بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

گروه مهندسی سازه‌های آبی رشته مهندسی منابع آب

مدل‌سازی یکپارچه فیزیکی- اقتصادی- اجتماعی سیستم‌های منابع آب در مقیاس حوضه آبریز (مطالعه موردی؛ سیستم منابع آب حوضه گرگانرود- قره سو)

نگارنده

فاطمه زارع

استاد راهنما

علی باقری

استاد مشاور

انوش نوری اسفندیاری

تیر ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادرم

که جسارت خواستن، لذت دانستن و عظمت رسیدن را با حضور بی دریغشان به من آموختند.

و تقدیم به تمام نواندیشانی که در اندیشه خام آن نیستند تا چرخ را دوباره اختراع کنند بلکه در پی آنند تا چرخ های مانده از حرکت را در راه مقصدی عالی به پویش درآورند[1].

[1] مارک تواین

با سپاس فراوان از خانواده‌ام که پناه و پشتیبان من بوده و هستند.

از راهنمایی‌های حکیمانه و حمایت‌های پدرانه جناب آقای دکتر علی باقری کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از جناب آقای مهندس اسفندیاری که زحمت مشاوره این پایان نامه را به عهده داشتند و جناب آقای دکتر مرید که در طول تحصیل از محضرشان بهره بردم، سپاسگزارم.

از تمام دوستان و همکلاسی‌هام برای ساختن خاطرات این روزها و همچنین از همراهی خانم مهندس ثمره هاشمی متشکرم.

چکیده

ضرورت مدیریت یکپارچه منابع آب در نتیجه افزایش رقابت در مصارف آب، رشد سریع جمعیت و بالا رفتن توقع برای یک زندگی بهتر بیش از پیش احساس می‌شود. در راستای پیاده‌سازی هرچه بهتر این مدیریت مدل‌سازی یکپارچه سیستم حوضه اهمیت می‌یابد. مدل‌سازی یکپارچه یک رویکرد بین رشته‌ای برای اتصال دانش و هنر مدل‌سازی از منظر زمینه‌های تحقیقاتی مختلف و استفاده از توانایی آن‌ها در راستای برنامه‌ریزی استراتژیک سیستم‌های منابع آب است.

عمده مدل‌سازی‌های یکپارچه در سطح حوضه به بیان مسائل هیدرولوژیکی و طبیعی بسنده کرده‌اند. به دنبال ضرورت در نظر گرفتن تعاملات بخش هیدرولوژی با سایر بخش‌ها در یک حوضه، گرایش به سمت استفاده از رویکرد سیستمیک به وجود آمده است. روابط و اثرات بخش‌های مختلف (منابع آب، اقتصاد، اجتماع، محیط زیست و ...) بر یکدیگر و ارزیابی مسایل به صورت یکپارچه، چالش اصلی برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه منابع آب می‌باشد. این پایان‌نامه در پی آن است تا به این سوال پاسخ گوید که چگونه می‌توان در تحلیل مسایل در مقیاس یک حوضه آبریز بخش‌های مختلف اقتصادی- اجتماعی آن را با مؤلفه‌های طبیعی و محیطی پیوند داد؟ به عبارتی دیگر هدف از انجام این پایان‌نامه تهیه یک مدل یکپارچه از یک حوضه آبریز به صورت نمونه با درگیر کردن ابعاد مختلف طبیعی، اقتصادی و اجتماعی آن می‌باشد. جهت انجام این امر با معرفی مفهوم پیش ارزیابی و انجام آن در قالب چارچوب علت و معلولی DPSIR در حوضه آبریز گرگان‌رود-قره‌سو (که بخش اعظم آن در استان گلستان قرار می‌گیرد)، مدل مفهومی حوضه تشکیل شد که نشان دهنده چارچوب کلی گام ارزیابی می‌باشد. در گام پیش ارزیابی عوامل موثر بر وضعیت حوضه و مسائل آن شناسایی شد و سپس محرک‌ها، فشارها، حالات و اثرات مسائل حوضه در چارچوب DPSIR شناسایی گردید. سپس ارزیابی وضع موجود مؤلفه‌های مختلف حوضه با رویکرد دینامیک سیستم‌ها و با شناسایی الگوهای حاکم بر حوضه شامل الگوی محدودیت رشد در زیرسیستم اقتصاد منطقه، سیلاب و منابع آب، الگوی راه حل‌هایی که شکست می‌خورند در زیرسیستم منابع آب و الگوی انتقال فشار در سیلاب صورت پذیرفت. رویکرد دینامیک سیستم‌ها روش‌شناسی است که می‌تواند ضمن شبیه‌سازی‌های لازم، دینامیک رفتارهای حال و آینده و مکانیزم‌های حاکم بر سیستم را نیز مورد ارزیابی قرار دهد. با انجام گام ارزیابی مشخص شد در حوضه گرگانرود-قره سو که بهره‌وری اقتصادی آب در بخش‌های صنعت و خدمات به ترتیب ۴۷ و ۲۸ برابر بهره‌وری آب در بخش کشاورزی در

