بسم الله الرحمن الرحیم

باسمه تعالی

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

بدین‌وسیله گواهی می‌شود آقای امین فاخر نیکچه در تاریخ ۹۲/٤/۱۰ از پایان نامه ٦ واحدی خود با عنوان **مقایسه عملکرد مدلهای مختلف تلوث در تخمین هیدروگراف سیل** دفاع کرده است. اعضای هیأت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا بررسی کرده و پذیرش آنرا برای دریافت درجه کارشناسی ارشد تائید می‌نمایند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنمای اصلی	دکترمهدی وفاخواه	استادیار	
استاد مشاور	دکتر سید حمیدرضا صادقی	استاد	
استاد ناظر (خارجی)	دکتر عطاالله کاویان	استادیار	
استاد ناظر (داخلی)	دکتر حمیدرضا مرادی	دانشیار	
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر عبدالواحد خالدی‌درویشان	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاستهای پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عنوان پایان نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند.

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم الاجرا است.

اینجانب **امین فاخر نیکچه** دانشجوی رشته مهندسی آبخیزداری ورودی سال تحصیلی ۱۳۹۰ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان نامه/ رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع به نام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید ضمنا نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خودم سلب نمودم.

تاریخ و امضا ۱۳۹۲/۸/۱۵

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **مهندسی آبخیزداری** است که در سال **۱۳۹۲** در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی استاد محترم، **آقای دکتر مهدی وفاخواه** و مشاوره **آقای دکتر سید حمید رضا صادقی**، از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **امین فاخر نیکچه** دانشجوی رشته **مهندسی آبخیزداری** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: امین فاخر نیکچه

تاریخ و امضا: ۱۳۹۲/۱۱/۱۵

این پایان نامه را به پدر و مادر عزیزم.....

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.....

و برادران نازنین ام تقدیم می کنم.

جناب آقایان دکتر مهدی وفاخواه و دکتر سید حمیدرضا صادقی اساتید راهنما و مشاورم:

چگونه سپاس گویم مهربانی و لطفتان را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تاثیر علم آموزیتان را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و ایثارتان مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

دانشکده منابع طبیعی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری

عنوان

مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف نفوذ در تخمین هیدروگراف سیل

نگارنده

امین فاخر نیکچه

استاد راهنما

دکتر مهدی وفاخواه

استاد مشاور

دکتر سید حمید رضا صادقی

تیرماه ۱۳۹۲

چکیده

مطالعه نفوذ به عنوان یکی از اجزا اصلی چرخه آب در تعیین ویژگی‌های روان‌آب حاصل از بارندگی به منظور پیش‌بینی، پیش‌گیری و مدیریت سیلاب، فرسایش خاک و انتقال آلاینده‌ها در حوزه آبخیز از اهمیت بسیاری برخوردار است. این در حالی است که تاکنون دستورالعملی برای انتخاب مدل نفوذپذیری مناسب به‌منظور تحلیل تاثیر مقادیر نفوذپذیری خاک‌های مختلف بر روی هیدروگراف در سطح حوزه آبخیز تاکنون ارائه نشده است. لذا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه مدل‌های مختلف نفوذ بر اساس ویژگی‌های بارش به‌منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیل و تعیین مدل مناسب در مقیاس حوزه آبخیز انجام شد. برای همین منظور ابتدا مقدار نفوذپذیری در واحدهای کاری با استفاده از دستگاه باران‌ساز اندازه‌گیری و پارامترهای سه مدل نفوذپذیری هورتون، گرین امپ و سرویس حفاظت خاک امریکا تعیین شد. سپس با به کارگیری نرم‌افزار HEC-HMS ساختار حوزه آبخیز طراحی و بر مبنای پارامترهای سه مدل مورد بررسی مقدار تغییرات نفوذ در طی رخداد بارش برای هر معادله نفوذ محاسبه و هیدروگراف مصنوعی هر یک از معادلات در هر یک از واحدهای کاری تعیین و با استفاده از روش روندیابی ماسکینگام، هیدروگراف مصنوعی برای ۲۸ واقعه بارش رواناب متناظر در خروجی آبخیز ساخته شد. از این بین ۲۰ واقعه برای مرحله واسنجی و ۸ واقعه برای مرحله صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. در انتها مولفه‌های اصلی هیدروگراف‌های مشاهداتی و برآوردی شامل زمان تا اوج، ارتفاع رواناب، دبی اوج و عرض‌های متناظر با استفاده آماره‌های خطای نسبی، ضریب تبیین، اختلاف نسبت به خط بهینه، میانگین مجذور مربعات خطا و ضریب ناش ساتکلیف مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل نفوذپذیری سرویس حفاظت خاک امریکا با میانگین مجذور مربعات خطا ۰/۶۱ مترمکعب در ثانیه و ضریب ناش ساتکلیف ۰/۵۳ برآورد مناسب‌تری از هیدروگراف سیل نسبت به مدل هورتون با میانگین مجذور مربعات خطا ۱/۱ متر مکعب بر ثانیه و ضریب ناش ساتکلیف ۰/۵۴ و مدل نفوذپذیری گرین امپ با میانگین مجذور مربعات خطا ۱/۳۵ متر مکعب در ثانیه و ضریب ناش ساتکلیف ۰/۲۹ در مرحله صحت‌سنجی دارد.

