دانشکده مهندسی عمران

جذب چندمتغیره‌ی داده در مدل هیدرولوژیکی مبتنی بر فیزیک MIKE SHE

مطالعه‌ی موردی:حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی مهاباد

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران گرایش مدیریت منابع آب

تهیه‌کننده:

آیلا قوجه بیگلو

استاد راهنما:

حسین علیزاده

آذر ماه ۱۴۰۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

نام دانشکده:

نام دانشجو:

عنوان پایان‌نامه یا رساله:

تاریخ دفاع:

رشته:

گرایش:

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما				
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور				
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو خارجی				
۶	استاد مدعو خارجی				
۷	استاد مدعو داخلی				
۸	استاد مدعو داخلی				

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب آیلا قوجه بیگلو به شماره دانشجویی ۹۷۶۸۹۰۳۴ دانشجوی رشته مهندسی عمران مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

خانوادۀ عزیزم که همواره حامی و پشتوانه ای مستحکم برایم بوده اند.

تشکر و قدردانی:

قدردان زحمات استاد بزرگوار، جناب آقای دکتر حسین علیزاده می‌باشم که راهنمایی این پژوهش را برعهده داشتند. هم‌چنین از جناب آقای بیات سپاسگزارم که راهنمایی‌های ایشان نکات ارزنده‌ای به این پژوهش اضافه نمود.

چکیده

مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی مبتنی بر فیزیک، با تقسیم حوضه‌ی آبریز به سلول‌های کوچک‌تر و هم‌چنین با استفاده از معادلات مبتنی بر فیزیک می‌توانند حوضه‌های آبریز را با دقت بالاتری شبیه‌سازی کنند. از طرفی پیاده‌سازی الگوریتم‌های جذب داده به همراه این مدل‌ها نیز می‌تواند توانایی پیش‌بینی آن‌ها را بهبود بخشد. MIKE SHE یک مدل هیدرولوژیکی توزیعی مبتنی بر فیزیک است که در تحقیق حاضر از نسخه‌ی قفل‌شکسته‌ی ۲۰۱۴ آن برای مدل‌سازی حوضه‌ی آبریز موردنظر استفاده شد. حوضه‌ی بالادست ایستگاه آب‌سنجی بیطاس واقع در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی مهاباد، به‌عنوان مورد مطالعاتی این پژوهش در نظر گرفته شد. هدف از این مدل‌سازی، جذب مشاهدات رواناب ایستگاه آب‌سنجی بیطاس و درصد پوشش برفی محصول ماهواره‌ی MODIS در این منطقه، با استفاده از الگوریتم ETKF در مدل مذکور است. برای کالیبراسیون پارامترهای مدل MIKE SHE از رویکرد تخمین متصل متغیر حالت-پارامتر در طول روند جذب داده استفاده شد. اتصال مدل MIKE SHE به الگوریتم جذب داده در محیط MATLAB صورت گرفت. در ادامه چهار سناریوی مدل‌سازی در نظر گرفته شدند که عبارتنداز: شبیه‌سازی حلقه‌ی باز (بدون جذب داده)، جذب مشاهدات رواناب به‌تنهایی، جذب مشاهدات درصد پوشش برفی به‌تنهایی و جذب هم‌زمان مشاهدات رواناب و درصد پوشش برفی. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مذکور با استفاده از معیارهای نکوئی برازش NSE، RMSE و PBIAS با همدیگر مقایسه شدند. مقادیر NSE برای رواناب در هر سناریو به ترتیب برابر ۰/۱۵، ۰/۳۷، ۰/۲۷ و ۰/۲۰۲ و برای درصد پوشش برفی برابر ۸/۰۷- ، ۹/۶۹- ، ۰/۲۳- و ۰/۱۲ است. درنهایت بعد از اجرای هر چهار سناریوی تعریف‌شده، نتایج حاکی از آن است که دقت شبیه‌سازی رواناب و درصد پوشش برفی، زمانی که به‌صورت هم‌زمان در مدل جذب می‌شوند بهبود می‌یابد. لازم به ذکر است که علی‌رغم محدودیت‌های موجود در دسترسی به نسخه‌ی ۲۰۱۷ این مدل که قرار بود از طرف ستاد احیای دریاچه‌ی ارومیه مرتفع شود، اما تحقق نیافت و تلاش‌های زیادی که درروند اتصال مدل MIKE SHE 2014 به الگوریتم جذب داده انجام شد، نتایج نشان داد که نسخه‌ی قفل‌شکسته‌ی ۲۰۱۴، امکانات مناسبی برای پیاده‌سازی جذب داده فراهم نمی‌کند و بهتر است در ادامه‌ی این تحقیق از نسخه‌های بالاتر این نرم‌افزار بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی مبتنی بر فیزیک، MIKE SHE، عدم قطعیت، جذب داده، ETKF

