

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به تو که آمدنت در تقاطع مهر و آبان، آیه‌ای شد بر مهر آبانی خدا.

ای آمده از عالم روحانی تفت

حیران شده در پنج و چهار و شش و هفت

می نوش ندانی ز کجا آمده‌ای

خوش باش ندانی به کجا خواهی رفت

خیام

در رهگذر زمان اگر "بنگری ز جهان چه طرف بربستم ؟ هیچ" پس در هیچ‌درهیچ این دنیا، هر چه در دستان خالی انسان است، لطفی از آن سوی آسمان‌ها. اگر نیک بنگری خللی نبینی که پروردگار چه ماهرانه حجت را از هر جهت بر انسان تمام کرده است. نعمت والدین، استاد و علم که همگی یک منشأ بیش ندارند و جملگی وسیله هستند برای تقرب به درگاهش. سلام بر پیامبر خاتم که خداوند بر زبان مبارکش بر مردم نازل نمود «یا ایها الذین آمنوا اتقوا الله و ابتغوا الیه الوسیله و جاهدوا فی سبیله لعلکم تفلحون».

\*\*\*

تقدیم به پدر و مادر عزیزم، معلم بزرگوار و ارجمندم آقای دکتر تجربی‌شی که استاد تمام بود در مهربانی و علم، او که به برکت حضورش، زندگی‌ام سرشار از اتفاق‌های خوب گردید. همچنین از آقای دکتر محمد آقایی و همه عزیزانی که نامشان را نمی‌برم اما لطفشان را در قلبم تا ابد حک نموده‌ام، قدر دانم.

مهدی اکبری

۱ آبان ۱۳۹۵



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی عمران

## پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

تعیین ضریب رواناب حوضه آبریز دریاچه ارومیه به کمک مدل های تجربی و  
فناوری سنجش ازدور (RS)

نگارنده

مهدی اکبری

استاد راهنما

مسعود تجریشی

استاد مشاور

پیمان آراسته

شهریور ۱۳۹۵

## چکیده

محاسبه رواناب برای حوضه‌های فاقد اندازه گیر<sup>۱</sup> یک چالش مهم برای محققین و برنامه‌ریزان حوضه منابع آب می‌باشد. محاسبه رواناب در واقع نقطه شروع بررسی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز می‌باشد، زیرا با مشخص نمودن این ترم مهم در معادله بیلان آبی می‌توان محاسبات لازم برای دیگر ترم‌های معادله بیلان مانند میزان تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی را پی‌ریزی نمود. لذا محاسبه ضریب رواناب به‌نوعی می‌تواند اولین گام در بررسی بیلان حوضه در ابعاد مختلف باشد.

هدف اصلی این پایان‌نامه به کار بردن و بررسی دقت مدل‌های تجربی همچون SCS-CN و Kennessey برای تولید نقشه ضریب رواناب حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع می‌باشد. مدل‌های تجربی که به کمک لایه‌های اطلاعاتی از جمله شیب زمین، کاربری اراضی و نفوذپذیری خاک و طی فرایندهای محاسباتی روی این اطلاعات، به محاسبه میزان رواناب تولیدی می‌پردازد.

در روش SCS-CN با دو مشخصه یعنی نفوذپذیری خاک منطقه (گروه هیدرولوژیکی خاک از نظر میزان نفوذ) و نوع کاربری اراضی و همچنین جداول موجود SCS، شاخص شماره منحنی به دست می‌آید. در نهایت با استفاده از روابط موجود، میزان رواناب تولیدی با توجه به شماره منحنی زیر حوضه‌ها محاسبه می‌شود. به‌طور مشابه در روش Kennessey نیز با بررسی شیب، نفوذپذیری خاک و کاربری اراضی، ضرایبی به مناطق اختصاص داده می‌شود که حاصل جمع این ضرایب برابر ضریب رواناب نهایی هر زیر حوضه است.

یکی از اهداف مهم این تحقیق، مقایسه میزان رواناب سالانه محاسبه‌شده از روش‌های گوناگون و رواناب ثبت‌شده مشاهداتی در زیر حوضه‌های منتخب از حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. مبنای انتخاب زیر حوضه منتخب قرار داشتن آن‌ها در سرشاخه رودها و همچنین عدم برداشت زیاد در این نواحی است. دلیل اعمال این دو محدودیت در انتخاب زیر حوضه این است که بتوان رواناب ثبت‌شده را بدون مداخله و برداشت انسانی به میزان بارش نازل شده مرتبط و مدل را با رفتار طبیعی منطقه کالیبره نمود. با این اقدام همچنین می‌توان نسبت به دقت محاسبات روش به‌کاربرده شده دید کمی پیدا کرده و در صورت خطای زیاد محاسبات به اصلاح روش پرداخته و اصطلاحاً آن را برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه منطقه‌ای نمود.

حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارای یک مشخصه مهم بوده و آن هموار شدن سطح و در پی آن پخش آب در نواحی نزدیک دریاچه می‌باشد. این خصوصیت، ثبت آمار در این نواحی را مشکل می‌نماید. البته در حاشیه

---

<sup>۱</sup> Ungauged Basins

حوضه به دلیل شیب مناسب، آبراهه به‌طور مجزا ایجاد و به‌سادگی امکان تعبیه ایستگاه هیدرومتری برای ثبت داده وجود دارد؛ لذا می‌توان ادعا نمود در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در نواحی نزدیک دریاچه، با زیر حوضه‌های فاقد اندازه‌گیر مواجه هستیم و برای داشتن دید کمی نسبت به میزان رواناب تولیدی در این نواحی با مشکل مهم روبرو هستیم؛ چراکه از قضا اکثر استفاده‌کنندگان آب از نواحی نزدیک دریاچه، آب برداشت می‌کنند. برای حل این مسئله در تحقیق حاضر، به کمک داده‌های ثبت‌شده موجود در زیر حوضه‌های حاشیه حوضه آبریز دریاچه ارومیه، رواناب محاسبه‌شده از روش SCS-CN و Kennessey دقت سنجی شده و روش برتر بین این دو به‌عنوان مدل نهایی منتخب، وارد فرایند بومی‌سازی می‌شود. در نهایت، به کمک تغییرات صورت گرفته در پیش‌فرض‌های مدل منتخب، می‌توان مسئله میزان رواناب تولیدی به دلیل عدم وجود داده در زیر حوضه‌های مرکزی نزدیک دریاچه را برطرف نمود؛ چراکه با زیر حوضه‌های دارای آمار ثبت‌شده، دقت مدل تولید رواناب بالا رفته و در مناطق فاقد آمار، رواناب با مدل‌سازی محاسبه خواهد شد. این‌گونه حل مسئله گام مهمی در رسیدن به دقیق‌ترین جواب برای زیر حوضه‌های مرکزی است.

گام زمانی بررسی در این پایان‌نامه برای تعیین ضریب رواناب به‌صورت سالانه می‌باشد. بین دو روش SCS-CN و Kennessey روش Kennessey در محاسبه مقادیر سالانه رواناب دقیق‌تر بوده و روش SCS-CN در گام‌های زمانی کوچک‌تر مانند روزانه دقت بالاتری دارد. حتی روش استاندارد Kennessey در حوضه آبریز دریاچه ارومیه خطای بالایی داشته ولی پس از کالیبره شدن تحت سناریوهای مختلف به میزان قابل‌توجهی دقت آن بالا رفت. میانگین خطای حالت استاندارد مدل مذکور برای سال‌های بررسی این تحقیق تحت سناریو دقیق‌تر برابر ۱۳۵ درصد (حاصل تقسیم شاخص RMSE به میانگین داده‌های مشاهداتی) بوده، در حالی که پس از کالیبره شدن این مقدار به‌اندازه ۷۰ درصد کاهش یافته و به ۶۵ درصد رسید. همچنین میزان correlation بین مقادیر ضریب رواناب مدل‌سازی و مقادیر مشاهداتی از ۲۰ درصد در حالت استاندارد مدل به ۵۰ درصد در سال‌های صحت‌سنجی مدل کالیبره شده تحت سناریو دوم افزایش یافت.

**کلمات کلیدی فارسی:** ضریب رواناب، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش از دور (RS)، حوضه

آبریز دریاچه ارومیه، SCS-CN، Kennessey

# فهرست

- ۱- فصل اول: پیشگفتار ..... ۱
- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۲-۱- تعریف مسئله و هدف تحقیق ..... ۳
- ۳-۱- معیار انتخاب روش تحقیق ..... ۵
- ۴-۱- مراحل انجام تحقیق ..... ۵
- ۵-۱- سؤالات تحقیق ..... ۷
- ۶-۱- دامنه و فرضیات تحقیق ..... ۷
- ۷-۱- مرور بر مطالب فصل ها ..... ۸
- ۲- فصل دوم: مرور بر ادبیات موضوع ..... ۹
- ۱-۲- مقدمه ..... ۱۰
- ۲-۲- کلیات روش های تجربی مدل سازی ضریب رواناب ..... ۱۰
- ۱-۲-۲- مروری بر تحقیقات صورت گرفته روی مدل سازی رواناب ..... ۱۱
- ۲-۲-۲- مروری بر تحقیقات صورت گرفته روی محاسبه بارش ..... ۱۸
- ۳- فصل سوم: معرفی منطقه مورد مطالعه ..... ۲۱
- ۱-۳- منطقه مورد مطالعه ..... ۲۲
- ۱-۱-۳- آب و هوا و اقلیم ..... ۲۵
- ۲-۱-۳- خاک شناسی ..... ۲۵
- ۳-۱-۳- وضعیت منابع و مصارف ..... ۲۶
- ۴- فصل چهارم: روش شناسی ..... ۲۹
- ۱-۴- مقدمه ..... ۳۰
- ۲-۴- روش های محاسبه بارش ..... ۳۰
- ۱-۲-۴- روش درون یابی *Kriging* ..... ۳۰
- ۲-۲-۴- روش درون یابی *Co-Kriging* ..... ۳۲
- ۳-۲-۴- ریزمقیاس کردن ماهواره *TRMM* با استفاده از شاخص *NDVI* ..... ۳۳
- ۴-۲-۴- ریزمقیاس کردن با استفاده مدل رقوم ارتفاعی ..... ۳۳
- ۳-۴- روش های مدل سازی رواناب ..... ۳۳
- ۱-۳-۴- روش *SCS-CN* ..... ۳۳
- ۲-۳-۴- روش *Kennesey* ..... ۳۶