واژگان کلیدی: حوزه آبخیز امامه، حوزه لتیان، روندیابی ماسکینگام، مدل بارش- رواناب، مدل‌های نفوذ، HEC-HMS.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱مقدمه ۲
۱-۲ اهداف تحقیق ۳
۱-۳ سئوالات تحقیق ۴
۱-۴ فرضیات تحقیق ۴
۱-۵ مفاهیم ۴
۱-۵-۱ نفوذ پذیری ۴
۱-۵-۲ مدل‌های نفوذ ۵
۱-۵-۳ مدل‌های فیزیکی ۵
۱-۵-۴ مدل‌های تجربی ۶
۱-۵-۴-۱ مدل سرویس حفاظت خاک امریکا ۶
۱-۵-۴-۲ مدل هورتون ۸
۱-۵-۵ مدل HEC-HMS ۹
۱-۵-۶ شبیه ساز باران ۱۰

فصل دوم: سابقه تحقیق

۲-۱ مقدمه ۱۳
۲-۲ تحقیقات صورت گرفته در خارج از کشور ۱۴
۲-۳ تحقیقات صورت گرفته در داخل کشور ۱۵
۲-۴ جمع بندی ۱۷

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ مقدمه ۱۹
۳-۲ خصوصیات منطقه مورد مطالعه ۱۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۲-۱ ویژگی‌های اقلیمی ۲۱
۳-۲-۲ ویژگی‌های خاک شناسی ۲۱
۳-۲-۳ وضعیت زمین شناسی منطقه ۲۲
۳-۲-۴ وضعیت کاربری اراضی و پوشش گیاهی ۲۳
۳-۳ جمع آوری اطلاعات ۲۴
۳-۴ تعیین واحدهای کاری ۲۵
۳-۵ نمونه برداری صحرایی ۲۶
۳-۶ عملیات آزمایشگاهی ۲۶
۳-۷ واسنجی هر مدل ۲۷
۳-۸ ساخت مدل حوزه آبخیز امامه ۲۷
۳-۸-۱ وارد سازی اطلاعات نفوذپذیری اندازه‌گیری شده ۲۸
۳-۸-۲ درصد سطوح غیرقابل نفوذ در زیر حوضه‌ها ۲۹
۳-۸-۳ محاسبه دبی پایه در زیر حوضه‌ها ۲۹
۳-۸-۴ تبدیل بارش به روان‌آب در زیر حوضه‌ها ۳۰
۳-۸-۵ روندیابی رواناب هر زیر حوضه ۳۰
۳-۹ واسنجی مدل و بهینه‌سازی نتایج حاصل از مدل ۳۱
۳-۱۰ معرفی تابع هدف مورد استفاده ۳۲
۳-۱۱ معیارهای کمی مورد استفاده ۳۳