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه **۱**

۱-۱- پیش گفتار ۲
۱-۲- لزوم انجام تحقیق ۳
۱-۳- بیان مسئله ۴
۱-۴- روش تحقیق ۵
۱-۵- اهداف تحقیق ۵
۱-۶- جنبه‌های نوآوری و مشارکت علمی ۵
۱-۷- ساختار پایان‌نامه ۶

فصل ۲: مرور پیشینه و مبانی **۷**

۲-۱- مقدمه ۸
۲-۲- مدل هیدرولوژیکی توزیعی ۸
۲-۳- عدم قطعیت ۱۰
۲-۳-۱- عدم قطعیت در داده‌های ورودی یا مشاهداتی ۱۰
۲-۳-۲- عدم قطعیت در ساختار مدل‌ها ۱۱
۲-۳-۳- عدم قطعیت در پارامترها ۱۱
۲-۴- واسنجی مدل ۱۱
۲-۴-۱- جذب داده ۱۲
۲-۴-۲- روش‌های جذب داده ۱۲
۲-۵- مروری بر پیشینه ۱۹
۲-۶- نتیجه‌گیری ۲۴

فصل ۳: مواد و روش‌ها **۲۵**

۳-۱- مورد مطالعاتی ۲۶
۳-۲- روش‌شناسی ۲۷
۳-۲-۱- داده‌های پایه ۲۹
۳-۲-۲- مدل MIKE SHE ۳۲
۳-۲-۳- تخمین پارامتر مدل MIKE SHE با الگوریتم ETKF ۳۶
۳-۲-۴- ملاحظات کاربردی ۴۲

فصل ۴: نتایج و بحث **۴۸**

۴-۱- شبیه‌سازی رواناب ۴۹
۴-۲- شبیه‌سازی درصد پوشش برفی ۵۱
۴-۳- پارامترها ۵۴
۴-۴- نتیجه‌گیری ۵۸
۴-۵- بحث ۵۹