|    |  |
|----|--|
| ۳۷ | ۴-۴- الگوریتم بهینه‌سازی                                   |
| ۴۲ | ۴-۴-۱- الگوریتم ژنتیک                                      |
| ۴۸ | ۴-۵- منابع داده  |
| ۴۸ | ۴-۵-۱- داده‌های زمینی بارش و رواناب                        |
| ۴۹ | ۴-۵-۲- داده ماهواره بارش TRMM                              |
| ۴۹ | ۴-۵-۳- داده ماهواره مدل رقوم ارتفاعی SRTM                  |
| ۴۹ | ۴-۵-۴- داده ماهواره‌ای NDVI و کاربری اراضی از سنجنده MODIS |
| ۵۰ | ۴-۶- معیار ارزیابی دقت روش‌های محاسباتی                    |

## ۵- فصل پنجم: نتایج ..... ۵۲

|     |   |
|-----|---|
| ۵۳  | ۵-۱- مقدمه  |
| ۵۳  | ۵-۲- انتخاب زیر حوضه‌های منتخب و جداسازی دبی رودخانه                  |
| ۵۳  | ۵-۲-۱- بررسی هیدروگراف‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های هیدرومتری          |
| ۶۶  | ۵-۳- محاسبه بارش  |
| ۶۷  | ۵-۳-۱- بررسی کیفیت داده‌های بارش                                      |
| ۶۹  | ۵-۳-۲- ارائه نتایج محاسبات بارش                                       |
| ۷۶  | ۵-۳-۳- بررسی اثر ارتفاع ایستگاه ثبت بارش روی خط محاسبات               |
| ۱۰۰ | ۵-۳-۴- بررسی اثر حذف اکسترمم‌های سری داده‌های ثبت بارش روی خط محاسبات |
| ۸۴  | ۵-۴- روش‌های مختلف مدل‌سازی رواناب                                    |
| ۱۴  | ۵-۴-۱- نتایج مدل‌سازی در روش استاندارد SCS                            |
| ۱۷  | ۵-۴-۲- نتایج مدل‌سازی در روش استاندارد Kennessey                      |
| ۹۳  | ۵-۴-۳- انتخاب روش بین SCS-CN و Kennessey                              |
| ۹۴  | ۵-۴-۴- تحلیل نتایج روش SCS-CN   |
| ۹۵  | ۵-۵- مدل‌سازی رواناب با روش برتر KENNESSEY                            |
| ۹۵  | ۵-۵-۱- سناریو اول   |
| ۱۰۰ | ۵-۵-۲- تحلیل نتایج کالیبراسیون مدل Kennessey تحت سناریو ۱             |
| ۱۰۹ | ۵-۵-۳- سناریو دوم   |
| ۱۱۶ | ۵-۵-۴- تحلیل نتایج کالیبراسیون مدل Kennessey تحت سناریو ۲             |

## ۶- فصل ششم: جمع‌بندی و ارائه پیشنهاد ..... ۱۲۵

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| ۱۲۶ | ۶-۱- جمع‌بندی             |
| ۱۲۸ | ۶-۲- پاسخ به سوالات تحقیق |
| ۱۲۹ | ۶-۳- ارائه پیشنهادها      |
| ۱۳۲ | مراجع                     |

