-۹ تأثیرتغییرات v__EPCO.hru بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۵
۵-۱۰ تأثیرتغییرات v__ESCO.hru بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۶
۵-۱۱ تأثیرتغییرات v__OV_N.hru بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۷
۵-۱۲ تأثیرتغییرات v__CH_K2.rte بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۸
۵-۱۳ تأثیرتغییرات v__SFTMP.bsn بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش ج) کوه سوخته د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۶۹
۵-۱۴ تأثیرتغییرات v__SMTMP.bsn بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

۵-۱۵ تأثیرتغییرات v__SMFMX.bsn بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۱
۵-۱۶ تأثیرتغییرات v__SMFMN.bsn بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۲
۵-۱۷ تأثیرتغییرات v__TIMP.bsn بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۳
۵-۱۸ تأثیرتغییرات v__SURLAG.bsn بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۴
۵-۱۹ تأثیرتغییرات v__MSK_CO1.bsn بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۵
۵-۲۰ تأثیرتغییرات v__MSK_CO2.bsn بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۶
۵-۲۱ تأثیرتغییرات v__ALPHA_BF.gw بر رواناب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۷
۵-۲۲ تأثیرتغییرات v__CH_COV.rte بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۸
۵-۲۳ تأثیرتغییرات v__CH_EROD.rte بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۷۹
۵-۲۴ تأثیرتغییرات v__USLE_K.sol بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۸۰
۵-۲۵ تأثیرتغییرات r__ROCK.sol بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۸۱
۵-۲۶ تأثیرتغییرات v__Lat_sed.hru بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۸۲
۵-۲۷ تأثیرتغییرات v__APM.bsn بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۸۳
۵-۲۸ تأثیرتغییرات v__SPECON.bsn بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۸۴
۵-۲۹ تأثیرتغییرات v__USLEP.mgt بر رسوب ایستگاه الف) بهشت‌آباد، ب) درکش ورکش، ج) کوه سوخته، د) پل خراجی، هـ) جونقان و و) دهنو. ۱۸۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

۲-۱ پارامترهای نفوذ گرین و امپت برای کلاس‌های مختلف بافت خاک ۲۳
۲-۲ مشخصات ایستگاه‌های انتخابی هواشناسی حوزه بهشت‌آباد ٥٤
۲-۳ مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بهشت‌آباد ٥٤
۲-٤ طول دوره آماری داده‌های جمع‌آوری شده ٥٥
۲-۵ متوسط دبی ماهانه (متر مکعب بر ثانیه) ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بهشت‌آباد برای طول دوره آماری جمع‌آوری شده ۶۶
۲-۶ متوسط دبی ماهانه (متر مکعب بر ثانیه) ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بهشت‌آباد برای طول دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۹۶ ..... ۶۶
۲-۷ متوسط حداکثر دبی ماهانه (متر مکعب بر ثانیه) ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بهشت‌آباد برای طول دوره آماری جمع‌آوری شده ۶۷
۲-۸ متوسط حداکثر دبی ماهانه (متر مکعب بر ثانیه) ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بهشت‌آباد برای طول دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۹۶ ..... ۶۷
۲-۹ متوسط بارندگی ماهانه (میلی‌متر) ایستگاه‌های هواشناسی حوزه بهشت‌آباد ۶۸
۲-۱۰ متوسط دمای ماهانه (سانتی‌گراد) ایستگاه‌های هواشناسی حوزه بهشت‌آباد ۶۸
۳-۱ نتایج نخستین اجرای مدل ۷۵
۳-۲ پارامترهای مؤثر بر رواناب ۸۳
۳-۳ نتایج واسنجی رواناب ماهانه ۹۵
۳-۴ نتایج اعتبارسنجی رواناب ماهانه ۹۸
۳-۵ برخی خصوصیات هیدرولوژیک و فیزیوگرافیک زیرحوزه‌های مختلف ۱۰۵
۳-۶ بررسی تأثیر تعداد و توزیع ایستگاه‌های باران‌سنجی در نتایج مدل ۱۰۹
۳-۷ پارامترهای مؤثر بر رسوب ۱۱۳
۳-۸ نتایج واسنجی رواناب و رسوب روزانه ۱۲۸
۳-۹ نتایج اعتبارسنجی رواناب و رسوب روزانه ۱۳۱
۵-۱ ضریب همبستگی بر اساس تعداد داده‌ها و متغیرها در دو سطح ۹۵ و ۹۹ درصد ۱۵۶