سال ۱۳۸۵ می‌باشد و همچنین روند مثبت اشتغال‌زایی در این دو بخش در برابر روند منفی بخش کشاورزی می‌باشد، به نظر می‌رسد در برنامه‌ریزی‌های منابع آب تأمین آب جهت بخش‌های خدمات و صنعت در اولویت بیشتری نسبت به کشاورزی باید قرار گیرد. همچنین تغییر کاربری اراضی، سیل و رسوب سه مسئله زنجیره‌ای در این حوضه می‌باشند که جهت حل آن‌ها نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت روی محرک‌های اصلی آن می‌باشد که طبق مکانیزم‌های شناسایی شده تغییر در ترکیب اقتصادی حوضه از کشاورزی به صنعت و خدمات و افزایش شهرنشینی از این عوامل است.

در مدل‌سازی انجام یافته در این پایان‌نامه از نرم افزار Vensim استفاده شد که توانایی شبیه‌سازی اجزاء متفاوت یک مدل یکپارچه مانند بعد اقتصاد، منابع آب، جمعیت و ... را دارا می‌باشد. در نهایت مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه آبریز گرگان‌رود ساخته و سپس صحت‌سنجی شد. این مدل در گام ارزیابی و سپس سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی حوضه مورد استفاده قرار گرفت و از نتایج آن در تحلیل سیاست‌ها و سناریوهای مختلف کمک گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که چارچوب تحلیلی DPSIR جهت انجام پیش ارزیابی و رویکرد دینامیک سیستم‌ها به منظور انجام گام ارزیابی و شبیه‌سازی سیاست‌های مختلف در حوضه مفید و کارآمد هستند. همچنین توصیه می‌شود در برنامه‌ریزی‌های کلان آب به روندها و تغییرات صورت گرفته در بخش‌های اقتصادی و اجتماعی به عنوان مصرف کنندگان آب توجه لازم مبذول شود. همچنین شبیه‌سازی سناریوی ادامه وضع موجود نشان داد که سطح جنگل‌ها و مراتع از $۶/۵\times۱۰^{۹}$ در سال ۱۳۸۵ به $۵/۸\times۱۰^{۹}$ در سال ۱۴۰۰ کاهش خواهد یافت و ادامه روند کنونی به افزایش کاربری شهری از $۱/۲\times۱۰^{۹}$ در سال ۱۳۸۵ به $۱/۳\times۱۰^{۹}$ منجر خواهد شد. نسبت کفایت آب کشاورزی در سناریوی ادامه وضع موجود برخلاف تصور نه تنها ثابت نخواهد ماند بلکه از ۰/۸ در سال ۱۳۸۵ به ۰/۵۶ در سال ۱۴۰۰ کاهش خواهد یافت. این نسبت در سناریوی افزایش حجم تأمین آب به ۰/۹۳ در سال ۱۴۰۰ افزایش خواهد یافت.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی یکپارچه، مدیریت یکپارچه منابع آب، تفکر سیستمیک، DPSIR، پیش ارزیابی، ارزیابی یکپارچه، دینامیک سیستم‌ها، حوضه گرگان‌رود-قره‌سو، استان گلستان

فهرست مطالب

فصل اول کلیات ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ اهداف تحقیق ۳
۱-۳ سوال تحقیق ۴
۱-۴ فرضیه‌ها ۴
۱-۵ نوآوریهای تحقیق ۴
۱-۶ مراحل انجام کار ۴
۱-۷ شرح فصول پایان نامه ۶
فصل دوم سابقه تحقیق ۷
۲-۱ مقدمه ۸
۲-۲ مدیریت منابع آب ۸
۲-۳ مدیریت یکپارچه منابع آب ۱۲
۲-۴ سیر تحول سازمان مدیریت منابع آب ایران ۱۶
۲-۵ رویکرد سیستمیک در ارزیابی سیستم‌های منابع آب ۱۸
۲-۶ مدل‌سازی یکپارچه منابع آب ۲۰
۲-۷ جمع بندی ۲۸
فصل سوم مواد و روش‌ها ۳۰
۳-۱ مقدمه ۳۱
۳-۲ رویکرد پویایی سیستمها ۳۲
۳-۲-۱ الگوهای سیستمیک (الگوهای رفتاری) ۳۳
۱. الگوی محدودیت رشد ۳۴
۲. الگوی راه‌حل‌هایی که شکست می‌خورند ۳۴
۳. الگوی انتقال فشار ۳۵
۳-۲-۲ اصول مدل‌سازی با رویکرد پویایی سیستمها ۳۶
۳-۳ مراحل مختلف مدل‌سازی بر اساس روش پویایی سیستم‌ها ۳۷
۳-۳-۱ تعریف مسئله ۳۷
۳-۳-۲ شرح سیستم ۳۷
۳-۳-۳ توسعه مدل ۳۷
۳-۳-۴ صحت سنجی مدل ۳۸
۳-۳-۵ استفاده از مدل برای تحلیل سیاست‌ها، طراحی و ارزیابی سناریوها ۳۸
۳-۴ مدل مفهومی DPSIR ۳۸

