دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته سازه‌های هیدرولیکی

ارائه یک فرآیند بهینه‌یابی به منظور کاهش خطا در معادله‌ی بیلان آب

امین دانشور خلیل‌آباد

استاد راهنما
دکتر سیدمحمود حسینی

استاد مشاور
دکتر بیژن قهرمان

شهریور ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

این پایان‌نامه با عنوان « **ارائه یک فرآیند بهینه‌یابی به منظور کاهش خطا در معادله‌ی بیلان آب** »

توسط « **امین دانشور خلیل‌آباد** » در تاریخ با نمره و درجه ارزشیابی در

حضور هیات داوران با موفقیت دفاع شد.

هیات داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت در هیات	امضاء
۱	آقای دکتر سیدمحمود حسینی	استاد	استاد راهنما	
۲	آقای دکتر بیژن قهرمان	استاد	استاد مشاور	
۳	آقای دکتر محمدباقر شریفی	دانشیار	استاد مدعو و نماینده تحصیلات تکمیلی	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: ارائه یک فرآیند بهینه‌یابی به منظور کاهش خطا در معادله‌ی بیلان آب

اینجانب **امین دانشور خلیل‌آباد** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- گرایش مهندسی سازه‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی دکتر سیدمحمود حسینی متعهد می شوم:

- نتایج ارایه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می‌گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مراجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد دیگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافت‌های آنها برای انجام پایان‌نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

تاریخ

نام و امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.**

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم . . .

که سایه سار وجودیشان

روشنگر راه من است . . .

سپاسگزاری

سپاس فراوان به پیشگاه ایزد یکتا که نعمت آموختن را به من ارزانی داشت. بر خود لازم می دانم که مراتب تقدیر خود را از کلیه عزیزانی که دلسوزانه در انجام این تحقیق یاری‌ام نمودند اعلام نمایم. از زحمات و کمک‌های بی‌دریق استاد ارجمند جناب آقای دکتر سیدمحمود حسینی قدردانی می‌نمایم که راهنمایی‌های ایشان همواره روشن‌گر راه من بوده است. همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر بیژن قهرمان به خاطر مشاوره و راهنمایی‌های ارزنده‌شان کمال تشکر را دارم و درنهایت لازم است از دوست عزیزم جناب آقای مهندس بهرام خزائی تشکر ویژه‌ای داشته باشمکه در طی انجام این تحقیق همواره همراه من بودند. بدون شک انجام این تحقیق بدون مساعدت‌ها و دلسوزی‌های این عزیزان میسر نبود.

چکیده

طی سال‌های اخیر، افزایش جمعیت، نیاز انسان به منابع آبی را افزایش داده است. شرایط آب‌وهوایی کره‌ی زمین نیز به سمتی پیش می‌رود که دسترسی به منابع آبی را برای انسان محدودتر می‌کند. بنابراین، برقراری تعادل بین منابع آبی موجود و نیازهای مختلف بشر به آب از چالش‌هایی است که همیشه مطرح بوده است. یکی از مواردی که در برقراری تعادل نقش موثری بازی می‌کند داشتن اطلاعات صحیح از احجام آبی موجود و تغییرات آن‌ها در هر محدوده‌ی مورد نظر و دوره‌ی زمانی مشخص و تحلیل آن‌ها در چارچوب بیلان آب است. با توجه به شرایط هر منطقه، معادله‌ی بیلان آب آن دارای مولفه‌های خاصی نظیر بارش، تبخیروتعرق و دیگر موارد می‌باشد که به‌صورت مستقل تعیین می‌شوند. اما به دلیل ماهیت پارامترهای هیدرولوژیک، تخمین هر یک از آن‌ها با خطا و عدم دقت روبروست که می‌تواند ناشی از عوامل متعددی در اندازه‌گیری یا مدل‌سازی برای تخمین پارامتر مورد نظر باشد. درنهایت، مجموع این خطاها منجر به شکل‌گیری یک خطای کلی در معادله‌ی بیلان آب می‌گردد. هدف این تحقیق حداقل‌کردن این خطای کلی در یک محدوده‌ی مطالعاتی و در یک دوره‌ی زمانی مشخص است. بدین منظور یک سری ضرایب اصلاحی بر مولفه‌های معادله‌ی بیلان اعمال می‌شوند که این ضرایب، بیانگر عدم دقت در تخمین مولفه‌ی متناظرشان در معادله‌ی بیلان آب می‌باشند. در این تحقیق، ضرایب یاد شده برمبنای اطلاعات چند سال متوالی گذشته با استفاده از روش‌های بهینه‌یابی جهت به حداقل‌رساندن خطای معادله‌ی بیلان تعیین می‌شوند. نتایج می‌تواند در تعیین دقیق‌تر مولفه‌های معادله‌ی بیلان آب در سال‌های بعد مورد استفاده قرار گیرند. روش‌های پیشنهاد شده بر روی اطلاعات حوزه‌ی آبریز ازغند واقع در استان خراسان رضوی و در مقیاس زمانی سالانه اعمال شد و ضرایب اصلاحی بر پایه‌ی اطلاعات سال‌های آبی ۷۱-۷۰ الی ۸۵-۸۴ تعیین شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش‌های در نظر گرفته شده قادرند خطای معادله‌ی بیلان آب را تا حد زیادی کاهش دهند که این خطا در مدل برتر، در سال‌های آتی ۸۶-۸۵ الی ۸۸-۸۷ به‌طور میانگین از ۱۰۶/۱۵ به ۶/۳۶ میلیون-مترمکعب کاهش نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: بیلان آب، بهینه‌یابی، حوزه‌ی آبریز ازغند، خراسان رضوی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: بیلان آب، اهمیت آن و اهداف این تحقیق **۱**