فصل ۵: نتیجه‌گیری **۶۱**

۵-۱- جمع‌بندی ۶۲
۵-۲- پیشنهادها ۶۳

فصل ۶: پیوست **۶۴**

۶-۱- برنامه‌نویسی ۶۵
۶-۲- مراجع ۷۹

فهرست شکل‌ها

شکل۳-۱- محدوده‌ی جغرافیایی بالادست ایستگاه بیطاس ۲۶
شکل۳-۲- فلوچارت روش‌شناسی ۲۸
شکل۳-۳- مرز حوضه‌ی آبریز ۲۹
شکل۳-۴- توپوگرافی منطقه ۳۰
شکل۳-۵- نقشه‌ی کاربری زمین (بیات، ۱۳۹۶، صفحه ۴۸) ۳۰
شکل۳-۶- آبدهی رودخانه‌ی مهاباد در محل ایستگاه آب‌سنجی بیطاس ۳۱
شکل۳-۷- مشاهدات درصد پوشش برفی بالادست بیطاس ۳۲
شکل۳-۸- MIKE 11-MIKE SHE (DHI، ۲۰۱۴) ۳۵
شکل۳-۹- شماتیک مدل MIKE SHE (Graham و Butts، ۲۰۰۵) ۳۶
شکل۳-۱۰- عملکرد الگوریتم ETKF ۴۲
شکل۳-۱۱- بیان مفهومی ارتباط عدم قطعیت در پارامتر و پیش‌بینی‌ها ۴۴
شکل ۴-۱- سری زمانی پیش‌بینی و مشاهدات رواناب در سناریوی اول ۴۹
شکل ۴-۲- سری زمانی پیش‌بینی و مشاهدات رواناب در سناریوی دوم ۴۹
شکل ۴-۳- سری زمانی پیش‌بینی و مشاهدات رواناب در سناریوی سوم ۵۰
شکل ۴-۴- سری زمانی پیش‌بینی و مشاهدات رواناب در سناریوی چهارم ۵۰
شکل ۴-۵- سری زمانی پیش‌بینی و مشاهدات درصد پوشش برفی در سناریوی اول ۵۱
شکل ۴-۶- سری زمانی پیش‌بینی و مشاهدات درصد پوشش برفی در سناریوی دوم ۵۲
شکل ۴-۷- سری زمانی پیش‌بینی و مشاهدات درصد پوشش برفی در سناریوی سوم ۵۲
شکل ۴-۸- سری زمانی پیش‌بینی و مشاهدات درصد پوشش برفی در سناریوی چهارم ۵۳
شکل ۴-۹- سری زمانی پارامترهای مرتبط با رواناب در سناریوی دوم ۵۴
شکل ۴-۱۰- سری زمانی پارامترهای مرتبط با رواناب در سناریو چهارم ۵۴
شکل ۴-۱۱- سری زمانی ضریب درجه – روز در سناریوی سوم ۵۵
شکل ۴-۱۲- سری زمانی max wet snow fraction در سناریوی سوم ۵۵
شکل ۴-۱۳- سری زمانی min snow storage در سناریوی سوم ۵۶
شکل ۴-۱۴- سری زمانی ضریب درجه – روز در سناریوی چهارم ۵۶
شکل ۴-۱۵- سری زمانی max wet snow fraction در سناریوی چهارم ۵۷
شکل ۴-۱۶- سری زمانی min snow storage در سناریوی چهارم ۵۷

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱- مشخصات بالادست ایستگاه آب‌سنجی بیطاس ۲۶
جدول ۳-۲- پارامترهای منتخب برای واسنجی و محدوده‌ی تغییر آن‌ها ۳۸
جدول ۳-۳- دامنه‌ی تغییرات معیارهای نکوئی برازش ۴۴
جدول ۴-۱- معیارهای نکویی برازش شبیه‌سازی رواناب ۵۱
جدول ۴-۲- معیارهای نکویی برازش شبیه‌سازی درصد پوشش برفی ۵۳

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- پیش گفتار

به دلیل شهرنشینی و صنعتی شدن زندگی انسان‌ها که عواقبی نظیر جنگل‌زدایی، تغییر پوشش زمین، آبیاری و... به همراه دارد، تغییرات مختلفی در سیستم‌های هیدرولوژیکی رخ‌داده است. هم‌زمان با تغییرات آب و هوایی، ناهمگنی خاک نیز تأثیر مستقیمی بر تخلیه‌ی بسیاری از رودخانه‌ها در جهان دارد. پدیده‌های هیدرولوژیکی باید به‌منظور پی بردن به این تغییرات به‌طور کامل موردمطالعه قرار گیرند. امروزه مدل‌های هیدرولوژیکی مختلفی در سرتاسر جهان برای بررسی تأثیرات آب‌وهوا و خصوصیات خاک در هیدرولوژی و منابع آب، توسعه داده‌شده است. هر مدل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود را دارد. ورودی‌های استفاده‌شده توسط مدل‌های مختلف عبارتنداز: بارش، دمای هوا، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی، هیدروژئولوژی و سایر پارامترهای فیزیکی (Devia و همکاران، ۲۰۱۵).