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهمترین مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جهان است. طبق اطلاعات موجود، آسیا بیش از سایر قاره‌ها مشکل فرسایش دارد و در این میان ایران دارای میزان فرسایش خاک بالایی است. مدیریت حوزه‌های آبخیز در کاهش فرسایش مهم می‌باشد. در کشور ما اکثر حوزه‌های آبخیز، به ویژه حوزه‌های آبخیز کوهستانی، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی می‌باشند و گاه ایستگاه‌های ناقص برای مدت طولانی فاقد آمار هستند. به خاطر محدودیت دسترسی به داده‌های هیدرولوژیک کافی، مدل‌سازی حوزه‌ها نقش مهمی در توسعه منابع دارد. در سال‌های اخیر، مدل‌های ریاضی هیدرولوژی حوزه‌ها به منظور بررسی طیف وسیعی از مشکلات زیست‌محیطی و منابع آب به کار گرفته شده‌اند. در مطالعه حاضر، توانایی مدل SWAT2000 در شبیه‌سازی جریان و رسوب حوزه بهشت‌آباد (از زیرحوزه‌های کارون شمالی) با مساحتی حدود ۳۸۶۰ کیلومتر مربع بررسی شد. این مدل برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوزه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است. واسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل با استفاده از برنامه SUFI-2 انجام پذیرفت. برنامه SUFI سعی می‌کند پارامترهای عدم قطعیت را به نحوی پیدا کند که اکثر داده‌های اندازه‌گیری شده در ناحیه عدم قطعیت تخمین قرار گیرند، در حالی که کوچکترین طیف عدم قطعیت تخمین ممکن را ایجاد می‌کند. مدل برای دوره زمانی ۲۰۰۴-۱۹۹۶ اجرا شد و از داده‌های شش ایستگاه هیدرومتری موجود در این حوزه برای واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. سه چهارم از کل داده‌های موجود برای هر ایستگاه، در مرحله واسنجی و یک چهارم داده‌ها، در مرحله اعتبارسنجی استفاده شدند. شاخص‌های p-factor، d-factor، R^2 و ناش- ساتکلیف به منظور ارزیابی توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رسوب به کار برده شدند. نتایج مدل SWAT برای متوسط رواناب ماهانه در سه ایستگاه بهشت‌آباد، کوه سوخته و جونقان در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی بسیار رضایت‌بخش بود. در مرحله واسنجی رواناب ماهانه، ضرایب p-factor، d-factor، R^2 و ناش- ساتکلیف به ترتیب برای ایستگاه بهشت‌آباد ۶۱، ۰/۴۸، ۸۵ و ۷۵، برای ایستگاه کوه سوخته ۸۶، ۱/۱، ۷۴ و ۷۲ و برای ایستگاه جونقان ۶۶، ۰/۹۴، ۶۷ و ۶۲ و در مرحله اعتبارسنجی رواناب ماهانه، این ضرایب برای این سه ایستگاه به ترتیب ۵۳، ۰/۳۸، ۸۵ و ۵۷ و ۸۰، ۱/۳۳، ۸۰ و ۶۲ و ۸۳، ۱/۰۱، ۵۷ و ۵۲ به دست آمد. نتایج نشان داد که مدل قادر به شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر نیست. در مرحله واسنجی رواناب روزانه، مدل برای سه ایستگاه بهشت‌آباد، کوه سوخته و جونقان و در مرحله اعتبارسنجی تنها برای دو ایستگاه بهشت‌آباد وجونقان شبیه‌سازی رضایت‌بخشی داشت. مدل برای شبیه‌سازی رسوب ضعیف عمل کرد و در مرحله واسنجی، رسوب روزانه را برای دو ایستگاه بهشت‌آباد و کوه سوخته و در مرحله اعتبارسنجی فقط برای ایستگاه کوه سوخته به صورت قابل قبولی ارائه کرد. در مرحله واسنجی رسوب روزانه ضرایب p-factor، d-factor، R^2 و ناش- ساتکلیف به ترتیب برای ایستگاه بهشت‌آباد ۵۵، ۰/۴۱، ۵۵ و ۵۲ و برای ایستگاه کوه سوخته ۷۶، ۰/۴، ۹۱ و۸۸ و در مرحله اعتبارسنجی رسوب روزانه این ضرایب برای ایستگاه کوه سوخته به ترتیب ۸۳، ۰/۴۳، ۷۷ و۷۴ به دست آمد. در مجموع، مدل در شبیه‌سازی رواناب خیلی بهتر از رسوب عمل کرد. از علت‌های ضعف مدل در شبیه‌سازی رواناب در بعضی از ماه‌ها می‌توان به خوب شبیه‌سازی نکردن ذوب برف برای این حوزه کوهستانی، فرضیات مدل در انتقال جریان در لایه‌های یخ‌زده و اشباع و تعداد کم داده‌ها اشاره کرد. از علت‌های ضعف مدل در شبیه‌سازی رسوب می‌توان به خوب شبیه‌سازی نکردن جریان، تعداد کم داده‌ها، صحت داده‌ها و همچنین عدم پیوستگی اطلاعات رسوب استفاده شده در این مرحله اشاره کرد.