۱-۱- اهمیت مطالعه‌ی آب ۲

۱-۲- بیلان آب ۴

۱-۲-۱- محدوده‌ی بیلان آب ۶

۱-۲-۲- دوره‌ی بیلان آب ۶

۱-۲-۳- انواع بیلان آب و معادلات آن ۶

۱-۲-۳-۱- بیلان آب سطحی ۷

۱-۲-۳-۲- بیلان آب زیرزمینی ۸

۱-۲-۳-۳- بیلان عمومی آب ۱۱

۱-۳- روش‌های محاسبه و ارزیابی اجزای بیلان آب ۱۴

۱-۳-۱- محاسبه‌ی بارش ۱۵

۱-۳-۱-۱- روش‌های متوسط وزنی مستقیم ۱۶

۱-۳-۲- محاسبه‌ی رواناب ۱۷

۱-۳-۲-۱- تخمین رواناب حوزه با استفاده از ضریب جریان حوزه ۱۸

۱-۳-۲-۲- برآورد رواناب سالانه به‌طور غیرمستقیم با استفاده از روش کمبود جریان ۱۹

۱-۳-۲-۳- برآورد رواناب سالانه به طور مستقیم با استفاده از خصوصیات فیزیکی و هواشناسی حوزه (فیزیوگرافی) ۲۱

۱-۳-۳- تبخیروتعرق ۲۳

۱-۳-۳-۱- نحوه‌ی محاسبه‌ی انواع تبخیر ۲۴

۱-۳-۴- محاسبه‌ی جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی ۳۵

۱-۳-۵- محاسبه‌ی تغییرات حجم ذخیره‌ی آب زیر زمینی ۳۶

۱-۳-۵-۱- روش تجربی محاسبه‌ی ضریب ذخیره با روش دانه‌بندی خاک چاه‌ها ۳۸

۱-۴- اهداف تحقیق ۳۸

فصل دوم: مواد و روش‌ها **۵۰**

۲-۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه ۵۱

۲-۱-۱- مشخصه‌های فیزیکی حوزه‌ی آبریز ازغند ۵۳

۲-۲- معادله‌ی بیلان آب حوزه‌ی آبریز ازغند ۵۴

۲-۳- روش‌های تعیین اجزای معادله‌ی بیلان آب برای حوزه‌ی آبریز ازغند ۵۴

۲-۳-۱- برآورد حجم بارش حوزه‌ی آبریز ازغند ۵۵

۲-۳-۱-۱- شبکه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه‌ی مورد مطالعه و انتخاب ایستگاه‌های معرف منطقه ۵۵

