بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دانشکده آبخیزداری، شیلات و محیط زیست

گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد (M.Sc) آبخیزداری

مدلسازی پخشی بیلان هیدرولوژی حوضه آبخیز چهل چای شهرستان مینودشت

نگارنده

عبدالجلیل حزبی

استاد راهنما

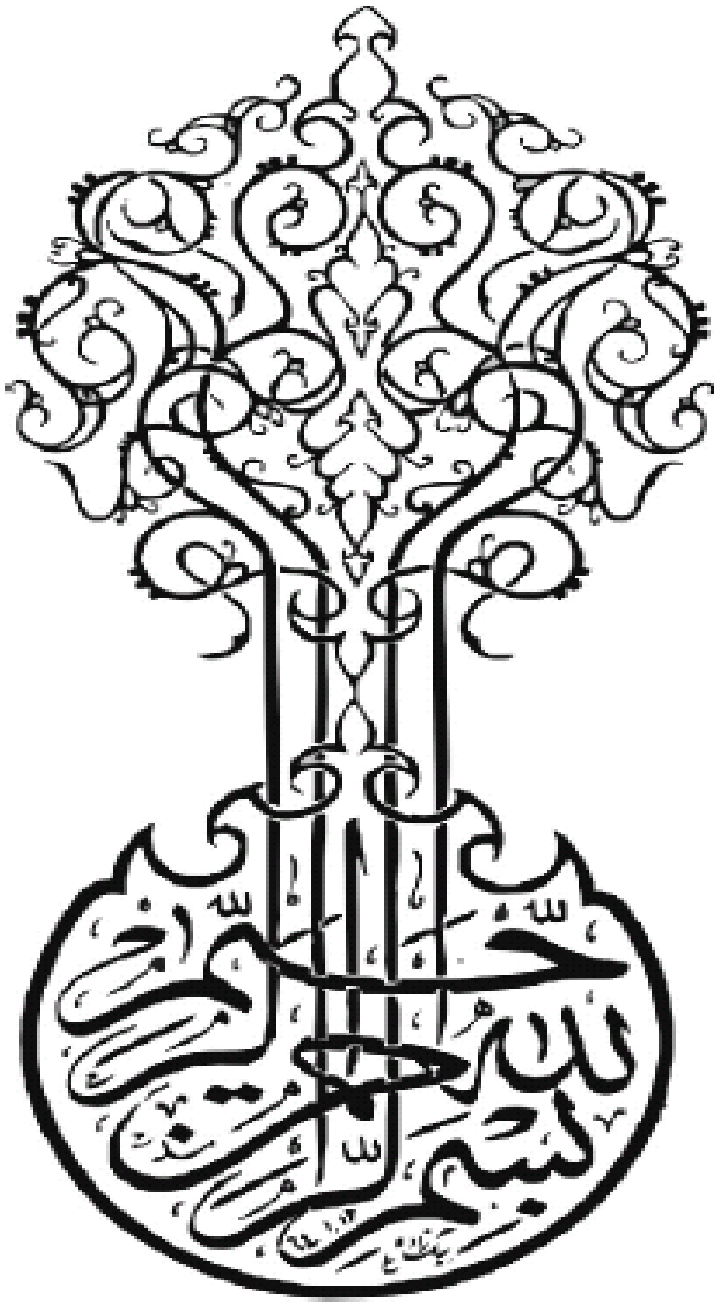
دکتر واحد بردی شیخ

استاد مشاور

دکتر عبدالرضا بهره‌مند

زمستان

۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده

مدلسازی فرایندهای هیدرولوژی این توانایی را دارد که اطلاعات بهتری برای مدیریت حوضه به دست آورده، دید بهتر و جامع‌تری نسبت به حوضه ایجاد نماید. در این تحقیق بیلان آب و جریان خروجی حوضه آبخیز چهل‌چای مدلسازی گردید. برای مدلسازی بیلان آب و جریان خروجی از محیط PCRaster استفاده گردید. PCRaster که یک محیط GIS و مدلسازی دینامیک عمومی است که برخلاف سایر محیط های GIS مثل Arcview و Arc GIS که محیط GIS استاتیک می باشند، قابلیت دینامیک محیط PCRaster امکان ساخت مدل های دینامیک زیست محیطی توزیعی پیوسته (Itertive spatio-temporal environmental models) را فراهم می کند PCRaster به عنوان GIS محیط مناسبی را برای ذخیره، اداره و نمایش داده های ورودی و خروجی فراهم می کند. این نرم افزار قابلیت های فراوانی برای شبیه سازی و مدل سازی فرایندهای مختلف هیدرولوژیکی و طبیعی دارد. در این تحقیق عوامل و پارامترهای دخیل در بیلان آب شامل بارش، ذوب برف، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، رواناب سطحی ناشی از بارش، آب پایه و جریان زیرقشری در نظر گرفته شده و با استفاده از روابط موجود بیلان آب مدلسازی گردیده و دبی خروجی روزانه حوضه از مجموع دبی رواناب، جریان زیرقشری و آب پایه به دست آمد. پس از کسب نتایج اولیه برای واقعی‌تر شدن نتایج شبیه‌سازی فرایند واسنجی مدل برای دوره آماری مدلسازی (۸۷-۱۳۸۶) انجام گرفت. برای تعیین اعتبار و کارایی مدل فرایند اعتبارسنجی با استفاده از یک دوره آماری سه ساله برای سال‌های هیدرولوژیکی ۸۶-۱۳۸۵، ۸۵-۱۳۸۴ و ۸۴-۱۳۸۳ انجام گردید. نتایج به دست آمده از مدلسازی با داده‌های دبی مشاهداتی ثبت شده در خروجی حوضه با استفاده از ضریب نش – ساتکلیف و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفتند. ضریب نش- ساتکلیف برای دوره واسنجی ۰/۷ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۵ به دست آمد. با توجه به این که در منابع علمی بیان شده است که اگر ضریب نش- ساتکلیف بالای ۰/۳۶ باشد، نتایج مورد قبول است، نتایج ارزیابی نشان دادند که مدل از کارایی مطلوب و قابل قبولی برخوردار است. در این تحقیق با داشته‌های موجود مدلی ساخته شد که از کارایی مناسبی برخوردار بود، اما می‌توان گفت که با اصلاح داده‌های موجود و یا داشتن داده‌های صحیح‌تر می‌توان مدلی کاراتر و دقیق‌تر نیز ساخته و ارائه نمود.