فصل اول
مقدمه و سابقه تحقیق

۱-۱ کلیات

اهمیت آب و خاک در زندگی بشر و نقش آن در شکل‌گیری اجتماعات و رشد تمدن بشری بر کسی پوشیده نیست. ایران کشوری پهناور، خشک و کم باران است که با وجود منابع آبی محدود و قابلیت‌های بالقوه، همواره مشکل کمبود آب آن به عنوان یکی از مهمترین عوامل توسعه مد نظر بوده است. این سرزمین علاوه بر کمبود آب، هر ساله شاهد خسارات جبران ناپذیری است که بر اثر عدم کنترل آب‌های سطحی در بخش‌های نسبتاً وسیعی اتفاق می‌افتد. با به کارگیری و استفاده بهینه از ریزش‌های جوی علاوه بر تأمین آب مورد نیاز مصارف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی از اثرات مخرب و زیان‌های ناشی از سیلاب‌های حاصل نیز کاسته می‌شود. رواناب ناشی از بارندگی در حوزه‌های آبخیز علاوه بر خسارت‌های جانی و مالی ناشی از سیل، باعث فرسایش و از بین رفتن خاک حاصلخیز سطحی شده و در نهایت رسوب‌گذاری در مسیل‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها را به دنبال دارد [۵].

فرسایش خاک یکی از مهمترین مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی جهان است. فرسایش خاک و ته نشست رسوب، هر چند که فرایندهای طبیعی هستند، اما می‌توانند به وسیله فعالیت‌های انسانی مثل جنگل تراشی، چرای بیش از حد دام‌ها و مدیریت کشاورزی ناپایدار تشدید شوند. اما فرایند فرسایش علاوه بر تخریب منابع طبیعی باعث مسائلی همچون ته نشست رسوب در مزارع، دشت‌های سیلابی و سدها می‌شود [۳۶].

امروزه در بیشتر اراضی، سرعت فرسایش خاک بیش از سرعت تشکیل خاک است. در نتیجه باعث تهی شدن منابع خاک و کاهش توانایی حاصل‌خیزی آن می‌شود. این ناهمخوانی بین سرعت تشکیل و هدر رفت خاک، غالباً نتیجه فعالیت‌های انسانی می‌باشد [٥٦]. افزایش جمعیت جهان از یک طرف و افزایش تقاضا برای غذا، مسکن و توقعات زندگی ایده‌آل از طرف دیگر باعث شده است که هدررفت خاک با سرعت بیشتری صورت گیرد.

سرعت فرسایش خاک در آسیا و آفریقا حدوداً ۲۰ برابر بیشتر از آمریکا تخمین زده شده است. سازمان خوار و بار جهانی تخمین زده است که ۱٤۰ میلیون هکتار از خاک‌های با کیفیت خوب در آسیا و آفریقا تا سال ۲۰۱۰ فرسایش خواهند یافت، مگر آنکه روش‌های بهتر مدیریت اراضی به کار گرفته شوند [نقل از ۴۵]. بنابر آمار و اطلاعات موجود، قاره آسیا بیشتر از هر قاره دیگر مشکل فرسایش دارد و در میان کشورهای آسیا، ایران دارای میزان فرسایش خاک بالائی است [۲۶].