۲-۳-۲- برآورد حجم تبخیروتعرق حوزه‌ی آبریز ازغند ۵۷

۲-۳-۲-۱- انتخاب ایستگاه معرف منطقه ۵۸

۲-۳-۳- برآورد حجم رواناب سالانه‌ی حوزه‌ی آبریز ازغند ۶۰

۲-۳-۳-۱- ایستگاه‌های مورد استفاده جهت تحلیل رواناب ۶۰

۲-۳-۳-۲- رابطه‌ی بین بارش و رواناب ۶۱

۲-۳-۴- برآورد تغییرات حجم ذخایر آب زیر زمینی حوزه‌ی آبریز ازغند ۶۲

۲-۴- روش‌ها ۶۶

۲-۴-۱- اعمال ضرایب اصلاحی معادله‌ی بیلان آب جهت کاهش خطا و روابط بهینه‌یابی ۶۷

۲-۵- حل مسئله‌ی بهینه‌یابی ۶۸

۲-۵-۱- مدل‌های بهینه‌یابی برای معادله‌ی بیلان آب ۷۰

۲-۵-۱-۱- مدل (الف) – بهینه‌یابی با استفاده از معیار مجموع قدرمطلق خطا ۷۰

۲-۵-۱-۲- مدل (ب) – بهینه‌یابی با استفاده از معیار مجموع مربعات خطا ۷۱

۲-۶- برآورد خطای تخمین اجزای معادله‌ی بیلان و تعیین محدوده‌ی ضرایب اصلاحی برای هر یک از آن‌ها ۷۲

فصل سوم: کاربرد مدل‌ها در حوزه‌ی آبریز ازغند، نتایج و بحث **۷۴**

۳-۱- برآورد خطای تخمین و محدوده‌ی ضرایب اصلاحی هر یک از اجزای معادله‌ی بیلان آب حوزه‌ی آبریز ازغند ۷۵

۳-۱-۱- خطا در تعیین بارش ۷۶

۳-۱-۲- خطا در تعیین تبخیروتعرق ۷۷

۳-۱-۳- خطا در تعیین جریان سطحی خروجی از حوزه ۷۹

۳-۱-۴- خطا در تعیین تغییرات ذخایر آب زیرزمینی حوزه ۸۰
۳-۲- تعیین بازه‌های مربوط به قیدهای ضرایب اصلاحی هرکدام از اجزای معادله‌ی بیلان آب با توجه به خطای تخمین آن جز ۸۳
۳-۳- اعمال مدل به داده‌ها و نتایج حاصل ۸۳
۳-۴- تحلیل حساسیت ۸۹

فصل چهارم: جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات **۹۵**
۴-۱- جمع‌بندی و نتایج ۹۶
۴-۲- پیشنهادهایی برای مطالعات آینده ۹۸

مراجع **۱۰۰**

پیوست ۱: متن برنامه به زبان لینگو **۱۰۵**

فهرست اشکال

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱- بیلان آب سطحی ۸
شکل ۱-۲- بیلان آب زیرزمینی ۱۰
شکل ۱-۳- بیلان عمومی آب ۱۲
شکل ۱-۴- نمودار تعیین کمبود جریان متوسط سالانه با روش تورک (صدقی، ۱۳۶۳) ۲۱
شکل ۱-۵- تشت استاندارد آمریکایی کلاس A (علیزاده، ۱۳۸۵) ۲۵
شکل ۱-۶- برآورد تبخیروتعرق پتانسیل اصلاح شده روش بلانی– کریدل (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۱
شکل ۱-۷- لایسیمتر زهکش‌دار (علیزاده، ۱۳۸۵) ۳۳
شکل ۱-۸- **محا**سبه‌ی فاصله‌ی متوسط l_m بین دو منحنی (امامی و همکاران، ۱۳۸۳) ۳۶
شکل ۲-۱- موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه در استان خراسان رضوی ۵۲
شکل ۲-۲- موقعیت محدوده‌ی مطالعاتی ازغند نسبت به محدوده‌های اطراف آن ۵۳
شکل ۲-۳- تقسیم‌بندی پلی‌گون تیسن حوزه‌ی ازغند ۵۶
شکل ۲-۴- موقعیت قرارگیری ایستگاه معرف صنوبر و ایستگاه‌های نزدیک به حوزه‌ی ازغند ۵۸
شکل ۲-۵- موقعیت قرارگیری آبخوان حوزه‌ی آبریز ازغند ۶۲
شکل ۲-۶- موقعیت چاه‌های پیزومتری و شبکه‌ی تیسن آبخوان حوزه‌ی آبریز ازغند ۶۳
شکل ۳-۱- سری زمانی تغییرات قدرمطلق خطای معادله‌ی بیلان آب حوزه‌ی آبریز ازغند برای ۱۸ سال دوره‌ی آماری ۸۷
شکل ۳-۲- تغییرات خطا به ازای تغییر بازه‌ی مربوط به ضریب بارش ۹۱
شکل ۳-۳- تغییرات خطا به ازای تغییر بازه‌ی مربوط به ضریب تبخیروتعرق ۹۲
شکل ۳-۴- تغییرات خطا به ازای تغییر بازه‌ی مربوط به ضریب جریان آب سطحی خروجی ۹۳
شکل ۳-۵- تغییرات خطا به ازای تغییر بازه‌ی مربوط به ضریب تغییرات ذخایر آب زیرزمینی ۹۴
شکل ۳-۶- مقایسه‌ی تغییرات خطا به ازای تغییر بازه‌ی هر یک از ضرایب معادله‌ی بیلان ۹۴