به گفته‌ی Wheater و همکاران (۲۰۰۷)، یک مدل، نمایشی ساده از سیستم دنیای واقعی است. بهترین مدل آن است که با استفاده از حداقل پارامترها و پیچیدگی‌های موجود، نتایج نزدیک به واقعیت را ارائه دهد. مدل‌ها عمدتاً برای پیش‌بینی رفتار سیستم و درک فرآیندهای هیدرولوژیکی مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرند. یک مدل متشکل از پارامترهای مختلفی است که ویژگی‌های آن را تعریف می‌کند. مدل بارش-رواناب می‌تواند به‌عنوان مجموعه‌ای از معادلات تعریف شود که به تخمین رواناب به‌عنوان تابعی از پارامترهای مختلف برای توصیف ویژگی‌های حوضه کمک می‌کند. دو ورودی مهم و موردنیاز برای همه مدل‌ها، داده‌های بارش و ناحیه‌ی زهکشی است. در کنار این‌ها، ویژگی‌های حوضه‌ی آبریز مانند خصوصیات خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی حوضه، میزان رطوبت خاک، ویژگی‌های سفره آب زیرزمینی نیز در نظر گرفته می‌شوند. امروزه از مدل‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان ابزاری مهم و ضروری برای مدیریت منابع آب و محیط‌زیست استفاده می‌کنند (Devia و همکاران، ۲۰۱۵).

یکی از ابزارهایی که ازنظر تئوری ما را قادر می‌سازد درک خود از فرآیندهای کلیدی هیدرولوژیکی را در مقیاس حوضه‌ی آبریز بهبود بخشیم، مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی[1] می‌باشند. طیف گسترده‌ای از مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی، از معادلات تجربی ساده‌ای که می‌توان به‌صورت تحلیلی حل کرد، گرفته و تا سیستم‌های پیچیده معادلات دیفرانسیل جزئی که به الگوریتم‌های عددی پیچیده و رایانه‌های قدرتمند نیاز دارند، توسعه‌یافته است.

[1] Distributed hydrological models

مدل‌سازی توزیعی فرآیندهای هیدرولوژیکی، محدودیت‌هایی نظیر پارامتری سازی بیش‌ازحد و عدم قطعیت[1] را به همراه دارد (Schuurmans و همکاران، ۲۰۰۳). برای تعیین کمیت و کاهش این عدم قطعیت، ابزارهایی لازم است که نه‌تنها شامل ورودی هواشناسی و داده‌هایی از قبیل توپوگرافی، کاربری اراضی و نوع خاک باشد، بلکه مشاهداتی نظیر رطوبت خاک و رواناب را نیزدربرگیرد. در این شرایط، روش‌های جذب داده[2] به‌طور فزاینده‌ای برای ادغام بهینه‌ی منابع مختلف داده با نتایج شبیه‌سازی‌ها و درنظرگرفتن عدم قطعیت‌های مربوطه در مدل‌های بارش-رواناب مورداستفاده قرار می‌گیرند (Weerts و El Serafy، ۲۰۰۶) و بدین ترتیب نه‌تنها شبیه‌سازی و پیش‌بینی مدل را بهبود می‌دهند، بلکه این فرصت را برای عیب‌یابی از مدل و مشاهدات استفاده‌شده در فرآیند جذب فراهم می‌کنند (Trudel و همکاران، ۲۰۱۴).