کلمات کلیدی: مدلسازی، بیلان آب، واسنجی و اعتبار سنجی، PCRaster

تقدیر و تشکر

در این لحظه جا دارد تا صادقانه و بی پیرایه از تمام عزیزانی که در انجام این تحقیق و به سرانجام رسیدن آن صمیمانه کمک نموده اند تقدیر و تشکر نمایم.

با تمام وجود دستهای استاد راهنمای گرانقدر خویش جناب دکتر شیخ را می فشارم و صمیمانه ترین و گرمترین درودهای خویش را تقدیم ایشان می‌نمایم که فراتر از یک استاد راهنما بوده اند و اگر کمک های بیدریغ و راهنماییهای ایشان نبود چه بسا این تحقیق به سرانجام نمی رسید.

تشکر صمیمانه ای نیز دارم از جناب دکتر بهره مند که زحمت مشاوره این تحقیق را به عهده گرفته و با راهنمایی‌ها و توصیه های روحیه بخش خویش همواره مشوق بنده بوده اند.

همچنین از تمامی اساتید گرانقدر گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی و مرتعداری که در این مدت نزد همگی آنان تلمذ نموده و بسیار آموخته‌ام نیز سپاسگذاری می‌نمایم.

سلام و درود بی پایان خویش را نثار دوستان و همکلاسی های نازنین خود می نمایم که کمک های بیدریغ، روحیه بخش و مهربانانه آنان یاری رسان این کمترین در پیمودن این مسیر دشوار بودند خاصه آقایان آرش زارع، مجتبی محمدی، حسین اکبری، محمد محمدی الوار، ابراهیم کریمی و خانم‌ها اکرم عارفی اصل و مهناز زارع .

تقدیر و تشکر ویژه ای نیز از اساتید گرانقدر داور، آقایان دکتر سعدالدین و دکتر نجفی نژاد دارم که زحمت داوری این تحقیق را بر عهده گرفته و نکته سنجی علمی آنان راهگشای بنده در به سرانجام رسیدن این تحقیق بودند.

و در آخر بر خود لازم میدانم تا تشکر و قدردانی خود را نسبت به خوانواده عزیز خود ابراز نمایم. از والدین خود، خاصه پدر به خاطر پشتیبانی های بیدریغ و مادر مرحومم به خاطر مهربانی ها و دلسوزی هایش. از همسرم به خاطر همراهی هایش. از فرزندم، امید فردا و دلخوشی زندگیم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