فهرست جداول

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۱-۱- ضریب رواناب (C) در حوزه‌های مختلف (علیزاده، ۱۳۸۵) ۱۸

جدول ۱-۲- جدول پیشنهاد شده توسط سازمان هواشناسی جهانی به منظور محاسبه‌ی رواناب ۲۳

جدول ۱-۳- ضریب تصحیح باد ۲۴ ساعته به باد روزانه (فهمی و همکاران، ۱۳۷۸) ۳۱

جدول ۱-۴- درصد متوسط ساعات روشنایی روزانه در ماههای مختلف سال برای عرض های جغرافیایی نیم‌کره شمالی (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۲

جدول ۱-۵- مقادیر W به ازای درجه حرارت‌های مختلف هوا و ارتفاع محل از سطح دریا (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۴

جدول ۱-۶- R_a یا تشعشع ورودی به اتمسفر برحسب ارتفاع تبخیر برحسب میلی‌متر در روز برای نیم-کره‌ی شمالی (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۴

جدول ۱-۷- متوسط ماهانه حداکثر ساعات آفتابی ممکن در عرض‌های جغرافیایی و ماه‌های مختلف سال در نیم‌کره‌ی شمالی (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۵

جدول ۱-۸- تاثیر درجه حرارت روی تشعشع امواج طول بلند (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۶

جدول ۱-۹- تاثیر فشار بخار روی تشعشع امواج طول بلند (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۶

جدول ۱-۱۰- تاثیر نسبت ساعت آفتابی موجود به حداکثر ممکن روی تشعشع امواج طول بلند (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۶

جدول ۱-۱۱- ضریب اصلاحی (C) در فرمول پنمن (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۶

جدول ۱-۱۲- تعیین نسبت $\frac{n}{N}$ برحسب درجه‌ی ابری بودن آسمان (فهمی و همکاران، ۱۳۷۸) ۳۷

جدول ۱-۱۳- ضرایب تبدیل سرعت باد در ارتفاع‌های مختلف به ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (فهمی و همکاران، ۱۳۷۸) ۳۷

جدول ۱-۱۴- تعیین شاخص حرارتی ماهانه تورنث وایت براساس حرارت متوسط ماهیانه به درجه‌ی سانتی‌گراد (مهدوی، ۱۳۸۱) ۳۸

جدول ۱-۱۵- محاسبه‌ی تبخیروتعرق پتانسیل برای درجه حرارت ماهانه بیش از ۲۶/۵ درجه‌ی سانتی-گراد (فهمی و همکاران، ۱۳۷۸) ۳۹

جدول ۱-۱۶- متوسط ماهانه‌ی حداکثر ساعات آفتابی ممکن در عرض‌های جغرافیایی و در ماه‌های مختلف سال در نیم‌کره‌ی شمالی (مهدوی، ۱۳۸۱) ۴۰