۱-۲- لزوم انجام تحقیق

مدل هیدرولوژیکی مبتنی بر فیزیک MIKE SHE، قادر به شبیه‌سازی فرآیندهای اصلی چرخه‌ی آب بوده و هم‌چنین دارای انعطاف‌پذیری برای مدل‌سازی هر فرآیند در تفکیک مکانی و زمانی داده‌شده با پیچیدگی‌های مختلف است. از طرفی روش جذب داده می‌تواند با در نظر گرفتن منابع مختلف عدم قطعیت و هم‌چنین ادغام مشاهدات و مقادیر پیش‌بینی‌شده از داده‌ها، در بهبود نتایج شبیه‌سازی مدل‌های هیدرولوژیکی مؤثر واقع شود. مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی امروزه با استفاده از منابع مختلف داده ازجمله محصولات دورسنجی، کالیبره و اعتبارسنجی می‌شوند. بدین منظور می‌توان از روش‌های جذب چندمتغیره برای کالیبراسیون آن‌ها استفاده کرد. با بررسی پژوهش‌های مختلف، مشاهده می‌شود که تحقیقاتی درزمینه‌ی جذب چندمتغیره با مدل MIKE SHE انجام‌شده است؛ اما نیازمند پژوهش‌های بیشتری نیز می‌باشد.

از طرفی مدل‌سازی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از مدل MIKE SHE توسط مهندسین جایکا[3] یکی از مهم‌ترین پروژه‌های انجام‌شده زیر نظر ستاد احیای دریاچه‌ی ارومیه و تنها مدل‌سازی هیدرولوژیکی توزیعی در این حوضه است. این مدل‌سازی با استفاده از رواناب رودخانه، تراز آب زیرزمینی و تبخیر-تعرق ماهواره‌ای، به‌صورت دستی واسنجی شده است؛ اما نتایج کالیبراسیون به‌دست‌آمده به دلیل استفاده از واسنجی دستی و عدم بهره‌مندی از منابع مختلف داده‌های ماهواره‌ای، رضایت‌بخش نبوده است. بنابراین در

[1] Uncertainty

[2] Data Assimilation

[3] Japan Internaatioanl Cooperation Agency (JICA)

تحقیق حاضر سعی می‌شود با استفاده از الگوریتم جذب داده، مشاهدات رواناب و درصد پوشش برفی ماهواره‌ای در مدل MIKE SHE جذب شوند تا بدین‌وسیله دقت مدل‌سازی موجود بهبود یابد. لازم به ذکر است که در پژوهش‌های انجام‌شده، جذب هم‌زمان مشاهدات رواناب و درصد پوشش برفی به چشم نمی‌خورد. درنتیجه لزوم تحقیق در این زمینه برای بررسی اثر جذب هم‌زمان رواناب و پوشش برفی بر روی نتایج مدل‌سازی مذکور احساس می‌شود.

۱-۳- بیان مسئله

قرارگیری دریاچهٔ ارومیه در آستانهٔ بحرانی زیست‌محیطی باعث تشکیل ستاد احیای دریاچه ارومیه، باهدف اعمال رویکردهای یکپارچه در مدیریت حوضه آبریز دریاچه و ارائه راهکارها، در تاریخ ۱۳۹۲/۰۷/۲۵ گردید. هدف این ستاد، تحقّق احیای دریاچهٔ ارومیه است که دارای سه دورهٔ «تثبیت»، «احیای دریاچهٔ ارومیه» و «احیای نهایی» می‌باشد. پروژه‌هایی از قبیل طرح‌های کوچک تأمین آب، تکمیل و تجهیز شبکه‌های اندازه‌گیری آب‌های سطحی و زیرزمینی و مطالعه و عملیات اجرای ایستگاه‌های هیدرومتری جهت پایش تخلیه به دریاچه‌ی ارومیه، توسط این ستاد اجرا می‌شود.