بر اساس آماره منتشره از سوی فائو، میزان فرسایش خاک در کشور ما بین ۱۵ تا ۲۰ تن در هکتار در سال برآورد شده است در حالی که میزان متوسط فرسایش خاک در آمریکا و اروپا کمتر از یک تن در هکتار در سال می‌باشد [۲۷]. طبق یک تحقیق که توسط جلالیان و همکاران [۲] صورت گرفته است، متوسط فرسایش خاک در ایران ۲۵ تن بر هکتار در سال برآورد شده است که حدوداً ۳/٤ برابر متوسط فرسایش جهانی است.

سیستم حوزه آبخیز تنظیم کننده کمیت و کیفیت چرخه آب است. مشکلاتی که در عصر حاضر در این چرخه پدید آمده است هزینه‌ای است که انسان به خاطر عدم شناخت صحیح این چرخه پیچیده و نیز نداشتن برنامه‌ریزی در طرح‌ها به لحاظ ارتباط بین مدیریت آب و تحولات جوامع متحمل شده است. برای مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز، نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از روش‌های مدیریتی و اجرایی متفاوت می‌باشد. در کشور ما اکثر حوزه‌های آبخیز، به ویژه حوزه‌های آبخیز کوهستانی و صعب‌العبور، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی می‌باشند و هرگونه برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را با معضل و یا حتی شکست مواجه می‌سازند. برای مقابله با این معضل که دشوار و پرهزینه است، متخصصین علم آبخیزداری، هیدرولوژیست‌ها و محققین منابع آب راه‌حل‌های مختلفی نظیر فرمول‌های تجربی و مدل‌های ریاضی و کامپیوتری عرضه کرده‌اند که تاکنون هیچ کدام نتوانسته‌اند راه حل مطلوبی ارائه دهند. عقیده بر این است که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز می‌تواند راه‌حل بهینه‌ای برای آنها باشد. شناخت چرخه هیدرولوژی در مقیاس حوزه‌ای و انتقال عناصر غذایی، آفت‌کش‌ها و سایر مواد

شیمیایی که روی کیفیت آب اثر می‌گذارند برای مدیریت حوزه ضروری به نظر می‌رسد.

مدل‌های هیدرولوژی برای مسائلی همچون توسعه و مدیریت حوزه و ارزیابی منابع آب از اهمیت خاصی برخوردارند. بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی روی منابع آب و تولید محصولات کشاورزی با استفاده از مدل‌های حوزه‌ای امکان‌پذیر می‌شود. بنابراین توسعه و تکمیل مدل‌های هیدرولوژی برای فهم اثرات متقابل بین اقلیم و سیستم هیدرولوژی و برای بررسی طیف وسیعی از مشکلات زیست‌محیطی و منابع آب ضروری به نظر می‌رسد [۵۰].

۱-۲ تعریف مدل

مدل وسیله‌ای است که بخشی از واقعیت را شبیه‌سازی می‌کند. به طور کلی هدف از مدل، مشخص کردن عملکرد و رفتار یک پدیده حقیقی تحت شرایط معین می‌باشد. مدل یک پدیده را در ساده‌ترین حالت ممکن بررسی می‌کند و در صورت موفق بودن می‌توان آن را به حالت‌های پیچیده تعمیم داد. در این حالت می‌توان پدیده‌های بسیار پیچیده را تفسیر نمود و پیشگویی‌های صحیحی به عمل آورد. ایجاد یک مدل ریاضی برای یک سیستم فیزیکی با تعریف یک مدل مفهومی آغاز می‌شود. یک مدل ریاضی شامل واکنش‌های به هم پیوسته بوده که در حقیقت مکانیسم‌های شناخته شده‌ای هستند که در سیستم رخ می‌دهند [۶].