جدول ۱-۱۷- مقادیر ضریب اصلاحی (N_n) تورنث وایت برای عرض‌های جغرافیایی در ماه‌های سال (علیزاده، ۱۳۸۵) ۴۱
جدول ۱-۱۸- ضرایب گیاهی (K_c) مراحل مختلف رشد گیاه (فهمی و همکاران، ۱۳۷۸) ۴۲
جدول ۱-۱۹- گروه‌بندی نمونه‌ی خاک‌ها از نظر دانه‌بندی، آبدهی ویژه و ضریب هدایت هیدرولیکی (فهمی و همکاران، ۱۳۷۸) ۴۸
جدول ۲-۱- خصوصیات فیزیکی حوزه‌ی آبریز ازغند ۵۳
جدول ۲-۲- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی حوزه‌ی آبریز ازغند ۵۶
جدول ۲-۳- داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و حجم بارش سالانه‌ی حوزه‌ی ازغند ۵۷
جدول ۲-۴- حجم تبخیروتعرق سالانه حوزه‌ی ازغند ۵۹
جدول ۲-۵- میانگین ۳۶ ساله‌ی مقادیر رواناب و بارش سالانه در حوزه‌های مجاور حوزه‌ی آبریز ازغند ۶۰
جدول ۲-۶- حجم رواناب سالانه‌ی حوزه‌ی ازغند ۶۱
جدول ۲-۷- مشخصات چاه‌های پیزومتری آبخوان حوزه‌ی ازغند ۶۳
جدول ۲-۸- تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان حوزه‌ی ازغند ۶۳
جدول ۲-۹- حجم تغییرات ذخایر آب زیرزمینی ۶۵
جدول ۲-۱۰- مولفه‌های معادله‌ی بیلان آب حوزه‌ی ازغند ۶۶
جدول ۳-۱- محاسبه‌ی خطای حاصل از تخمین بارش حوزه‌ی ازغند ۷۶
جدول ۳-۲- مقایسه‌ی آمار درجه حرارت سالانه‌ی به‌دست آمده از ایستگاه صنوبر و ایستگاه جنت‌آباد و ملک‌آباد ۷۸
جدول ۳-۳- محاسبه‌ی خطای حاصل از تخمین تبخیروتعرق در حوزه‌ی ازغند ۷۹
جدول ۳-۴- محاسبه‌ی خطای حاصل از تخمین جریان سطحی خروجی در حوزه‌ی ازغند ۸۰
جدول ۳-۵- تغییر شبکه تیسن آبخوان حوزه‌ی ازغند پس از حذف هر چاه پیزومتری ۸۱
جدول ۳-۶- محاسبه‌ی خطای حاصل از تخمین تغییرات ذخایر آب زیرزمینی در آبخوان حوزه‌ی ازغند ۸۲
جدول ۳-۷- ضرایب اصلاحی کاهش خطای تولید شده برای مولفه‌های معادله‌ی بیلان آب ۸۳
جدول ۳-۸- ضرایب اصلاحی در معادله‌ی بیلان در جهت کاهش خطا از نرم‌افزار لینگو ۸۴
جدول ۳-۹- تغییرات خطای معادله‌ی بیلان آب پس از اعمال ضرایب اصلاحی کاهش خطا ۸۵
جدول ۳-۱۰- روند بررسی معیارهای خطا برای دو مدل (الف) و (ب) در فضای معمولی و ارزیابی متقاطع ۸۶
جدول ۳-۱۱- نتایج حاصل از استفاده از ضرایب اصلاحی کاهش خطا برای سه سال آبی ۸۶-۸۵ تا ۸۸-۸۷ ..... ۸۷

جدول ۳-۱۲- مقایسه‌ی نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی و مدل حجتی و همکاران در حالت غیرفازی، پس از اعمال ضرایب اصلاحی کاهش خطا ۸۸
جدول ۳-۱۳- نتایج تحلیل حساسیت برای تغییرات بازه‌ی مربوط به ضریب بارش ۹۰
جدول ۳-۱۴- نتایج تحلیل حساسیت برای تغییرات بازه‌ی مربوط به ضریب تبخیروتعرق ۹۰
جدول ۳-۱۵- نتایج تحلیل حساسیت برای تغییرات بازه‌ی مربوط به ضریب جریان آب سطحی خروجی ۹۰
جدول ۳-۱۶- نتایج تحلیل حساسیت برای تغییرات بازه‌ی مربوط به ضریب تغییرات ذخایر آب زیرزمینی ۹۱