۳-۵ خسارت سیلاب ۴۱
۳-۵-۱ آمار و اطلاعات خسارت سیلاب ۴۱
۳-۵-۱-۱ تعیین خسارات جانی ۴۴
۱. رویکرد سرمایه انسانی ۴۵
۲. ارزش خالص زندگی انسان ۴۵
۳. ارزش ناخالص زندگی انسان ۴۶
۴. ارزش جبرانی بر اساس قوانین اسلامی ۴۶
۵. روش میلر در تعیین خسارات جانی ۴۶
۳-۵-۱-۲ ایستگاه منتخب ۴۹
۳-۶ بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی حوضه ۴۹
۳-۶-۱ تعیین شماره منحنی ۵۳
۳-۶-۲ نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک ۵۴
۳-۶-۲-۱ شماره منحنی رواناب ۵۵
۳-۷ تولید ناخالص داخلی استان گلستان ۵۸
۳-۸ جمع‌بندی فصل ۵۸
فصل چهارم ارزیابی وضع موجود و مکانیزمهای فعال در حوضه گرگانرود-قره سو ۵۹
۴-۱ مقدمه ۶۰
۴-۲ سیمای عمومی حوضه ۶۰
۴-۳ کلیات و وضع موجود حوضه ۶۰
۴-۳-۱ وضع موجود اقتصاد منطقه ۶۲
۴-۳-۲ سیل در منطقه ۶۴
۴-۴ پیش ارزیابی دینامیک‌های حوضه- مدل مفهومی ۶۵
۴-۴-۱ توسعه مدل مفهومی ۷۰
۴-۵ ساختار مکانیزمهای فعال در منطقه ۷۲
۴-۵-۱ زیرسیستم جمعیت ۷۳
۴-۵-۲ زیرسیستم اقتصاد حوضه ۷۵
۱. الگوی محدودیت رشد کشاورزی ۷۶
۲. الگوی محدودیت رشد صنعت ۷۹
۳. الگوی محدودیت رشد خدمات ۸۰
۴. مکانیزم اقتصاد حوضه ۸۲
۵. الگوی محدودیت رشد اقتصادی ۸۷
۴-۵-۳ زیرسیستم کاربری اراضی ۸۹
۴-۵-۴ زیر سیستم سیل ۹۰

۱. مکانیزم سیل در حوضه ۹۲
۲. روند تغییرات خسارات، دبی و بارش ۹۸
۳. طبقه‌بندی سیلاب‌ها ۱۰۰
۴. مکانیزم انتقال فشار و راه حل‌هایی که شکست می‌خورند در زیرسیستم سیل ۱۰۲
۴-۵-۵ زیر سیستم تجدید و برداشت از منابع آب ۱۰۵
الگوی راه حل‌هایی که شکست می‌خورند ۱۰۶
۴-۵-۶ زیرسیستم محیط زیست ۱۰۸
۴-۵-۷ مکانیزم کیفیت آب ۱۱۱
۴-۶ بحث و جمع‌بندی فصل ۱۱۴
فصل پنجم مدل‌سازی ۱۱۶
۵-۱ مقدمه ۱۱۷
۵-۲ توسعه مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه گرگانرود-قره سو ۱۱۸
۵-۲-۱ مدل‌سازی بخش محیطی ۱۱۸
۱. زیر مدل منابع آب ۱۱۸
مدل‌سازی روابط فیزیکی متغیرهای تغذیه منابع آب حوضه ۱۱۹
مدل‌سازی روابط فیزیکی متغیرهای تخلیه منابع آب حوضه ۱۲۰
۲. زیرمدل تأمین آب ۱۲۳
ظرفیت تأمین از آب زیرزمینی ۱۲۳
کاهش حجم تنظیمی حوضه ۱۲۴
ظرفیت تأمین از آب سطحی ۱۲۴
اولویت تخصیص ۱۲۶
۳. زیر مدل کاربری اراضی ۱۲۷
کاربری جنگل و مرتع (Vegetation area) ۱۲۷
کاربری شهری و خدمات (Urban and services) ۱۲۹
کاربری صنعتی (Industrial area) ۱۳۱
کاربری کشاورزی (Agricultural area) ۱۳۲
کاربری زمین بایر (Bare land) ۱۳۳
نکات کلی این زیرمدل ۱۳۴
۴. زیرمدل خطر سیلاب ۱۳۴
۵-۲-۲ مدل‌سازی بخش اقتصادی ۱۳۶
۱. زیرمدل خدمات ۱۳۷
۲. زیرمدل صنعت ۱۳۹
۳. زیرمدل کشاورزی ۱۴۰