۱-۱- بیان مسئله ۱

۱-۲- هدف تحقیق ۶

۱-۳- فرضیه ۶

۱-۴- معرفی فصل‌های پایان‌نامه ۶

فصل دوم : مروری بر مطالعات انجام شده

۲-۱- مروری کلی بر سوابق تحقیقی بیلان آب ۱۰

۲-۲ مروری بر منابع استفاده از محیط PCRaster ۱۴

۲-۳- مروری بر سوابق تحقیقی درباره برگاب ۱۶

۲-۴ مروری بر سوابق علمی استفاده از روش شماره منحنی و برآورد ضریب رواناب ۱۷

۲-۵ مروری بر سوابق تحقیقی درباره تبخیر و تعرق ۲۰

۲-۶ مروری بر سوابق مطالعاتی درباره رطوبت خاک ۲۴

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه ۳۰

۳-۲- آماده سازی داده‌های ورودی ۳۱

۳-۲-۱- نقشه‌های مورد نیاز ۳۲

۳-۲-۱-۱ نقشه رقومی ارتفاع DEM ۳۳

۳-۲-۱-۲- نقشه کاربری اراضی ۳۴

۳-۲-۱-۳- نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و CN ۳۵

۳-۲-۱-۴- نقشه خاکشناسی ۳۶

۳-۲-۲- آمار و اطلاعات مورد نیاز ۳۸

۳-۲-۲-۱- اطلاعات و آمار اقلیمی و هیدرولوژی ۳۸

۳-۲-۲-۲- اطلاعات و آمار مربوط به خاک و پوشش گیاهی ۳۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۳- معرفی محیط PCRaster ۳۹
۳-۳-۱ کلیاتی از محیط PCRaster ۳۹
۳-۳-۲ آشنایی با فضای عمومی محیط PCRaster ۴۱
۳-۳-۳- دانلود و نصب نرم افزار محیط PCRaster ۴۴
۳-۳-۴- انجام کار و مدل‌سازی در محیط PCRaster ۴۶
۳-۳-۴-۱- تشکیل پایگاه داده‌ها: ۴۶
۳-۳-۴-۲- ایجاد بستر کار ۴۷
۳-۳-۴-۳- مدل‌سازی ۴۹
۳-۳-۴-۴- اطلاعات اولیه و فرمت‌های رایج محیط PCRaster ۵۲
۳-۴- مراحل مدل‌سازی ۵۳
۳-۴-۱- بارش ورودی ۵۶
۳-۴-۲ بارش برف و فرایند ذوب برف ۵۷
۳-۴-۳- برآورد باران خالص ۵۸
۳-۴-۳-۱- برگاب: ۵۹
۳-۴-۳-۲- شاخص سطح برگ LAI ۶۰
۳-۴-۴- تبخیر و تعرق ۶۲
۳-۴-۴-۱- تبخیر و تعرق پتانسیل ۶۳
۳-۴-۴-۲- محاسبه ضریب اصلاحی تعرق گیاه (K_{cb}) ۶۴
۳-۴-۴-۳- محاسبه ضریب کاهنده تعرق (K_s) ۶۵
۳-۴-۴-۴- ضریب تبخیر از سطح خاک (K_e) ۶۸
۳-۴-۴-۵- ضریب کاهنده میزان تبخیر از سطح خاک (K_r) ۶۸
۳-۴-۵- برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی ۶۹
۳-۴-۶- نفوذ آب در خاک و رطوبت خاک ۷۳
۳-۴-۷- نفوذ عمقی ۷۴
۳-۴-۸- جریان زیرقشری ۷۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۴-۹- جریان پایه ۷۷
۳-۴-۱۰- دبی کل در خروجی حوضه ۷۹
۳-۴-۱۱- مولفه‌های بیلان آب ۷۹
۳-۵- واسنجی مدل ۷۹
۳-۶- اعتبارسنجی مدل ۸۱
۳-۷- ارزیابی کارایی مدل ۸۲

فصل چهارم: نتایج

۴-۱- نتایج مرحله آماده‌سازی داده‌ها ۸۵
۴-۲- نتایج به دست آمده از اجرای گام به گام مدل بیلان آب ۸۸
۴-۲-۱- نتایج مرحله بارش ۸۸
۴-۲-۲- بارش برف و فرایند ذوب برف ۹۰
۴-۲-۳- نتایج مرحله برگاب و باران خالص ۹۲
۴-۲-۴- نتایج مرحله برآورد تبخیر و تعرق واقعی ۹۲
۴-۲-۴-۱- برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ۹۲
۴-۲-۴-۲- محاسبه ضریب اصلاحی تعرق گیاه (K_{cb}) ۹۴
۴-۲-۴-۳- نتایج مرحله محاسبه ضریب کاهنده تعرق (K_s) ۹۵
۴-۲-۴-۴- ضریب تبخیر از سطح خاک (K_e) ۹۶
۴-۲-۴-۵- ضریب کاهنده میزان تبخیر از سطح خاک (K_r) ۹۶
۴-۲-۴-۶ برآورد تبخیر و تعرق واقعی ۹۷
۴-۲-۵- نتایج مرحله برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی ۹۷
۴-۲-۶- نفوذ آب در خاک و رطوبت خاک ۹۹
۴-۲-۷- نفوذ عمقی ۹۹
۴-۲-۸- جریان زیرقشری ۱۰۰
۴-۲-۹- جریان پایه ۱۰۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۴-۲-۱۰- دبی مجموع ۱۰۲
۴-۲-۱۱- مولفه‌های بیلان آب ۱۰۲
۴-۲-۱۲- نتایج مرحله واسنجی مدل ۱۰۳
۴-۲-۱۳- نتایج مرحله اعتبار سنجی مدل ۱۰۵
۴-۲-۱۴- نتایج مرحله ارزیابی کارایی مدل ۱۰۶