فصل چهارم: نتایج

۴-۱ مقدمه ۳۷
۴-۲ محل اندازه‌گیری‌های نفوذپذیری ۳۷
۴-۳ ویژگی‌های خاک‌شناسی نمونه‌های خاک ۳۸
۴-۴ تعیین پارامترهای مدل‌های نفوذپذیری ۳۹

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۵-۱ بحث و نتیجه گیری ۶۰
۵-۲ آزمون فرضیات ۶۵
۵-۳ پیشنهادها ۶۵

فهرست منابع

منابع ۶۶
پیوست ۷۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ نمای شماتیک و تصویر باران‌ساز کامفورست..... ۱۱
شکل ۳-۱ نمایش موقعیت حوزه آبخیز امامه..... ۲۰
شکل ۳-۲ نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک..... ۲۲
شکل ۳-۳ واحدهای کاری در منطقه مورد مطالعه ۲۵
شکل ۳-۴ مدل حوزه آبخیز امامه در نرم افزار HEC-HMS..... ۲۸
شکل ۳-۵ محدوده بازه‌های همگن در طول مسر رودخانه امامه..... ۳۱
شکل ۳-۶ نمودار جریانی روش تحقیق ۳۵
شکل ۴-۱ محل اندازه‌گیری نفوذ در واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه..... ۳۸
شکل ۴-۲ نحوه توزیع خطای برآورد نسبت به خط ۴۵ درجه..... ۵۲
شکل ۴-۳ مقایسه بین هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و برآوردی..... ۵۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ انواع استفاده از اراضی حوزه آبخیز امامه..... ۲۳
جدول ۳-۲ پارامترهای روندیابی بازه‌های همگن در رودخانه امامه..... ۳۰
جدول ۴-۱ خصوصیات توصیفی نمونه‌های خاک..... ۳۹
جدول ۴-۲ مقادیر مدل گرین امپ در هر کاربری..... ۳۹
جدول ۴-۳ مقادیر مدل هورتون در هر کاربری..... ۴۰
جدول ۴-۴ مقادیر مدل سرویس حفاظت خاک امریکا در هر کاربری..... ۴۰
جدول ۴-۵ مقدار مساحت اشغال شده توسط هر کاربری..... ۴۱
جدول ۴-۶ مقادیر پارامترهای مدل گرین امپ در هر زیر حوضه..... ۴۲
جدول ۴-۷ مقادیر پارامترهای مدل هورتون در هر زیر حوضه..... ۴۲
جدول ۴-۸ مقادیر پارامترهای مدل سرویس حفاظت خاک امریکا در هر زیر حوضه..... ۴۳
جدول ۴-۹ نتایج واسنجی پارامترهای مدل گرین امپ..... ۴۴
جدول ۴-۱۰ نتایج واسنجی پارامترهای مدل هورتون..... ۴۵
جدول ۴-۱۱ نتایج واسنجی پارامترهای مدل سازمان حفاظت خاک امریکا..... ۴۵
جدول ۴-۱۲ نتایج حاصل از مدل گرین امپ..... ۴۷
جدول ۴-۱۳ نتایج حاصل از مدل هورتون..... ۴۸
جدول ۴-۱۴ نتایج حاصل از مدل سرویس حفاظت خاک امریکا..... ۴۹
جدول الف-۱ مقادیر نفوذپذیری اندازه‌گیری شده در واحدهای مختلف زمانی در هر نقطه ۷۰