پیش‌گفتار

آب به عنوان مایع حیات‌بخش و یکی از عناصر اصلی تشکیل دهنده‌ی جهان هستی، همواره مورد توجه و بهره‌برداری انسان‌ها بوده است تا حدی که تمدن‌های اولیه در حاشیه‌ی منابع آب شکل گرفته‌اند. توزیع منابع آب و محدودیت در بهره‌برداری از منابع آب گاهی خود باعث نزاع باعث نزاع میان انسان‌ها بوده است. عدم توزیع زمانی و مکانی مناسب و بیش‌تر شدن نیازها با افزایش جمعیت، سبب شده است که بشر تمهیداتی برای استفاده‌ی بهینه و حداکثر از این منابع داشته باشد. برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه و استفاده‌ی منطقی از منابع آب با شناخت کامل از پتانسیل‌های آبی موجود، ارزیابی کمی و کیفی منابع آب و نوع مصرف همراه است، که این امر با استفاده از آمار و اطلاعات صحیح و گسترده در محدوده‌ی مطالعاتی مورد نظر میسر است. این مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها در سرزمین‌های خشک و نیمه-خشک جهان، که بخش عمده‌ای از کشور ایران نیز جزو این مناطق محسوب می‌شود، بیش‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند و می‌بایست کنترل‌های دقیق و لازم در این رابطه صورت پذیرد. یکی از عوامل مهم در این زمینه که در یک محدوده‌ی مطالعاتی تعیین می‌شود، بیلان کمی آب می‌باشد. دخالت انسان در چرخه‌ی طبیعی آب موجب تغییر در مقادیر و عوامل معادله‌ی بیلان آب گردیده که خود پیام‌آور ضرورت اعمال مقررات و ضوابط خاص به منظور حفظ و نگهداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. با توجه به آن‌چه گفته شد، در این مطالعه سعی شده است تا بخشی از مطالعات منابع آب تحت عنوان بیلان آب با رویکرد کاهش خطا و در نظر گرفتن عدم دقت موجود در برآوردهای علم هیدرولوژی مورد توجه قرار گیرد.

بدین منظور، در فصل اول به توضیح مطالبی در خصوص بیلان آب به عنوان یک چالش اساسی در مدیریت منابع آب می‌پردازیم. در این بخش به بررسی چگونگی برقراری تعادل بین ورودی‌ها و خروجی‌ها در یک محدوده‌ی مطالعاتی خاص و یک دوره‌ی زمانی مورد نظر خواهیم پرداخت. همچنین، معادلات بیلان آب مورد بررسی قرار گرفته و روش‌های برآورد هرکدام از اجزای معادله‌ی بیلان توضیح داده شده است. خطاهای متعدد و عدم اطمینان در برآورد برخی از اجزای معادله‌ی بیلان، دقت مسئله و مدیریت

صحیح را خدشه‌دار می‌کند و چالش پیش‌رو از دید این پایان‌نامه مدل‌سازی این عدم دقت است که نهایتا باید منجر به کاهش خطا گردد. در نتیجه باید ابزار محاسباتی مناسبی در این زمینه در اختیار گرفته شود. این ابزار محاسباتی باید ویژگی‌های متعددی داشته باشد، به این معنی که علاوه بر قدرت محاسباتی از نظر ریاضی، بتواند عدم دقت موجود در اجزای مختلف معادله‌ی بیلان آب را به خوبی تفکیک کرده و مدل کند. از این رو، مدل‌های بهینه‌یابی که ویژگی‌های اخیر را به خوبی ارضا کنند به عنوان روش‌های پیشنهادی در نظر گرفته شدند.

در فصل دوم، به معرفی مدل‌های بهینه‌یابی با معیارهای مختلف خطا خواهیم پرداخت تا به کمک آن‌ها خطای مذکور را تا حد ممکن کاهش دهیم. پس از دستیابی به ابزار مناسب و یافتن روشی برای حل مشکل خطای موجود در تنظیم بیلان آب، باید صحت‌سنجی و ارزیابی از مدل‌های پیشنهادی صورت گیرد تا قدرت آن‌ها در تحلیل یک مسئله‌ی واقعی مشخص شود. به این منظور، حوزه‌ی آبریز ازغند واقع در استان خراسان رضوی را مورد مطالعه قرار داده و پس از برقراری بیلان آب برای آن و مشخص شدن اجزای مختلف و خطای مورد نظر، به تحلیل آن می‌پردازیم. با استفاده از روش‌های پیشنهادی برای به‌دست آوردن اجزای معادله‌ی بیلان آب و داده‌های خام، این محاسبات انجام شده و از جمع آن‌ها خطای برآورد یا تعیین هر یک از پارامترها مشخص می‌شود.

در فصل سوم، با در دست داشتن معادله‌ی بیلان آب حوزه‌ی ازغند و داده‌های مربوط به آن، مدل‌های پیشنهاد شده و سایر موارد لازم، این مدل‌ها به معادله‌ی بیلان آب محدوده‌ی مورد مطالعه اعمال شده و مشخص می‌شود که این مدل‌ها برای رسیدن به هدف مورد مطالعه، تا چه حد کارآیی خواهد داشت. همچنین در این فصل به مقایسه‌ی نتایج حاصل از این مطالعه با مطالعه‌ی دیگری که در این خصوص با استفاده از دیدگاه فازی انجام شده است، می‌پردازیم.