۵-۲-۳ مدل‌سازی بخش اجتماعی ۱۴۳
۱. زیر مدل جمعیت ۱۴۳
۲. زیر مدل مطلوبیت حوضه ۱۴۴
۵-۳ مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه گرگانرود-قره سو ۱۴۵
۵-۳-۱ مقادیر ثابت مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه گرگان رود- قره سو ۱۴۷
۵-۳-۲ مقادیر اولیه متغیرهای حالت مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه گرگان رود- قره سو ۱۴۸
۵-۳-۳ صحت سنجی مدل ۱۴۹
۱. آزمون ارزیابی ساختار ۱۴۹
۲. آزمون‌های تکرار رفتار ۱۵۰
۳. نتایج آزمون های آماری متغیرهای اساسی مدل شبیه سازی حوضه ۱۵۲
۴. آزمون شرایط حدی ۱۵۳
• شرط حدی جریان ورودی برابر صفر ۱۵۴
• شرط حدی حجم تأمین برابر صفر ۱۵۴
• سطح کشاورزی در سال پایه برابر صفر ۱۵۵
• شرط حدی جمعیت اولیه حوضه برابر صفر ۱۵۷
• شرط حدی جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۵۸
۵. آزمون سازگاری واحدها ۱۶۰
۵-۳-۴ دامنه کار، قابلیت‌ها و توانایی‌ها و نحوه کاربرد مدل ۱۶۱
۱. قابلیت‌های مدل ۱۶۱
۲. سناریوها و سیاست‌ها ۱۶۲
۵-۳-۵ سناریوسازی ۱۶۴
۱. سناریوی وضع موجود و سناریوی افزایش حجم تأمین آب ۱۶۴
۲. سناریوی افزایش رسوب به میزان ۱۰ درصد ۱۶۶
۳. سناریوی افزایش رسوب و احداث سد ۱۶۶
۵-۳-۶ فرضیات بکار رفته در مدل و محدودیت‌های آن ۱۶۸
۵-۳-۷ محدودیت‌ها ۱۶۹
۵-۴ جمع‌بندی فصل ۱۷۰
فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۷۱
۶-۱ مقدمه ۱۷۲
۶-۲ نتیجه‌گیری ۱۷۲
۶-۳ پیشنهادها ۱۷۴

فهرست جداول

جدول۲-۱ سیر تحولات مدیریت منابع آب در جهان ۱۱
جدول ۲-۲ سیر تحولات سازمان مدیریت منابع آب ایران ۱۶
جدول ۳-۱ نمونه آمار و داده‌های اولیه خسارت سیل ۴۲
جدول ۳-۲ مبنای تبدیلات خسارات به ریال ۴۲
جدول ۳-۳ مجموع خسارت مالی سیلاب‌های سال ۱۳۷۵ ..... ۴۳
جدول ۳-۴ خسارات سیل‌های گذشته به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶ ..... ۴۴
جدول ۳-۵ میزان خسارات جانی در حوضه گرگانرود-قره‌سو ۴۷
جدول ۳-۶ مجموع خسارات سیلاب‌های سالانه ۴۸
جدول ۳-۷ کاربری اراضی در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ ..... ۵۲
جدول ۳-۸ درصد تحت پوشش گروه‌های هیدرولوژی در حوضه گرگانرود-قره سو ۵۴
جدول ۳-۹ شماره منحنی هر گروه هیدرولوژیکی ۵۵
جدول ۳-۱۰درصد تحت پوشش کاربری و گروه هیدرولوژیکی در حوضه گرگانرود-قره سو ۵۵
جدول ۳-۱۱ شماره منحنی ۱۹۹۰و ۲۰۰۱ ..... ۵۶
جدول ۴-۱ تغییرات ارزش افزوده و مصرف آب بخش‌های مختلف ۶۳
جدول ۴-۲ تغییرات اشتغال و بهره‌وری اقتصادی بخش‌های مختلف ۶۳
جدول ۴-۳ تعدادی از سیلاب‌های حوضه ۶۴
جدول ۴-۴ پیش ارزیابی حوضه با چارچوب علی و معلولی DPSIR ۶۸
جدول ۴-۵ استخراج زیرسیستم‌های ارزیابی حوضه از مؤلفه‌های پیش ارزیابی ۶۹
جدول ۴-۶ تعداد و رشد جمعیت در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ ..... ۷۵
جدول ۴-۷ مساحت اراضی زراعی و کشت آبی و نسبت آن‌ها به اراضی قابل آبیاری ۷۷
جدول ۴-۸ مصارف آب بخش کشاورزی ۱۳۷۹-۱۳۸۰ ..... ۷۸
جدول ۴-۹ مصارف شرب، صنعت و کشاورزی به تفکیک منابع آب سطحی و زیرزمینی ۸۸
جدول ۴-۱۰ مقادیر رسوب حوضه در محل سدها ۹۵
جدول۴-۱۱ نتایج آزمون‌های مختلف بر خسارت و سیلاب ۹۹
جدول ۴-۱۲ درجه اهمیت سیلاب‌ها در حوضه گرگانرود-قره سو بر اساس طبقه‌بندی مهدوی ۱۰۱
جدول ۴-۱۳ مساحت تحت پوشش سدهای حوضه ۱۰۴
جدول ۴-۱۴ منابع تجدیدشونده و فاضلاب در سطح حوضه‌های آبریز درجه ۲ و کل کشور ۱۱۳
جدول ۵-۱ آمار رواناب، درصد پوشش گیاهی و خسارت حوضه گرگانرود-قره سو ۱۳۵
جدول ۵-۲ نیاز آبی محصولات مختلف بر اساس سند توسعه ملی آب ۱۴۱