از طرفی مدل‌سازی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از مدل MIKE SHE توسط مهندسین جایکا یکی از مهم‌ترین پروژه‌های انجام‌شده زیر نظر ستاد احیای دریاچه‌ی ارومیه و تنها مدل‌سازی هیدرولوژیکی توزیعی در این حوضه است. این مدل‌سازی در طول سه سال در سه بخش شرق، غرب و جنوب حوضه‌ی آبریز دریاچه انجام‌شده و نهایتاً این سه بخش باهم ادغام گردیده است و خروجی مدل، تراز آب دریاچه را نشان می‌دهد (JICA، ۲۰۱۹). این مدل‌سازی با استفاده از رواناب رودخانه، تراز آب زیرزمینی و تبخیر-تعرق ماهواره‌ای، به‌صورت دستی واسنجی شده است؛ اما نتایج کالیبراسیون به‌دست‌آمده به دلیل استفاده از واسنجی دستی و عدم بهره‌مندی از منابع مختلف داده‌های ماهواره‌ای، رضایت‌بخش نبوده است. بنابراین می‌توان با به‌کارگیری تکنیک‌های کالیبراسیون خودکار و همچنین داده‌های مختلف زمینی و ماهواره‌ای، مدل‌سازی مذکور را هرچه بهتر واسنجی کرد.

در این تحقیق به‌منظور کالیبره کردن بخش کوچکی از زیر حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه که در قسمت بعد معرفی خواهد شد، از روش خودکار جذب داده استفاده می‌شود؛ زیرا این روش امکان واسنجی مدل را با به‌کارگیری مشاهدات جدید فراهم می‌کند. البته از بین منابع مختلف داده، تمرکز این پژوهش بر روی مشاهدات رواناب و درصد پوشش برفی ماهواره‌ی MODIS می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند انگیزه‌های به‌کارگیری روش مذکور را در خصوص کل حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه تبیین نماید.

۱-۴- روش تحقیق

در این پژوهش از روش جذب هم‌زمان داده‌های رواناب و درصد پوشش برفی، برای بهبود نتایج شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی و توزیعی MIKE SHE استفاده می‌شود. برای این منظور، الگوریتم ETKF[1] در محیط MATLAB برنامه‌نویسی شده و مدل مذکور در این محیط فراخوانی می‌شود. برای دستیابی به نتایج هرچه بهتر، پارامترهای تأثیرگذار مدل که با توجه به پژوهش‌های پیشین و هم‌چنین به روش سعی و خطا انتخاب شدند نیز در طول فرآیند جذب، کالیبره می‌شوند. به‌منظور بررسی اثربخشی جذب داده در فرآیند شبیه‌سازی، چهار سناریوی مختلف در نظر گرفته می‌شود. در سناریوی اول، مدل بدون جذب داده و بر اساس مقادیر اولیه‌ی پارامترها اجرا می‌شود. سناریوی دوم شامل جذب رواناب به‌تنهایی، سناریوی سوم شامل جذب درصد پوشش برفی به‌تنهایی و سناریوی چهارم شامل جذب توأمان رواناب و درصد پوشش برفی در مدل است. درنهایت نتایج حاصل از هر سناریو ازلحاظ دقت شبیه‌سازی، با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۱-۵- اهداف تحقیق

- ✓ به‌کارگیری جذب داده برای واسنجی مدل MIKE SHE مربوط به بخشی از حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از منابع مختلف داده‌های زمینی و ماهواره‌ای به منظور بهبود نتایج رواناب و درصد پوشش برفی

۱-۶- جنبه‌های نوآوری و مشارکت علمی

موارد ذیل را می‌توان جزء نوآوری‌های پیرامون این تحقیق نام برد:

- ✓ کالیبره کردن پارامترهای مهم مدل MIKE SHE مربوط به بخشی از حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه (بالادست ایستگاه بیطاس)
- ✓ جذب هم‌زمان مشاهدات رواناب و درصد پوشش برفی در مدل هیدرولوژیکی توزیعی MIKE SHE به‌منظور بهبود نتایج شبیه‌سازی

[1] Ensemble Transform Kalman Filter

۱-۷- ساختار پایان‌نامه

بعد از بیان کلیات پژوهش، اهداف و لزوم تحقیق در فصل اول، به بیان مبانی تحقیق شامل مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی، مفهوم جذب داده، الگوریتم‌های مختلف آن و پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه در فصل دوم می‌پردازیم. فصل سه شامل بیان مسئله، مورد مطالعاتی و روش تحقیق است. در فصل چهارم نتایج به‌تفصیل ارائه‌شده و بحث پیرامون آن‌ها انجام می‌شود. درنهایت جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها در فصل پنجم ارائه می‌شود.