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱- مقدمه ۱۰۹
۵-۲- مدل و مدل‌سازی ۱۰۹
۵-۳- منطقه مورد مطالعه ۱۱۰
۵-۴- تفسیر نتایج مدل ۱۱۱
۵-۵- آزمون فرضیه‌ها ۱۱۳
۵-۶- پیشنهادات ۱۱۴
۵-۶-۱- پیشنهادات پژوهشی ۱۱۴
۵-۶-۲- پیشنهادات اجرایی ۱۱۵
۵-۷- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی نهایی ۱۱۶
منابع ۱۱۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز چهل‌چای ۳۲
شکل۳-۲ نقشه رقومی ارتفاعDEM ۳۳
شکل۳-۳ نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز چهل‌چای ۳۴
شکل۳-۴ نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه آبخیز چهل‌چای ۳۶
شکل۳-۵ نقشه CN حوضه آبخیز چهل‌چای ۳۶
شکل۳-۶ نقشه واحدهای اراضی و مشخصات خاکشناسی حوضه آبخیز چهل‌چای ۳۸
شکل۳-۷ نمایی از فضای تحت DOS محیطPCRaster ۴۱
شکل۳-۸ نمایی از فضای تحت ویندوز Nutshell محیطPCRaster ۴۲
شکل۳-۹ نمای مربوط به صفحه دانلود نرم افزار محیط pcraster از سایت اصلی محیط ۴۵
شکل ۳-۱۰ نمای مربوط به صفحه دانلود pcraster در مرحله ذخیره و دریافت کلمه عبور ۴۵
شکل ۳-۱۱ مراحل ساخت نقشه clone ۴۸
شکل۳-۱۲ نمایش مراحل تعریف مشخصات نقشهclone ۴۸
شکل۳-۱۳ نمایی از پنجره جدید ساخت نقشه بستر ۴۹
شکل۳-۱۴ نمایی کلی از فایل اجرایی یک مدل ساده دینامیکی ۵۰
شکل ۳-۱۵ نمایی از روش LDD در محیط PCRaster و رویکرد انتقال رواناب یک سلول ۵۵
شکل۳-۱۶ نمودار جریانی چرخه آب ۵۵
شکل ۳-۱۷ ارزش‌های مبنای سلول‌ها برای تهیه نقشه LDD ۷۲
شکل۳-۱۸ شمای کلی از مناطق اشباع و غیر اشباع در آب زیرزمینی ۷۷
شکل ۴-۱ تغییرات زمانی بارش روزانه، a: ایستگاه لزوره، b: ایستگاه قلعه‌قافه، c: ایستگاه دوزین ۸۶
شکل ۴-۲ تغییرات زمانی دمای متوسط حوضه آبخیز چهل‌چای ۸۷
شکل۴-۳ تغییرات زمانی اختلاف دمای حداکثر و حداقل روزانه حوضه آبخیز چهل‌چای ۸۷
شکل ۴-۴ تغییرات زمانی شاخص سطح برگ روزانه برای کاربری جنگل حوضه آبخیز چهل‌چای ۸۷
شکل۴-۵ تغییرات زمانی شاخص سطح برگ روزانه برای کاربری زراعت حوضه آبخیز چهل‌چای ۸۸
شکل ۴-۶ تغییرات زمانی باران خالص روزانه، a: ایستگاه لزوره، b: ایستگاه قلعه‌قافه، c: ایستگاه دوزین ۸۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۷ تغییرات زمانی بارش برف روزانه حوضه آبخیز چهل‌چای ۹۰
شکل۴-۸ تغییرات زمانی پتانسیل ذوب برف روزانه حوضه آبخیز چهل‌چای ۹۱
شکل ۴-۹ تغییرات زمانی ارتفاع آب ناشی از ذوب برف روزانه حوضه آبخیز چهل‌چای برحسب میلیمتر ۹۱
شکل ۴-۱۰ تغییرات زمانی ارتفاع تجمعی برف روزانه حوضه آبخیز چهل‌چای برحسب میلیمتر ۹۱
شکل ۴-۱۱ تغییرات زمانی نسبت عبور باران حوضه آبخیز چهل‌چای برای دو کاربری جنگل و زراعت ۹۲
شکل ۴-۱۲ تغییرات زمانی میزان تشعشع روزانه خارج از جو روزانه حوضه آبخیز چهل‌چای ۹۳
شکل ۴-۱۳ تغییرات زمانی میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل به دست آمده از رابطه هارگریوز- سامانی حوضه آبخیز چهل‌چای ۹۴
شکل ۴-۱۴ تغییرات زمانی عامل اصلاحی مربوط به تعرق گیاه پایه برای دو کاربری جنگل و زراعت ۹۵
شکل ۴-۱۵ تغییرات زمانی روزانه عامل اصلاحی کاهنده تعرق براساس رطوبت خاک ۹۵
شکل ۴-۱۶ تغییرات زمانی روزانه ضریب تبخیر از سطح خاک حوضه آبخیز چهل‌چای ۹۶
شکل ۴-۱۷ تغییرات زمانی روزانه عامل اصلاحی کاهنده تبخیر از سطح خاک براساس رطوبت خاک ۹۶
شکل ۴-۱۸ تغییرات زمانی میانگین تبخیر و تعرق واقعی حوضه آبخیز چهل‌چای برای کل سطح حوضه ۹۷
شکل ۴-۱۹ نقشه LDD حوضه آبخیز چهل‌چای ۹۸
شکل۴-۲۰ تغییرات زمانی دبی رواناب ناشی از بارش حوضه آبخیز چهل‌چای ۹۸
شکل ۴-۲۱ تغییرات زمانی رطوبت خاک روزانه به ازای واحدهای خاکشناسی حوضه آبخیز چهل‌چای ۹۹
شکل ۴-۲۲ تغییرات زمانی‌نفوذ عمقی روزانه حوضه آبخیز چهل‌چای ۱۰۰
شکل ۴-۲۳ تغییرات زمانی دبی جریان زیرقشری روزانه حوضه آبخیز چهل‌چای ۱۰۰
شکل ۴-۲۴ تغییرات زمانی روزانه دبی آب جریان پایه منطقه غیراشباع حوضه آبخیز چهل‌چای ۱۰۱
شکل ۴-۲۵ تغییرات زمانی روزانه دبی آب جریان پایه منطقه اشباع حوضه آبخیز چهل‌چای ۱۰۱
شکل ۴-۲۶ تغییرات زمانی روزانه دبی آب جریان پایه حوضه آبخیز چهل‌چای ۱۰۲
شکل ۴-۲۷ تغییرات زمانی روزانه دبی مجموع جریان خروجی حوضه آبخیز چهل‌چای ۱۰۲
شکل۴-۲۸ مولفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی سال ۸۶-۸۷ به درصد نسبت به بارندگی ۱۰۳
شکل ۴-۲۹ تغییرات زمانی روزانه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوضه آبخیز چهل‌چای ۱۰۴
شکل۴-۳۰ مقایسه دبی‌های پیک نامتعارف بین نتایج مدل‌سازی و مشاهداتی ۱۰۵