جدول ۵-۳ متغیرهای برون‌زا و ضرایب ثابت مدل ۱۴۷
جدول ۵-۴ میزان رسوب سالانه ورودی به هر سد ۱۴۸
جدول ۵-۵ مقادیر اولیه متغیرهای حالت در مدل ۱۴۸
جدول ۵-۶ نتایج آزمون تکرار رفتار ۱۵۳
جدول ۵-۷ سیاست‌های مختلف قابل ارزیابی توسط مدل ۱۶۳
جدول ۵-۸ سناریوهای قابل اعمال در مدل ۱۶۴
جدول ۵-۹ سدهای در حال بهره‌برداری در افق ۱۴۰۰ ..... ۱۶۵

فهرست نمودار

نمودار ۳-۱ روند تغییرات خسارت در دوره آماری ۱۳۷۱-۱۳۸۴ ..... ۴۸
نمودار ۳-۲ خسارت سیلاب در دهه ۷۰ و ۸۰ ..... ۴۹
نمودار ۳-۳ تغییرات کاربری اراضی در حوضه گرگان‌رود قره‌سو بین دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ ..... ۵۳
نمودار ۴-۱ تغییرات جمعیت در حوضه گرگان رود- قره‌سو ۷۵
نمودار۴-۲ مصرف آب کشاورزی حوضه گرگانرود-قره سو ۷۹
نمودار ۴-۳ شاغلین بر حسب بخش‌های عمده اقتصادی در حوضه گرگانرود-قره سو و کل کشور ۸۳
نمودار ۴-۴ تغییرات درصد بیکاری در حوضه گرگانرود-قره سو ۸۴
نمودار ۴-۵ درصد تولید ناخالص داخلی گرگانرود-قره سو در سال ۱۳۸۵ ..... ۸۴
نمودار ۴-۶ سهم بخش‌های عمده اقتصادی در ارزش افزوده استان گلستان ۸۶
نمودار ۴-۷ ارزش افزوده بخش‌های عمده اقتصادی و کل استان گلستان ۸۶
نمودار ۴-۸ تولید ناخالص داخلی استان به قیمت ثابت ۸۶
نمودار ۴-۹ روند تغییرات برداشت از آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی دشت گرگان ۸۸
نمودار ۴-۱۰ روند تغییرات حداکثر دبی لحظه‌ای در ایستگاه تنگراه در طول زمان ۹۱
نمودار ۴-۱۱ روند تغییرات حداکثر دبی لحظه‌ای در ایستگاه تمر در طول زمان ۹۱
نمودار ۴-۱۲ روند تغییرات خسارت در دوره آماری ۱۳۷۱-۱۳۸۴ (سال پایه ۱۳۷۶) ۹۶
نمودار ۴-۱۳ میزان خسارات جانی در حوضه گرگانرود-قره سو از روش Miller ۹۷
نمودار ۴-۱۴ درصد خسارت سیلاب سالانه به ارزش افزوده حوضه ۹۷
نمودار ۴-۱۵ تغییرات دبی و خسارت ۱۳۷۰-۱۳۸۴ ..... ۹۹
نمودار۴-۱۶ تغییرات دبی و خسارت ۱۳۷۰-۱۳۸۴بدون سیل سال ۷۹-۸۰ ..... ۹۹
نمودار ۴-۱۷ درجه اهمیت سیلاب ها در حوضه گرگانرود-قره سو براساس طبقه‌بندی مهدوی ۱۰۱
نمودار ۴-۱۸ فراوانی سیلاب‌های اتفاق افتاده در هر درجه اهمیت ۱۰۲
نمودار ۴-۱۹ روند سرمایه گذاری دولتی انجام شده در طرحهای توسعه منابع آب ۱۰۴
نمودار ۴-۲۰ حجم آب تنظیمی در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو ۱۰۸
نمودار ۴-۲۱ درصد اشتغال، ارزش افزوده، مصرف آب و کاربری بخش‌های مختلف اقتصاد حوضه ۱۱۵
نمودار ۵-۱ نمودار چرخه آب در حوضه گرگانرود-قره سو ۱۲۱
نمودار ۵-۲ تعداد تجمعی چاه‌ها به تفکیک نوع مصرف ۱۲۴
نمودار ۵-۳ رابطه بین پوشش و رواناب حوضه گرگانرود-قره سو ۱۳۶
نمودار ۵-۴ رابطه بین رواناب و خسارت حوضه گرگانرود-قره سو ۱۳۶
نمودار ۵-۵ سرانه مصرف شرب مأخذ: مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۶۵، ۱۳۷۵، ۱۳۸۰ ..... ۱۴۴
نمودار ۵-۶ مقایسه آمار مشاهداتی و شبیه‌سازی مصرف آب ۱۵۱