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱مقدمه

تهیه و اجرای طرح‌های توسعه‌ای، طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی همانند سدها، پل‌ها، برنامه‌ریزی-های مربوط به حفاظت خاک و مدیریت کمی و کیفی منابع آبی همگی نیازمند درکی کامل و دقیق از چرخه رواناب دارد (Jain و Kumar، ۲۰۰۶). چرا که تهیه هیدروگراف برای کلیه رگبارهای یک حوزه آبخیز ساده نبوده و نیازمند صرف دقت، هزینه و امکانات زیاد است. علاوه بر این، محدودیت‌های مختلف مانند نبود ایستگاه‌های هیدرومتری و مشکل بودن جمع‌آوری داده‌های هیدرومتری از آبراهه-های رتبه پایین به عنوان عرصه اصلی عملیات آبخیزداری، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف سیلاب را اجتناب ناپذیر می‌کنند (صادقی و همکاران، ۱۳۸۵). مدل‌های بارش-رواناب ابزاری مناسب برای مطالعه فرایندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی می‌باشند (Perrin و همکاران، ۲۰۰۷). در این راستا تعیین حجم رواناب حاصل از بارندگی به منظور پیش‌بینی، پیش‌گیری و مدیریت سیلاب، فرسایش خاک و انتقال آلاینده‌ها در حوزه آبخیز از اهمیت زیادی برخوردار بوده که به طور مستقیم به پدیده نفوذ آب در خاک وابسته است (Sadeghi و Singh، ۲۰۱۰). به همین دلیل نفوذ در هیدرولوژی سطحی و زیر سطحی نقش مهمی ایفا کرده و عاملی کلیدی در تمامی معادلات بارش و رواناب است (باصری و همکاران، ۱۳۹۰) تا جایی که در بسیاری از مدل‌های بارش و رواناب در سطح حوزه آبخیز از میان هدررفت‌های هیدرولوژیک تنها مولفه نفوذ در نظر گرفته می‌شود (Chahinian و همکاران، ۲۰۰۵). از این رو مطالعه نفوذ به عنوان یکی از اجزای مهم فرایندهای بارش و رواناب ضروری است.

در نفوذپذیری خاک عواملی مانند بافت و ساختمان خاک، پوشش گیاهی، شیب سطح زمین و قابلیت پراکندگی ذرات سطح خاک دخالت دارند (علیزاده، ۱۳۸۴و مهدوی، ۱۳۸۸) که تغییرپذیری زمانی و مکانی آنها موجب تفاوت در مقدار نفوذ در خاک‌های مختلف می‌شود (پرچمی‌عراقی و همکاران، ۱۳۸۹). از طرفی عامل موثر دیگر در میزان نفوذ، شدّت بارندگی است که نقش تعیین کننده‌ای در تقسیم بندی جریان‌های مختلف در هیدروگراف سیل وقایع منفرد دارد (Quan، ۲۰۰۶). به همین دلیل آزمایش‌های میدانی برای اندازه‌گیری مقدار نفوذ، تعیین مدلی مناسب برای بیان کمی آن و

همچنین تعیین ضرایب آن در شرایط ویژه هر منطقه ضروری است (Crescimanno و همکاران، ۲۰۰۷).

با توجه به آن که هیچ دستورالعملی برای انتخاب مدل نفوذپذیری مناسب به منظور شبیه‌سازی جریان و تجزیه و تحلیل تاثیر مقادیر نفوذپذیری خاک‌های مختلف روی هیدروگراف در سطح حوزه آبخیز تاکنون ارائه نشده است. لذا هدف تحقیق حاضر ارزیابی و مقایسه مدل‌های مختلف نفوذ بر اساس ویژگی‌های بارش به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیل و تعیین مدل مناسب در مقیاس حوزه آبخیز می‌باشد.

۱-۲ اهداف تحقیق

تحقیق حاضر به منظور رسیدن به اهداف زیر صورت گرفته است

۱. تخمین هیدروگراف سیل با استفاده از مدل‌های متفاوت نفوذ

۲. تعیین مناسب‌ترین مدل نفوذپذیری به منظور تخمین هیدروگراف سیل

۱-۳ سئوالات تحقیق

در تحقیق حاضر سئوالات زیر مدنظر می باشد:

۱. آیا امکان تخمین بهینه مولفه‌های هیدروگراف سیل بر اساس مقادیر نفوذپذیری مدل‌های نفوذ در مقیاس حوزه آبخیز وجود دارد؟

۲. کدام مدل نفوذپذیری مناسب‌ترین مدل برای تخمین هیدروگراف سیل می‌باشد؟

۱-۴ فرضیه‌های تحقیق

با توجه به سئوالات تحقیق، فرضیه‌های زیر در این تحقیق در نظر گرفته شد:

۱. دقت مدل نفوذ گرین امپ در تخمین هیدروگراف سیل حوزه آبخیز نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر است.