۱-۲-۱ طبقه‌بندی مدل‌های شبیه‌سازی

طبقه‌بندی‌های مختلفی برای مدل‌ها وجود دارد. یک طبقه‌بندی از مدل‌های هیدرولوژی در زیر آورده شده است [۳۹]:

مدل‌های فیزیکی[۱] و ریاضی[۲]- مدل‌های فیزیکی بر پایه اصول تشابه[۳] توسعه پیدا کرده‌اند و برای مدل‌های با مقیاس کوچک به کار برده می‌شوند. در حالی که مدل‌های ریاضی بر پایه مبانی ریاضی، سیستم را بیان می‌کنند. به عبارتی، مدل‌های ریاضی نمایش‌های فرمولی هستند که با فرض‌های معینی روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی را تشریح می‌کنند.

مدل‌های پیوسته[۴] و ناپیوسته[۵] - دومین طبقه‌بندی با در نظر گرفتن تشابه فیزیکی و تعدادی مدل‌های دیجیتالی از نظر پیوستگی به دست می‌آید زیرا فرایندهایی که رخ می دهند و یا مشاهده می شوند، پیوسته

۱- Physical models
۲- Mathematical models
۳- Similitude
۴- Continuous models
۵- Discrete models

هستند. بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی دیجیتالی به خاطر مزیت تقسیم زمان و فاصله به اجزای محدود[۱] توسعه پیدا کرده‌اند و سپس مدل‌های ناپیوسته نامیده می‌شوند مثل روش روندیابی سیلاب در مخزن یک سد به روش ذخیره.

مدل‌های ایستا[۲] و پویا[۳]- سومین طبقه‌بندی بر پایه تغییرات زمانی مدل است. مدل‌های ایستا بیان‌کننده فرایندهای مستقل از زمان هستند در حالی که مدل‌های پویا فرایندهایی را ارائه می‌دهند که تغییرات طی زمان را در بر می‌گیرد.

مدل‌های توصیفی[٤] و مفهومی[٥]- چهارمین طبقه‌بندی مدل‌های شبیه‌سازی بر پایه فرموله کردن سیستم می‌باشد. مدل‌های توصیفی برای در نظر گرفتن پدیده‌های مشاهده شده از راه تجربه و استفاده از فرض‌های اساسی مانند پیوستگی و بقای مومنتم طراحی شده‌اند. از طرف دیگر، مدل‌های مفهومی برای تفسیر پدیده‌ها، به جای ارائه فرایندهای فیزیکی، شدیداً از تئوری استفاده می‌کنند، یعنی مدل‌هایی هستند که بر مبنای تئوری احتمال استوار هستند.

مدل‌های جمعی[٦] و توزیعی[۷]- پنجمین طبقه‌بندی بر پایه تغییرات مکانی پارامترهای مدل بنا شده است. مدل‌های جمعی تغییرات مکانی پارامترها را در سیستم در نظر نمی‌گیرند. بر عکس، مدل‌های توزیعی تغییرات رفتار سیستم را از یک نقطه به نقطه دیگر محاسبه می‌کنند.

مدل‌های جعبه سیاه[۸] و تقلید کننده ساختمانی[۹]- ششمین طبقه‌بندی بر پایه روند تحلیلی سیستم می‌باشد. مدل‌های جعبه سیاه مدل‌هایی هستند که تغییر نهاده‌ها به خروجی از تکنیک‌هایی تأثیرمی‌پذیرد که اساس فیزیکی درست و شناخته شده‌ای ندارند. مدل‌های تقلید کننده ساختمانی بر پایه قوانین مهم و معنی‌دار مکانیک سیالات و هیدرولیک برای تسهیل این تغییر طراحی شده‌اند.

مدل‌های استوکاستیک[۱۰] و قطعی[۱۱]- هفتمین طبقه‌بندی بر اساس نوع فرایند درگیر در تغییر نهاده‌ها به خروجی می‌باشد. مدل‌های قطعی بر اساس فرایندهای معین و مدل‌های استوکاستیک بر اساس فرایندهای احتمالاتی می‌باشند. روش‌های قطعی مدل‌سازی رفتار هیدرولوژیک یک حوزه، در عمل بسیار پرطرفدار می‌باشد. چرخه هیدرولوژی در این مدل به وسیله روابط ریاضی و اثرات متقابل فازهای مختلف این

۱- Finite increments
۲- Static models
۳- Dynamic models
٤- Descriptive models
٥- Conceptual models
٦- Lumped models
۷- Distributed models
۸- Black- box models
۹- Structure- imitating
۱۰- Stochastic models
۱۱- Deterministic models