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۳۱ تغییرات زمانی روزانه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره سه ساله اعتبارسنجی حوضه آبخیز چهل‌چای ۱۰۵
شکل۴-۳۲ مقایسه دبی‌های پیک نامتعارف بین نتایج مدل‌سازی و مشاهداتی..... ۱۰۶

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱ ضریب گیاهی پایه K_{cb} برای کاربری مختلف حوضه آبخیز چهل‌چای ۶۵
جدول۳-۲ مقادیر $\boldsymbol{\theta_{fC}}$ و $\boldsymbol{\theta_{wp}}$ برای حوضه آبخیز چهل‌چای بر اساس نقشه خاک واحدهای خاکشناسی ۶۶
جدول ۳-۳ پارامترهای انتخاب شده برای واسنجی مدل ۸۱
جدول ۴-۱ مقادیر تشعشع خارج از جو برحسب واحدهای مختلف ۹۳
جدول ۴-۲ نتایج ارزیابی مدل برای دوره واسنجی ۱۰۷
جدول ۴-۳ نتایج ارزیابی مدل برای دوره اعتبارسنجی ۱۰۷
جدول ۵-۱ مقایسه نتایج بیلان آب مدل WetsPa و تحقیق حاضر ۱۱۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

برای دانستن مفهوم بیلان هیدرولوژی ابتدا بایست مفهوم چرخه آب یا سیکل هیدرولوژی تعریف شود. در دوره رنسانس لئوناردو داوینچی چرخه هیدرولوژی را برای اولین بار به طور صحیح تشریح نموده و مطالب دقیقی در زمینه نفوذ و حرکت آب در زمین و بین لایه‌های خاک ارائه کرده است (میرباقری۱۳۷۷). اولین بار یک دانشمند فرانسوی به نام برناردپالیسی[1] شرحی درست از منشا رودخانه‌ها ارائه داد و گفت که منشا آب رودخانه‌ها و دریاها از بارندگیست(ولایتی، ۱۳۷۶). نقطه شروع مطالعات هیدرولوژی، بررسی و تعیین چرخه هیدرولوژیاست. چرخه هیدرولوژی، تعیین مدل حرکت آب در روی زمین و اتمسفر و حالت‌های مختلف گاز، مایع و جامد می‌باشد(ولایتی، ۱۳۸۸). بیلان هیدرولوژی یک وسیله کاملا ضروری در مطالعه تامین آب زیرزمینی نیز می‌باشد. بیلان هیدرولوژی چیزی بیشتر از موازنه ماده نیست که در آن تمام ورودی‌ها، خروجی‌ها و تغییرات در ذخیره را در داخل سیستمی که با مرزهای مشخص معین شده، به حساب می‌آورد (شریعتمدار طالقانی، ۱۳۸۴). چرخه آب یا سیکل هیدرولوژی[2] که همان گردش آب در طبیعت می‌باشد، مفهومی است مربوط به مسیر حرکت آب در کره زمین. سیکل هیدرولوژی یک چرخش ساده نیست، بلکه مجموعه‌ای از حرکات و حلقه‌های مختلف است که در سه بخش از کره زمین یعنی اتمسفر، هیدروسفر و لیتوسفر صورت می‌گیرد(علیزاده، ۱۳۸۷). چرخه آب در واقع تغییرات فیزیکی آب، ذخیره های موقتی، جریان، نفوذ و بازگشت به مرحله نخستین را در بر می گیرد (مهدوی، ۱۳۷۷) بیلان هیدرولوژی در واقع بررسی آب از هنگام ورود به سیستم آبخیز به صورت بارش، و حوادث و مسیر اتفاقاتیست که در مورد آن می افتد. چرخه هیدرولوژی، عبارت از مفهومی است که فرایندهای موثر در یک سیستم کلی از زمین و جو را نشان می‌دهد. این چرخه را می‌توانیم به صورت معادله‌ای که به نام معادله بیلان آب معروف است، نمایش دهیم. این معادله بیلان ریاضی فرایندهای موثر در بازه زمانی مشخص در یک حوضه آبریز می‌باشد که در آن از اصول پیوستگی جرم و انرژی استفاده شده است. به این صورت می‌توان چرخه هیدرولوژی را به شکل یک سیستم بسته در نظر گرفت که در آن، ماده و انرژی نه به وجود می‌آیند و نه از بین می‌روند. جرم یا ماده مورد بررسی در این سیستم آب می‌باشد(ولایتی، ۱۳۸۸).