۲. امکان شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با دقت قابل قبول از طریق تعیین دقیق پارامترهای مدل نفوذ وجود دارد.

۱-۵ مفاهیم

۱-۵-۱ نفوذپذیری

حرکت آب در خاک تحت شرایط خاص را نفوذ گویند. نفوذ از ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد که به روش‌های مختلف (استوانه‌های مضاعف و تک استوانه‌ای، کرت‌های کوچک و دستگاه‌های باران ساز) قابل اندازه‌گیری است (بهبهانی، ۱۳۸۰).

۱-۵-۲ مدل‌های نفوذ

با توجه به اهمیت پدیده نفوذ آب به خاک دانشمندان علوم هیدرولوژی کاربردی مدل‌هایی برای بیان این پدیده ارائه داده‌اند، برخی از این مدل‌ها به صورت فیزیکی از قبیل فیلیپ[۱] (۱۹۷۵)، گرین امپ[۲] (۱۹۱۱) پایه گذاری شده‌اند و برخی دیگر مدل‌های تجربی از قبیل هورتون[۳] (۱۹۳۸)، کوستیاکوف[۴] (۱۹۳۲)، سرویس حفاظت خاک امریکا[۵] (۱۹۷۴) هستند.

۱-۵-۳ مدل‌های فیزیکی

---

[1] Philip
[2] Green Ampt
[3] Horton
[4] Kostiakov
[5] Soil Conservation Service (SCS)

مدل‌های فیزیکی با استفاده از تلفیق ریاضی قوانین و روابط اثبات شده مانند قانون بقای جرم و قانون بقای انرژی و با فرض همگنی خاک، ثابت بودن رطوبت اولیه خاک، خطی و مستقیم بودن جبهه رطوبتی و مجزا در نظر گرفتن ناحیه اشباع و غیر اشباع بنا شده‌اند.

مدل گرین امپ

گرین و امپ (۱۹۱۱) از اولین پژوهش‌گرانی بودند که موفق به حل معادله نفوذ آب به خاک به روش تحلیلی- مفهومی شدند. مدل گرین امپ بر اساس همگنی خاک، ثابت بودن رطوبت اولیه خاک، خطی و مستقیم بودن جبهه رطوبتی و مجزا شدن ناحیه اشباع از ناحیه غیر اشباع به وسیله آنها به صورت رابطه(۱-۱)، بنا شده است.

$$f_t = k\left[\frac{1+(\emptyset-\theta)S_f}{F_t}\right] \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه f_t نفوذ در دوره زمانی t ، K ضریب هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع، (□-θ) حجم کمبود رطوبت، S_f پتانسیل مکش خاک در جبهه رطوبت، F_t نفوذ تجمعی در زمان t، اما شکل ساده شده این معادله به صورت رابطه (۱-۲) است.

$$F = \frac{a}{f} + b \qquad (۱-۲)$$

در این رابطه F سرعت نفوذ (cm/h)، f نفوذ تجمعی (cm) و a و b ضرایب مدل می‌باشند.

۱-۵-۴ مدل‌های تجربی

مدل‌های تجربی نفوذ با توجه به آزمایش‌های نفوذ، آمار و ارقام به دست آمده و برازش یک منحنی از بین داده‌ها به دست می‌آیند لذا برخی ضرایب آنها معنی فیزیکی نداشته و به ضرایب تجربی معروف هستند. از آن جایی که مدل‌های تجربی کم و بیش بر اساس مشاهدات آزمون گرایانه پی‌ریزی شده و ضمن ساده بودن بیان‌گر کل فرایند نفوذ هستند .