در نهایت، در فصل چهارم به جمع‌بندی مطالب، نتایج و ارایه‌ی پیشنهاداتی برای کارهای آینده خواهیم پرداخت.

فصل ۱

بیلان آب، اهمیت آن و اهداف این تحقیق

مقدمه

آب به عنوان نیاز اساسی زندگی بشر همواره مورد توجه او قرار داشته و بشر همواره سعی می‌کند تا کنترل و برنامه‌ریزی منظمی برای بهره‌برداری از آن داشته باشد. از این رو، علم شناخت آب یا هیدرولوژی به‌وجود آمد تا بتوان این ماده‌ی حیاتی را به بهترین نحو شناخت. علاوه بر هیدرولوژی، دانش دیگری با عنوان مدیریت منابع آب لازم به نظر می‌رسید تا پس از شناخت آب و عوامل موثر در چرخه‌ی آن در طبیعت، بتوان با توجه به منابع موجود، برای مصارف و نیازهای گوناگون برنامه‌ریزی کرد. یکی از دیدگاه‌ها در بحث مدیریت منابع آب، که به بحث در رابطه با نحوه توزیع و مصرف و برقراری تعادل آن با منابع موجود در سطوح مختلف می‌پردازد، بیلان آب است. در این فصل در ابتدا به ارایه مطالبی در خصوص اهمیت مطالعه‌ی آب می‌پردازیم. سپس، به معرفی بیلان آب به‌عنوان یکی از ابزارهای محاسباتی اساسی مورد استفاده برای برقراری تعادل در بهره‌برداری از منابع آب و روش‌های به‌دست آوردن مولفه-های معادله‌ی بیلان آب می‌پردازیم. در راستای برقراری بیلان آب، با چالش‌هایی روبرو هستیم که همان خطاهایی هستند که در اندازه‌گیری‌ها، برآوردها و محاسبات وجود دارند. هدف این مطالعه شناخت این خطاها و پیدا کردن راهی برای کاهش آن‌ها می‌باشد.

۱-۱- اهمیت مطالعه‌ی آب

سال‌ها پیش از این، مصرف آب در جهان به‌صورتی بود که بین مصارف و منابع تعادل وجود داشت ولی پس از مدتی که جمعیت افزایش یافت و مصارف آب در بعضی مناطق سیر صعودی پیدا کرد، افزایش ذخیره‌ی منابع موجود جوابگوی تمام تقاضای آب نبود و باعث به‌هم خوردن تعادل موجود شد. هم اکنون

نیز این روند ناموزون ادامه دارد به‌طوری که روز به روز بر کاهش ذخیره‌ی منابع آب، به‌خصوص منابع آب زیرزمینی افزوده می‌شود. جوامعی که با بحران آب روبرو هستند به این نتیجه رسیده‌اند که برای رسیدن به توسعه‌ی پایدار باید مدیریتی جامع در مورد منابع و مصارف آبی اعمال گردد و برنامه‌ریزی و بهینه-سازی در منابع آب در اولویت کاری مناطق مورد نظر قرار گیرد (نژادعبدالله، ۱۳۸۶).

ایران از نظر جغرافیایی در کمربندی از کره‌ی زمین واقع شده است که اغلب مناطق خشک و نیمه خشک جهان در آن قرار دارند. عامل این خشکی نیز از گردش عمومی هوا در کره‌ی زمین نشأت می‌گیرد. زیرا هوای گرم و مرطوبی که از استوا به سمت قطب حرکت می‌کند به تدریج در اثر بارش رطوبت خود را از دست داده و در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۴۰ درجه به مقدار زیادی خشک و سرد شده و به پایین سقوط می‌کند، لذا امکان بارش تا حد زیادی از آن سلب می‌شود. با توجه به این‌که ایران نیز در همین کمربند اقلیمی واقع شده است، لذا کمبود بارش در آن یک واقعیت ذاتی هیدرولوژیکی است. عمده‌ترین معیار برای درجه‌ی خشکی در یک منطقه رابطه بین مقدار بارش (سالانه) و تبخیر (توان تبخیر محیطی) است. هر اندازه مقدار باران نسبت به توان تبخیر کم‌تر باشد درجه‌ی خشکی آن منطقه بیشتر است. به‌جز نواحی محدودی از ایران (حاشیه‌ی دریای خزر) در سایر مناطق توان تبخیر به مراتب بالاتر از مقدار واقعی بارش است (علیزاده، ۱۳۸۵).