فصل ۲:

مرور پیشینه و مبانی

۲-۱- مقدمه

مدل‌های هیدرولوژیکی به دلایل بهبود بخشیدن به درک ما از فرآیندهای هیدرولوژیکی، پیش‌بینی متغیرها و پارامترهای هیدرولوژیکی، ارزیابی اثرات اقدامات انسانی بر منابع آب و... توسعه‌یافته‌اند. در طول دهه‌های اخیر انواع مختلفی از مدل‌های هیدرولوژیکی توسط مهندسان و سیاست‌گذاران به‌منظور بهبود مدیریت حوضه‌ی آبریز و درک آن‌ها از سیستم‌های هیدرولوژیکی مورداستفاده قرارگرفته است (Bouda و همکاران، ۲۰۱۲). بااین‌حال به دلیل دخالت عمیق عدم قطعیت‌های ناشی از شرایط اولیه، ورودی‌ها و خروجی‌ها، مدل‌ها هم چنان غیردقیق باقی می‌مانند (Liu و همکاران، ۲۰۱۲). به دلیل ماهیت مفهومی بیشتر مدل‌های هیدرولوژیکی، جذب داده توانایی زیادی در بهبود پیش‌بینی مدل توسط به‌روزرسانی شرایط اولیه یا اصلاح پارامترهای مدل را داراست (Sun و همکاران، ۲۰۱۶). جذب داده یک روش توسعه‌یافته برای بهینه‌سازی است که در آن اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی‌های مدل و مشاهدات مستقل با یک رویکرد مناسب باهم ادغام می‌شوند (Liu و همکاران، ۲۰۱۲) که منجر به محاسبه‌ی عدم قطعیت مدل و مشاهدات شده و ابزار قدرتمندی برای بهبود دقت پیش‌بینی ضمن ارائه‌ی تخمین‌هایی از عدم قطعیت به‌حساب می‌آید (Moradkhani و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۲- مدل هیدرولوژیکی توزیعی

مدل‌های بارش-رواناب بر اساس ورودی و پارامترهای مدل و میزان قواعد فیزیکی اعمال‌شده در مدل طبقه‌بندی می‌شوند. مدل‌ها می‌توانند بر اساس پارامترهای مدل و تابعی از مکان به دودسته‌ی یکپارچه[1] و توزیعی تقسیم شوند (Beven، ۲۰۱۱). بر اساس گفته‌های Moradkhani و Sorooshian (۲۰۰۹) در مدل‌های یکپارچه، کل حوضه‌ی رودخانه به‌عنوان یک واحد تنها در نظر گرفته می‌شود که در آن از تنوع مکانی صرف‌نظر می‌شود و ازاین‌رو خروجی‌ها بدون در نظر گرفتن فرآیندهای مکانی تولید می‌شوند، درحالی‌که یک مدل توزیعی می‌تواند با تقسیم کل حوضه‌ی آبریز به واحدهای کوچک، معمولاً سلول‌های مربعی یا شبکه‌ی نامنظم مثلثی، پیش‌بینی‌هایی را تولید کند که در مکان توزیع‌شده‌اند، به‌طوری‌که پارامترها، ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌توانند ازنظر مکانی متفاوت باشند. یکی دیگر از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌های مدل‌ها عبارتنداز: مدل‌های تجربی، مدل‌های مفهومی و مدل‌های

[1] Lumped Model