۱-۵-۴-۱ مدل سرویس حفاظت خاک امریکا

سرویس حفاظت خاک امریکا آزمایش‌های فراوانی به منظور تعیین فرایند نفوذ در مزارع انجام داده و مدلی با نام "مدل سرویس حفاظت خاک امریکا" به صورت رابطه(۱-۳) ارائه داده است.

$$I_a = at^b + 0.6985 \quad (۳-۱)$$

که در آن Ia نفوذ تجمعی (cm) و a و b ضرایب مدل هستند که با انجام آزمایش‌های فراوان برای خاک‌های امریکا به دست آمده‌اند. بر این مبنا مدل مشهور شماره منحنی سرویس حفاظت خاک امریکا میزان بارش مازاد را به‌عنوان تابعی از نفوذ تجمعی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و رطوبت قبلی خاک حوزه آبخیز با استفاده از رابطه (۱-۴) بیان می‌کند.

$$Pe = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \quad (۴-۱)$$

در رابطه مذکور Pe بارش مازاد تجمعی در زمان t، Ia تلفات اولیه و S حداکثر گیرش بالقوه می‌باشد. از تجزیه و تحلیل نتایج چندین حوزه آبخیز آزمایشی کوچک سرویس حفاظت خاک امریکا رابطه تجربی بین Ia و S را به صورت رابطه(۱-۵) بیان می‌کند.

$$Ia = 0.2S \quad (۵-۱)$$

بنابراین بارش مازاد تجمعی در زمان t برابر است با:

$$Pe = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (۶-۱)$$

که در آن Pe ارتفاع رواناب (cm)، P ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته (cm)، S حداکثر توان نگهداری مربوط به نفوذ در خاک و ذخیره سطحی(cm) می‌باشد. به پیشنهاد سرویس حفاظت خاک امریکا افزایش مازاد در بازه زمانی به منزله اختلاف بین مازاد تجمعی در ابتدا و انتهای بازه محاسبه شده و حداکثر گیرش S و خصوصیات حوزه آبخیز به یک پارامتر بی بعد به نام شماره منحنی(CN) بستگی دارد.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۷-۱)$$

که در آن S حداکثر توان نگهداری مربوط به نفوذ در خاک و ذخیره سطحی(cm) است. به طور کلی مقدار CN در یک حوزه آبخیز به‌عنوان تابعی از کاربری اراضی، نوع خاک و رطوبت قبلی حوضه برآورد می‌شود. در حوضه‌های بزرگ که معمولاً متشکل از انواع کاربری اراضی و انواع خاک می‌باشد، لازم است عدد شماره منحنی مرکب توسط رابطه (۱-۸) زیر محاسبه گردد.

$$CNc = \frac{\sum A_i \cdot CN_i}{\sum A} \qquad (۱-۸)$$

که در آن CNc شماره منحنی مرکب زیر حوضه، i نمایه زیر حوضه با نوع خاک و کاربری یکنواخت، CN_i شماره منحنی زیر حوضه i و A_i مساحت زیر حوضه i می‌باشد.

۱-۵-۴-۲ مدل هورتون

مدل هورتون (۱۹۴۰) تابعی نمایی بوده و اساس آن بر تناسب بین سرعت انجام کار با میزان کار باقیمانده بر مبنای حل معادله ریچارد است. به منظور سادگی در محاسبه ضرایب این معادله به صورت رابطه (۱-۹) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$f = ib + (f_o - ib).e^{-kt} \qquad (۱-۹)$$

که در آن f سرعت نفوذ در زمان مشخص (cm/h)، ib میزان ثابت نفوذ (cm/h)، f_o حداکثر سرعت نفوذ اولیه (cm/h)، k عاملی است که وابسته به خاک بوده و سایر شرایط موثر در کاهش ظرفیت نفوذ را بیان می‌کند و t زمان از شروع نفوذ می‌باشد. کلیه ضرایب این معادله مثبت بوده و به روش حداقل مجموع مربعات خطا به دست می‌آید. این روش بر این اصل استوار است که حداکثر میزان پتانسیل تلفات بارش ib در طول یک واقعه بارش ثابت می‌ماند، بنابراین اگر P_t عمق بارش میانگین منطقه‌ای در طی گام زمانی t تا $t+\Delta t$ باشد، بارش مازاد Pe_t در طول گام زمانی به صورت رابطه (۱-۱۰) خواهد بود.

$$Pe_t = \begin{cases} P_t - f_c & P_t > f_c \\ 0 & P_t \le f_c \end{cases} \qquad (۱-۱۰)$$