چرخه‌ی آبی یا هیدرولوژی[1]، به فرآیند گردش آب در طبیعت اطلاق می‌شود. در این فرآیند آب حالت-های مختلف جامد، مایع و گاز را طی می‌کند. مِیز (*Mays, 2001*) و کارآموز و همکاران (*Karamouz et al., 2003*) به نقل از (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴) چرخه‌ی هیدرولوژی را به عنوان یک سیستم بسته در زمین در نظر گرفته‌اند که از شش بخش اصلی بارش، نفوذ، تبخیر، رواناب سطحی، جریان زیرسطحی و جریان زیرزمینی تشکیل شده است (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴).

از کل آب‌های موجود در کره‌ی زمین فقط بخش اندکی از آن سالانه به‌طور فعال در چرخه هیدرولوژی مشارکت سریع داشته و منابع آب شیرین تجدید شونده دنیا را به‌وجود می‌آورند و شرکت بقیه‌ی آن‌ها در چرخه‌ی هیدرولوژی بسیار کند است. شرایط اقلیمی، توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش و بهره‌برداری

[1] *Hydrologic Cycle*

بی‌رویه از آبخوان‌های زیرزمینی از یک سو و عدم رعایت قوانین و مقررات توزیع عادلانه‌ی آب از سوی دیگر شماری از دشت‌های کشور را با بحران کم آبی مواجه نموده، که در پاره‌ای از مناطق پیامد آن پیشروی آب شور، نشست زمین، تغییرات کیفی منابع آب و ... می‌باشد (فهمی و همکاران، ۱۳۷۸).

برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه و استفاده‌ی منطقی از منابع آب و نیز اعمال مدیریت‌های آب و خاک در مراحل مختلف مطالعاتی، طراحی و اجرای پروژه‌ها بایستی با شناخت کامل از پتانسیل‌های آبی موجود و ارزیابی‌های کمی وکیفی منابع آب و نوع مصارف همراه باشد، که این امر مستلزم استفاده از آمار و اطلاعات صحیح و گسترده در محدوده‌های مطالعاتی است. در سرزمین‌های خشک و نیمه خشک جهان، که بخش عمده‌ای از کشور ایران نیز جزء این مناطق محسوب می‌گردد، به علت کم بودن ریزش‌های جوی از یک سو و زیاد بودن تبخیر از سوی دیگر، منابع آب این نواحی بسیار محدود بوده و همواره با کم آبی مواجه هستند. از این رو، برنامه‌های توسعه باید حساب شده باشد و کنترل‌های لازم و دقیق در این موارد صورت گیرد. از عوامل مهم کنترل پتانسیل منابع آب در چرخه‌ی آبی، که پس از بررسی جریان-های سطحی و زیرزمینی تعیین می‌شوند، بیلان کمی آب است (امامی و همکاران، ۱۳۸۳).

مقوله‌ی بیلان آب در حقیقت تعیین مقادیر مولفه‌های ورودی و خروجی و ایجاد هماهنگی بین آن‌ها در یک مقطع زمانی می‌باشد که دستیابی به آن با به‌کارگیری یک راهکار فنی تنظیم شده امکان پذیر خواهد بود که ره‌آورد نهایی آن مشخص شدن توانمندی منابع آب و چگونگی بهره‌گیری معقول از آن است.

۱-۲- بیلان آب

بیلان، لغتی فرانسوی با ریشه لاتین است که در زبان فارسی به‌طور گسترده به‌کار رفته است. واژه-هایی همچون: ترازآب، توازن‌آبی، بالانس‌آب، بودجه‌ی‌آبی و اصطلاحات انگلیسی مانند: *Water balance*، *Water budget*، مفاهیمی نزدیک به بیلان آب دارند (امامی و همکاران، ۱۳۸۳).

بیلان، کلیه تبادلات آبی را در یک محدوده‌ی مطالعاتی مورد بررسی قرار می‌دهد. این مطالعات بر اصل بقای ماده در چرخه آبی استوار است. بنابراین در یک دوره‌ی زمانی معین، تمامی آب‌هایی که به یک