1- Palissy
2 - Hydrological cycle

ترازنامه کلی آب به صورت زیر بیان می شود:

رابطه۱-۱ $P=ET+I+R$

P نزولات جوی

E تبخیر و تعرق

I نفوذ

R رواناب

این فرمول بسط داده شده فاکتورهای جدیدی به آن اضافه می شود. چنانچه حوضه آبخیز را به عنوان یک سیستم فرض نماییم بیلان آب برای شبکه جریان آب، براساس قانون بقای جرم به صورت زیر نیز بیان می شود:

رابطه ۱-۲ $P=I+dS+R+E+dW+V$

dS ذخیره چالابی

dW تغییرات حجم آب ذخیره شده در خاک

V نفوذ عمقی بوده و بقیه عوامل مثل رابطه قبلی هستند(مهدوی۱۳۷۷).

پارامترهای معادله بیلان آب را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از شارها و ذخیره‌ها در نظر گرفت. یک شار به معنای میزان جریان یک کمیت می‌باشد (گادی[1] و همکاران، ۱۹۹۴) که در هیدرولوژی این کمیت آب است. معادله بیلان آب تعیین کننده تغییرات نسبی آب در یک سطح نسبت به ذخیره مشخص می‌باشد. درحقیقت قسمت اصلی هیدرولوژی، شامل اندازه‌گیری یا تخمین میزان آب موجود در این انتقال شار و ذخیره آب است (ولایتی، ۱۳۸۸).

می‌توان یک حوضه آبخیز و بیلان آب آن را یک سیستم تعریف کرد. به طور کلی یک سیستم را می‌توان به شکل مجموعه‌ای از اجزای مرتبط که ورودی های متعدد را به خروجی‌های متعدد تبدیل می‌کند تصور کرد. چو[2] (۱۹۶۴) سیستم را به عنوان اجتماع یا انبوهی از اجزائی که موضوعات یا مفاهیم متحد شده را به وسیله یک سری فعل و انفعالات منظم و وابسته مرتبط می‌کند، تعریف کرده

1 - Goudie
2 - Chow

است. تعریف دوگ[1] (۱۹۶۷) از سیستم، جامع‌تر و پرمعناتر است و سیستم را به عنوان هر ساختمان، دستگاه، روش یا نحوه عمل حقیقی یا خلاصه که در یک زمان معین یک ورودی، علت یا محرک، ماده، انرژی یا اطلاعات را به یک خروجی، اثر یا پاسخ به شکل اطلاعات، انرژی یا ماده مرتبط می‌کند، تعریف کرده است (نجفی، ۱۳۸۱). در واقع بیلان هیدرولوژی دنبال کردن ماجرای آب از زمان بارش تا انتهای خروج از سیستم می باشد. با توجه به اهمیت حوضه آبخیز چهل چای و اینکه در این حوضه قرار است مدیریت جامع انجام شود اطلاع از بیلان آب امری اجتناب ناپذیر است. با توجه به اهمیت آب، سیل و در مجموع مسائل هیدرولوژیکی در زندگی روزمره مطالعه و بررسی این مسائل اهمیتی حیاتی می‌یابد. بدون وجود یک مدل یا یک مفهوم نظری، هیچگونه بررسی علمی و یا آزمایش هدفمندی را نمی‌توان انجام داد. تنها جنبه‌های ویژه‌ای از واقعیت پیچیده یک سیستم را می‌توان پژوهش و تعیین کرد. چنین نمایشی از جنبه‌های یک سیستم واقعی را مدل یا مدل سیستم می‌گویند (سپاسخواه، ۱۳۸۱). مدلسازی فرایندهای هیدرولوژیکی این توانایی را دارد که اطلاعات بهتری جهت مدیریت حوضه به دست آورده، دید بهتر و جامع‌تری نسبت به حوضه ایجاد نماید. برای مدیریت منابع آب و بهره برداری از آب لازم است تا از بیلان آب اطلاع کافی در دست باشد تا بتوان از آب بهترین استفاده را نموده و از هدررفت منابع آب جلوگیری گردد. با توجه به اینکه اقدام به مدلسازی بیلان آبی حوضه می‌شود لازم است انواع مدلسازی نیز بیان گردد. انواع مدل از حیث ساختار و ماهیت عبارتند از:

۱–مدل‌های فیزیکی

۲–مدل‌های تجربی

۳–مدل‌های مفهومی

از نظر سطح پرداخت و سطح عمل و توزیع مکانی نیز مدل ها سه نوع هستند:

۱– مدل های توزیعی

۲–مدل های نیمه توزیعی

۳–مدل های یکپارچه[2]

---

1 - Dooge
2 - Lumped

مدلی که در این تحقیق تدوین، طراحی و اجرا گردید یک مدل بیلان هیدرولوژیکی مفهومی و توزیعی برای حوضه آبخیز چهل چای می‌باشد. این نوع مدل اجازه می‌دهد در هر نقطه از حوزه بیلان آب را بررسی کرده و عکس العمل هیدرولوژی را مورد مطالعه قرار داد. با تنظیم و تدوین این مدل می‌توان تغییرات کاربری و مدیریتی را در هر نقطه حوضه و تاثیر آن را بر بیلان آب مورد محاسبه قرار داده و عکس العمل هیدرولوژی را بررسی و مطالعه نمود. ضمنا ایجاد مدل توزیعی به صورت شبکه سلولی این امکان را به وجود می‌آورد تا در واحدهای کوچک مکانی برنامه ریزی کرده و بتوان استفاده بهینه را از منابع آب حوضه نمود.