نمودار ۵-۷ مقایسه آمار مشاهداتی و شبیه‌سازی ارزش افزوده کل ۱۵۱
نمودار ۵-۸ مقایسه آمار مشاهداتی و شبیه‌سازی کاربری کشاورزی ۱۵۱
نمودار ۵-۹ مقایسه آمار مشاهداتی و شبیه‌سازی کاربری جنگل ۱۵۱
نمودار ۵-۱۰ مقایسه آمار مشاهداتی و شبیه‌سازی کاربری شهری ۱۵۲
نمودار ۵-۱۱ مقایسه آمار مشاهداتی و شبیه‌سازی اشتغال حوضه ۱۵۲
نمودار ۵-۱۲ حجم مصارف حوضه در شرایط عدم وجود جریان ورودی ۱۵۴
نمودار ۵-۱۳ ارزش افزوده کل حوضه در شرایط عدم وجود جریان ورودی ۱۵۴
نمودار ۵-۱۴ حجم آب در دسترس در شرایط حجم تأمین برابر صفر ۱۵۵
نمودار ۵-۱۵ مصرف آب کشاورزی در شرایط حجم تأمین برابر صفر ۱۵۵
نمودار ۵-۱۶ حجم مصرف شرب در شرایط حجم تأمین برابر صفر ۱۵۵
نمودار ۵-۱۷ حجم مصرف آب در شرایط حجم تأمین برابر صفر ۱۵۵
نمودار ۵-۱۸ سطح کاربری کشاورزی در شرایط زمین کشاورزی سال پایه صفر ۱۵۶
نمودار ۵-۱۹ تبدیل زمین کشاورزی به صنعت در شرایط زمین کشاورزی سال پایه صفر ۱۵۳
نمودار ۵-۲۰ اشتغال کشاورزی در شرایط زمین کشاورزی سال پایه صفر ۱۵۶
نمودار ۵-۲۱ ارزش افزوده بخش کشاورزی در شرایط زمین کشاورزی سال پایه صفر ۱۵۶
نمودار ۵-۲۲ حجم مصرف کشاورزی در شرایط زمین کشاورزی سال پایه صفر ۱۵۷
نمودار ۵-۲۳ نیاز آب کشاورزی در شرایط زمین کشاورزی سال پایه صفر ۱۵۷
نمودار ۵-۲۴ جمعیت در شرایط جمعیت اولیه حوضه برابر صفر ۱۵۷
نمودار ۵-۲۵ جمعیت فعال در شرایط جمعیت اولیه حوضه برابر صفر ۱۵۷
نمودار ۵-۲۶ اشتغال کشاورزی در شرایط جمعیت اولیه حوضه برابر صفر ۱۵۸
نمودار ۵-۲۷ مصرف شرب در شرایط جمعیت اولیه حوضه برابر صفر ۱۵۸
نمودار ۵-۲۸ اشتغال کشاورزی در شرایط جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۵۸
نمودار ۵-۲۹ جمعیت درشرایط جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۵۸
نمودار ۵-۳۰ جمعیت فعال در شرایط جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۵۹
نمودار ۵-۳۱ مصرف شرب در شرایط جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۵۹
نمودار ۵-۳۲ مصرف صنعت در شرایط جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۵۹
نمودار ۵-۳۳ مصرف کشاورزی در شرایط جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۵۹
نمودار ۵-۳۴ سطح کاربری شهری در شرایط جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۶۰
نمودار ۵-۳۵ سطح کاربری جنگل در شرایط جمعیت اولیه بسیار زیاد ۱۶۰
نمودار ۵-۳۶ سطح کاربری شهری با ادامه روند موجود تا افق ۱۴۰۰ ..... ۱۶۵
نمودار ۵-۳۷ سطح پوشش جنگلی با ادامه روند موجود تا افق ۱۴۰۰ ..... ۱۶۵
نمودار ۵-۳۸ حجم آب در دسترس در سناریوهای مختلف ۱۶۶

نمودار ۵-۳۹ حجم مصرف در دسترس در سناریوهای مختلف ۱۶۶
نمودار ۵-۴۰ متغیر خسارت نسبی در سناریوهای مختلف ۱۶۷
نمودار ۵-۴۱ نسبت کفایت آب کشاورزی در سناریوهای مختلف ۱۶۷
نمودار ۵-۴۲ کل حجم تأمین در سناریوهای مختلف ۱۶۷
نمودار ۵-۴۳ حجم تأمین سطحی در سناریوهای مختلف ۱۶۷
نمودار ۵-۴۴ ارزش افزوده کشاورزی در سناریوهای مختلف ۱۶۸