ورود کامپیوتر به عرصه جغرافیا و منابع طبیعی باعث بالا رفتن سرعت پردازش‌های جغرافیایی گردید. نرم افزارهای قدرتمندی ارائه شدند که سرعت و دقت کارها را بسار بالا بردند. نرم‌افزارGIS ازمهمترین، بهترین و کارآمدترین این نرم افزارها می‌باشد که به طور وسیعی مورد استفاده است. با گسترش GIS و تکنولوژی سنجش از راه دور، امکان دسترسی گسترده و مدیریت بر پارامترها و متغیرهای هیدرولوژیکی توزیعی مکانی میسر گشته است (اکبری، ۱۳۸۹ به نقل از بون، ۲۰۰۱). با افزایش روز افزون کاربرد نرم افزارهای GISی در حوضه منابع طبیعی و با توجه به استاتیک بودن غالب این نوع نرم افزارها لزوم طراحی و تدوین یک نرم افزار پویا و دینامیک احساس گردید. در راستای حل این نیاز نرم افزار PCRaster طراحی و تدوین گردید. PCRaster که یک محیط GIS و مدلسازی دینامیک عمومی است که برخلاف سایر محیط های GIS مثل Arcview و Arc GIS که محیط GIS استاتیک می باشند، قابلیت دینامیک محیط PCRaster امکان ساخت مدل های دینامیک زیست محیطی توزیعی پیوسته (Itertive spatio-temporal environmental models) را فراهم می کند PCRaster به عنوان GIS محیط مناسبی را برای ذخیره، اداره و نمایش داده های ورودی و خروجی فراهم می کند (شیخ، ۲۰۰۸). این نرم افزار قابلیت های فراوانی برای شبیه سازی و مدل سازی فرایندهای مختلف هیدرولوژیکی و طبیعی دارد.

PCRaster یک زبان برنامه نویسی سطح بالاست که برای ساده کردن برنامه‌نویسی برای متخصصین علوم زیست محیطی که عموما دانش برنامه‌نویسی کامپیوتری پیشرفته را دارا نمی‌باشند برای اولین بار در دانشگاه یوترخت هلند ارائه شد (ون دیورسن، ۱۹۹۲). PCRaster به صورت زبان برنامه نویسی سطح بالا درک واضح ساختار یک مدل را که مجموعه ای از دستورهای کامپیوتری است برای اکثر متخصصین مرتبط با آن مدل را برای کاربران به سادگی امکان پذیر می نماید (شیخ،

۱۳۸۸). قابلیت مدل‌سازی دینامیک، PCRaster را وسیله‌ای قدرتمند و بسیار کارآمد جهت مدل-سازی توزیعی فرایندهای هیدرولوژیکی کرده است و همچنین سادگی زبان برنامه‌نویسی استفاده آن را آسان نموده است. توزیعی بودن، سهولت کار، قابلیت مدلسازی دینامیک این محیط را جهت شبیه سازی و مدل‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی به صورت دینامیک بسیار مناسب و کارآمد می‌سازد. استفاده از این محیط کارا در عرصه منابع طبیعی در جهان رو به افزایش است. مدلسازی بیلان آب یکی از توانایی‌های PCRaster است که در این تحقیق از این توانایی استفاده گردیده است. پایش و ارزیابی منابع آب را میتوان یکی از مهمترین اقداماتی دانست که برای افزایش آگاهی و شناخت دربارهٔ شرایط منابع آب کشور باید انجام پذیرد و نتایج این گونه بررسی‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (یعقوبی و همکاران، ۱۳۸۹ به نقل از جعفری و ترابیان،۱۳۸۴). PCRaster این قابلیت را دارد که فرایندهای هیدرولوژی را به خوبی و به صورت دینامیک مدل-سازی و شبیه‌سازی کند. افزایش روزافزون استفاده از این محیط جهت مدل‌سازی دینامیک در جهان باعث شد تا این محیط برای انجام مدلسازی انتخاب گردد. در ایران هر چند مطالعات گسترده‌ای در زمینه مدل‌های هیدرولوژی صورت گرفته است، اما تلاش‌های اندکی برای طراحی و ساخت مدل انجام شده است، و از آنجایی که بیلان هیدرولوژی و دانستن آن از ابزارهای لازم و اساسی مدیریت اصولی حوضه آبخیز است و شرایط هیدرولوژی در مکان‌های مختلف متفاوت می‌باشند در این تحقیق سعی می‌گردد یک مدل بیلان هیدرولوژی کارآمد برای حوضه آبخیز چهل چای طراحی و تدوین گردد. در سابقه تحقیق در یکی از مقالات به بحث جالبی برخورد گردید که انگیزه‌ها را جهت مدل-سازی بیلان هیدرولوژی حوضه آبخبز چهل‌چای تقویت نمود. (باتون، ۲۰۰۴) بیان کرده بود که در استرالیا چهل سال است که مدل‌سازی بیلان هیدرولوژی آغاز شده و مدل‌سازی بیلان هیدرولوژی در استرالیا علمی بالغ وکامل است که این بلوغ مدیون دانشگاه‌های استرالیا و پروژه‌های دانشگاهی است. جامعه دانشگاهی کشور لازم است که وارد عرصه شده جهت تکامل این بحث بسیار مهم تلاش‌های اساسی را صورت دهد.

با معلوم بودن اهداف هیدرولوژی، مسائل آن را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد:

۱- مسائل علمی و فنی

۲- مسائل مدیریت و رفتاری

گرچه علم و فناوری شاهرگ تداوم و توسعه منابع طبیعی برای خدمت به نیازهای بشر است، ولی ساختار اجتماعی که این علم و فناوری در ان به کار برده می‌شود نیز از اهمیتی خاص برخوردار است (نجفی۱۳۸۱). در این تحقیق هر دو مسئله هیدرولوژی حائز اهمیت بوده هم مسائل علمی و فنی و هم مسائل مدیریت و رفتاری مد نظر می‌باشد.

مطالب زیادی در زمینه مدل‌سازی در نشریات علمی دیده می‌شود، اما بهترین منطق ساخت مدل توسط روزنبلوت و همکارش وینر[1] به قرار زیر است:

هیچ بخش از جهان به آن سادگی نیست که بتوان آن را بدون کوچک و محدود کردن درک و کنترل کرد. کوچک کردن به معنی جایگزین ساختن قسمت‌های مورد نظر از جهان به وسیله مدلی مشابه اما با ساختمانی ساده‌تر است. مدل‌ها گرچه ممکن است فرمولی[2]، ادراکی[3] و یا مادی باشند، ولی در هر صورت هسته مرکزی یک روش علمی را تشکیل می‌دهند (نجفی، ۱۳۸۱).

اکثر سیستم‌های هیدرولوژی، بسیار پیچیده‌اند و نمی‌توان آن‌ها را کاملا شناخت، بنابراین برای شناخت یا کنترل برخی از جوانب رفتار آن‌ها، حذف یا خلاصه کردن امری ضروری است.خلاصه کردن آن‌ها با جایگزین ساختن سیستم مورد نظر با مدلی مشابه، ولی با ساختمانی ساده‌تر صورت می-گیرد. هدف اولیه یک مدل شبیه‌سازی پیش‌بینی عمل یک سیستم پیچیده و بررسی اثر تغییرات روی عملکرد سیستم است. استفاده از مدل‌های هیدرولوژی برای پیش‌بینی‌ها، زمانی جلوه می‌کند که داده-های هیدرولوژی ناکافی باشند (نجفی، ۱۳۸۱ به نقل از دوگ۱۹۷۲). یکی از اهداف این مدل پیش‌بینی رفتار حوضه آبخیز به عنوان یک سیستم برای فرایندهای تصمیم‌گیری و مدیریت می‌باشد.

۱-۲- هدف تحقیق

۱- توسعه یک مدل هیدرولوژی که با استفاده از داده‌های موجودمنطقه‌ای توانایی شبیه‌سازی خصوصیات هیدرولوژی حوضه آبخیز چهل چای را دارا می‌باشد.

۲- فراهم نمودن اطلاعات مربوط به مولفه‌های مختلف بیلان هیدرولوژی جهت مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب برای بهره‌برداری از منابع آب حوضه آبخیز چهل‌چای.

---

1 - Rosenblueth and Wiener
2 - Formal
3 - Intellectual

۱-۳- فرضیه

با توجه به این که بیلان هیدرولوژی در حوضه آبخیز دارای نظم طبیعی بوده و روابط حاکم بر عوامل بیلان قاعده‌مند می باشند:

۱- با توجه به اطلاعات پایه موجود، محاسبه و مدل‌سازی بیلان هیدرولوژی حوضه آبخیز چهل چای امکان پذیر می‌باشد.

۲- مدل پخشی توسعه داده شده، جریان رودخانه چهل‌چای را با دقت قابل قبولی شبیه سازی می‌کند.

۳- مدل توسعه داده شده ابزار لازم جهت پیش بینی اثرات سناریوهای مدیریتی را فراهم می‌نماید.

۱-۴- معرفی فصل‌های پایان‌نامه

در فصل اول که مقدمه‌ای بر این تحقیق است، بیان مسئله آورده شده و سوالات اصلی تحقیق و فرضیه‌ها و اهداف تحقیق بیان گشته است. ضمنا سعی شده تا اندکی راجع به مفاهیم مدل‌سازی و اهمیت آن ذکر گردد. در فصل دوم سوابق تحقیق و مطالعات و تحقیقات مشابه در این زمینه ذکر گردیده است. از آنجایی که این تحقیق گام به گام بوده شامل مراحل متعددی می‌باشد سعی گردیده برای هر مرحله چندین مورد سابقه تحقیق داخلی و خارجی ذکر گردد تا اهمیت مطلب روشن‌تر گردد. در فصل سوم محیط PCRaster معرفی شده سعی گردیده تا گوشه‌ای از توانایی‌های این محیط نشان داده شود. در فصل چهارم که مواد و روش‌ها می‌باشد ابتدا منطقه مورد مطالعه معرفی شده سپس طریقه انجام کار و مراحل تحقیق بیان شده و هر گام فرایند مدلسازی بیلان آب حوضه آبخیز چهل‌چای تشریح گردیده است. در فصل پنجم نتایج حاصله مرحله به مرحله و گام به گام به صورت نقشه، جدول و نمودار جهت روشن شدن انجام کار و چگونگی آن آورده شده است. در فصل ششم و پایانی درباره مراحل کار و نتایج حاصله بحث و نتیجه گیری صورت گرفته، جهت بهتر شدن انجام کار یا تحقیقات بعدی پیشنهاداتی ارائه گردید.