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ گام‌های انجام تحقیق ۵
شکل ۲-۱ چرخه IWRM ۱۵
شکل ۲-۲ –الف مدل باز در تفکر خطی ۱۹
شکل ۲-۲-ب مدل بسته در تفکر سیستمی ۱۹
شکل ۲-۳ رویکرد خطی در تصمیم‌گیری ۱۹
شکل ۳-۱ بخش‌های مختلف مورد بحث در این فصل ۳۱
شکل ۳-۲ الگوی محدودیت رشد، ۳۴
شکل ۳-۳ رفتار الگوی محدودیت رشد در زمان ۳۴
شکل ۳-۴ الگوی راه حل‌هایی که شکست می‌خورند، ۳۵
شکل ۳-۵ رفتار الگوی راه حل‌هایی که شکست می‌خورند در زمان ۳۵
شکل ۳-۶ الگوی انتقال فشار، ۳۶
شکل ۳-۷ رفتار الگوی انتقال فشار در زمان ۳۶
شکل ۳-۸ مدل ارزیابی DPSIR ۴۱
شکل ۳-۹ محل ایستگاه تمر وتنگراه ۵۰
شکل ۳-۱۰ تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۱ حوضه گرگانرود-قره سو ۵۱
شکل ۳-۱۱ تصویر کاربری اراضی سال ۱۹۹۰ ..... ۵۲
شکل ۳-۱۲ تصویر کاربری اراضی سال ۲۰۰۱ ..... ۵۲
شکل ۳-۱۳ روند تعیین شماره منحنی ۵۴
شکل ۳-۱۴ گروه‌های هیدرولوژی خاک ۵۴
شکل ۴-۱ موقعیت و محدوده حوضه آبریز گرگان‌رود ۶۱
شکل ۴-۲ مدل مفهومی حوضه گرگانرود-قره سو ۷۰
شکل ۴-۳ محدودیت رشد مدل مفهومی ۷۲
شکل ۴-۴ مکانیزم تغییرات جمعیت در حوضه گرگانرود-قره سو ۷۴
شکل ۴-۵ الگوی محدودیت رشد کشاورزی ۷۶
شکل ۴-۶ الگوی محدودیت رشد در صنعت ۷۹
شکل ۴-۷ الگوی محدودیت رشد در خدمات ۸۰
شکل ۴-۸ مکانیزم اقتصاد حوضه ۸۱
شکل ۴-۹ مکانیزم ارتباط اقتصاد حوضه و پوشش گیاهی ۸۴
شکل ۴-۱۰ الگوی محدودیت رشد اقتصادی در تعامل با مصرف منابع ۸۶

شکل ۴-۱۱ مکانیزم تغییر کاربری اراضی و رشد شهرنشینی و خدمات ۸۸
شکل ۴-۱۲ مکانیزم تغییر کاربری اراضی و رشد صنعت ۸۹
شکل ۴-۱۳ مکانیزم تغییر کاربری اراضی و رشد کشاورزی ۸۹
شکل ۴-۱۴ مکانیزم سیلاب حوضه و ذخیره آب ۹۱
شکل ۴-۱۵ مکانیزم کلی وقوع سیلاب و تولید رسوب در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو ۹۳
شکل ۴-۱۶ میزان رسوب، مساحت حوضه، دبی ویژه ایستگاه‌های هیدرومتری ۹۴
شکل ۴-۱۷ مکانیزم انتقال فشار و راه حل‌هایی که شکست می‌خورند در زیرسیستم سیل ۱۰۲
شکل ۴-۱۸ الگوی محدودیت منابع آب در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو ۱۰۴
شکل ۴-۱۹ مکانیزم تجدید و برداشت از منابع آب در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو ۱۰۵
شکل ۴-۲۰ الگوی راه حل‌هایی که شکست می‌خورند ۱۰۶
شکل ۴-۲۱ مکانیزم حاکم بر محیط زیست در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو ۱۱۰
شکل ۴-۲۲ مکانیزم کیفیت منابع آب در حوضه گرگان‌رود-قره‌سو ۱۱۱
شکل ۵-۱ زیر مدل منابع آب حوضه گرگانرود-قره سو ۱۲۱
شکل ۵-۲ زیر مدل تأمین آب حوضه گرگانرود-قره سو ۱۲۴
شکل ۵-۳ زیر مدل کاربری اراضی در حوضه گرگانرود-قره سو ۱۲۹
شکل ۵-۴ زیر مدل خطر سیلاب مدل گرگانرود-قره سو ۱۳۴
شکل ۵-۵ زیرمدل خدمات مدل یکپارچه گرگانرود-قره سو ۱۳۶
شکل ۵-۶ زیرمدل صنعت مدل یکپارچه گرگانرود-قره سو ۱۳۹
شکل ۵-۷ زیرمدل کشاورزی مدل یکپارچه گرگانرود-قره سو ۱۴۱
شکل ۵-۸ زیرمدل اجتماعی مدل یکپارچه گرگانرود-قره سو ۱۴۵
شکل ۵-۹ مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه گرگانرود-قره سو ۱۴۵
شکل ۵-۱۰ تست ارزیابی ساختار مدل ۱۴۹
شکل ۵-۱۱ تست سازگاری واحدها ۱۵۹

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

مدیریت یکپارچه منابع آب[1] و ضرورت آن حاصل افزایش رقابت در مصارف آب، رشد سریع جمعیت و بالا رفتن توقع برای یک زندگی بهتر می‌باشد (Matondo, 2002). تعاریف بسیاری برای مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب وجود دارد، در این تحقیق از تعریف GWP (۲۰۰۰) استفاده شده است که بیان می‌کند: "مدیریت یکپارچه منابع آب فرایندی است که مدیریت و توسعه آب، خاک و دیگر منابع مرتبط با آن‌ها را برای حداکثر کردن رفاه اقتصادی-اجتماعی حاصل با یک روش عادلانه، بدون به خطر انداختن پایداری اکوسیستم‌های حیاتی ارتقاء می‌دهد". مدل‌سازی یکپارچه یک رویکرد جدید برای اتصال دانش و مدل‌سازی رشته‌ها و زمینه‌های تحقیقاتی مختلف و استفاده از توانایی آن‌ها در برنامه‌ریزی استراتژیک مدیریت منابع آب در سطح حوضه است (Prodanovic and Simonovic, 2007).

مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب در سطح جهان مورد قبول واقع شده و اکثر کشورهای جهان آن را به عنوان شیوه سیاست راهبردی خود تصویب نموده‌اند؛ از جمله در ایران نیز این موضوع در سال ۱۳۸۲ توسط هیأت وزیران تصویب شد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۲). مدیریت یکپارچه منابع آب در ایران نیازی ضروری جهت برخورد با چالش‌های موجود است. جهت انجام این امر در کشور گام‌های مهمی مخصوصاً در زمینه قانون‌گذاری و برنامه‌ریزی از جمله تدوین برنامه‌های آبی توسعه کشور با این دیدگاه و ملزم کردن دولت به اجرای این نوع مدیریت برداشته شده، اما هنوز این مفهوم اجرایی نشده است.

یکی از ابزارهای مهم در راستای اجرایی کردن مفهوم IWRM، داشتن مدل‌هایی است که امکان مدل‌سازی یکپارچه را در سطح حوضه آبریز فراهم سازد. عمده مدل‌سازی‌های یکپارچه در سطح حوضه به بیان مسائل هیدرولوژیکی و طبیعی بسنده کرده‌اند. به دنبال ضرورت در نظر گرفتن تعاملات بخش هیدرولوژی با سایر بخش‌ها در یک حوضه، گرایش به سمت استفاده از رویکرد سیستمیک به وجود آمده

[1] . Integrated Water Resources Management

است. با اینکه مطالعات زیادی از رویکرد سیستمیک برای مسائل مدیریت یکپارچه منابع آب استفاده کرده‌اند با این حال همگی بر ضعف تعامل فرآیندهای محیطی با فرآیندهای اقتصادی-اجتماعی حوضه اشاره داشته‌اند (Prodanovic and Simonovic, 2007). در واقع روابط و اثرات بخش‌های مختلف (منابع آب، اقتصاد، اجتماع، محیط زیست و ...) بر یکدیگر و ارزیابی مشکلات به صورت یکپارچه، چالش اصلی برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه منابع آب می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده است تا چارچوب و روشی برای تلفیق نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در بخش‌های مختلف با استفاده از دینامیک سیستم‌ها ارائه گردد و مدلی یکپارچه و دینامیک بر اساس ارزیابی صحیح مؤلفه‌های مدنظر در مدیریت یکپارچه ساخته شود. جهت انجام این امر حوضه آبریز گرگان‌رود-قره‌سو که بخشی از حوضه آبریز دریای خزر محسوب شده و شرقی‌ترین حوضه آن را تشکیل می‌دهد به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است.

۱-۲ اهداف تحقیق

هدف از این تحقیق دست‌یابی به یک روش‌شناسی جهت مدل‌سازی یکپارچه منابع آب در مقیاس حوضه آبریز می‌باشد. لازم به ذکر است که هدف نهایی این تحقیق شناسایی روابط و نقاط اتصال و اثرگذاری بخش‌ها و زیربخش‌های مختلف بر یکدیگر و بر منابع آب و همچنین معرفی داده‌ها، اطلاعات و مطالعات مورد نیاز و پیش نیاز جهت انجام مدیریت یکپارچه در سطح یک حوضه آبریز در قالب مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه می‌باشد و هیچ تاکیدی بر ارائه سیاست‌ها و اقدامات اجرایی ندارد. تاکید بر اهمیت مدیریت بر بخش‌های اثرگذار بر منابع آب جهت کاهش اثرات منفی و معضلات ناشی از آن‌ها در راستای جهت دهی به برنامه‌ریزی‌های کلان حوضه به سمت ریشه‌یابی مسائل و رفع علل واقعی آن‌ها از نتایج مثبت مدل‌سازی یکپارچه خواهد بود. به طور کلی جهت دستیابی به هدف تحقیق محورهای زیر مورد توجه قرار گرفته است:

- دست‌یابی به یک روش‌شناسی جهت مدل‌سازی یکپارچه منابع آب در مقیاس حوضه آبریز
- شناسایی و نشان دادن اثر متقابل زیرسیستم‌های انسانی و محیطی بر روی یکدیگر
- تهیه مدل یکپارچه حوضه گرگان‌رود-قره‌سو که همانند دیگر مدل‌های سیستمیک جهت مشخص کردن روند حرکت به سوی نتایج متفاوت در اثر اعمال گزینه‌های مختلف استفاده می‌گردد و انتظار پیش بینی دقیق حالت سیستم در آینده از آن نمی‌رود.