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- محدوده فاقد آمار ثبت شده از رواناب تولیدی در اثر بارش ..... ۳
- شکل ۱-۳- حوضه های اصلی و موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه در کشور ایران ..... ۲۲
- شکل ۲-۳- رودهای منتهی به دریاچه ارومیه و میزان کاهش آورد آنها (ستاد احیا دریاچه ارومیه، ۱۳۹۳) ..... ۲۳
- شکل ۳-۳- عکس ماهواره ای از روند خشک شدن دریاچه ارومیه (سمت چپ: دهه ۷۰ و سمت راست: دهه ۹۰ شمسی) ..... ۲۴
- شکل ۴-۳- تقسیم نوع خاک استان های آذربایجان شرقی و غربی به بافت سبک، نیمه سنگین و سنگین (منبع: موسسه تحقیقات خاک و آب ایران، ۱۳۹۵) ..... ۲۶
- شکل ۵-۳- نقشه جهانی نوع خاک FAO و نقشه خاک حوضه آبریز دریاچه ارومیه به تفکیک گروه هیدرولوژیکی ..... ۲۶
- شکل ۶-۳- روند تغییرات بارندگی مؤثر در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ..... ۲۷
- شکل ۷-۳- مقایسه حجم برداشت از منابع آب در بخش های مختلف فعالیت در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ..... ۲۸
- شکل ۱-۴- فلوجارت گامهای تولید ضریب رواناب ..... ۳۱
- شکل ۲-۴- نمونه نیم متغیر نما ..... ۳۲
- شکل ۳-۴- نمایش رابطه بین شماره منحنی و رواناب تولیدی ..... ۳۴
- شکل ۴-۴- مثالی از بهینگی Pareto در فضای هدف (تصویر سمت چپ) و ارتباط بین جواب های در فضای هدف (سمت راست) ..... ۴۰
- شکل ۵-۴- نمایش ژنوتیپ و فنوتیپ ..... ۴۴
- شکل ۶-۴- جابجایی چند نقطه ..... ۴۶



- شکل ۴-۷ - فلوچارت الگوریتم ژنتیک ..... ۴۷
- شکل ۴-۸ - تقسیم ایستگاه‌های ثبت بارش به نسبت ۷۰ درصد (برای درون‌یابی) سمت چپ به ۳۰ درصد (برای صحت‌سنجی) سمت راست ..... ۴۹
- شکل ۴-۹ - نقشه DEM (سمت راست) و NDVI (سمت چپ) حوضه آبریز دریاچه ارومیه .... ۵۰
- شکل ۵-۱ - تمامی زیر حوضه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز دریاچه ارومیه ..... ۵۴
- شکل ۵-۲ - زیر حوضه‌ها منتخب حوضه آبریز دریاچه ارومیه و محل ایستگاه هیدرومتری در خروجی آن‌ها ..... ۵۴
- شکل ۵-۳ - هیدروگراف (آبی‌رنگ) و دبی پایه (قرمز رنگ) در ایستگاه‌های هیدرومتری زیر حوضه‌های منتخب حوضه آبریز دریاچه ارومیه - واحد محور قائم cms و واحد محور افقی شماره روز ..... ۶۴
- شکل ۵-۴ - سری زمانی بارش در ایستگاه کلب رضاخان ..... ۶۸
- شکل ۵-۵ - سری زمانی بارش در ایستگاه پیه چیک ..... ۶۸
- شکل ۵-۶ - بارش سالانه محصول (۳B۴۳) TRMM (راست) و درون‌یابی kriging با بارش ایستگاه‌های زمینی (چپ) ..... ۷۰
- شکل ۵-۷ - مقایسه تخمین ماهواره TRMM (mm/year) و داده‌های ثبت‌شده ایستگاه‌های سازمان هواشناسی ایران در سال ۲۰۰۷ ..... ۷۰
- شکل ۵-۸ - رابطه بین NDVI و بارش ماهواره TRMM (چپ) رابطه بین DEM و بارش ماهواره TRMM ..... ۷۲
- شکل ۵-۹ - لایه ریزمقیاس شده بارش ماهواره TRMM به کمک DEM (چپ) نقشه بارش بهترین درون‌یابی روش co-kriging ..... ۷۳
- شکل ۵-۱۰ - بارش سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه (میلی‌متر) ..... ۷۵
- شکل ۵-۱۱ - نمودار هیپسومتری و تعداد ایستگاه‌های ثبت بارش در هر کلاس ارتفاعی ..... ۷۷
- شکل ۵-۱۲ - خطا مطلق در ایستگاه‌های باران‌سنجی در مقایسه با موقعیت ارتفاعی آن‌ها در سال آبی ۸۸-۸۹ ..... ۷۸

- شکل ۵-۱۳- نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال‌های مختلف ..... ۸۵
- شکل ۵-۱۴- مثلث بافت خاک USDA ..... ۸۵
- شکل ۵-۱۵- گروه هیدرولوژیکی خاک حوضه آبریز دریاچه ارومیه پس از پردازش نقشه جهانی FAO ..... ۸۶
- شکل ۵-۱۶- نقشه شماره منحنی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۲۰۰۶ ..... ۸۶
- شکل ۵-۱۷- نقشه ضریب رواناب حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال آبی ۲۰۰۶ از روش SCS-CN ..... ۸۷
- شکل ۵-۱۸- نقشه ضریب رواناب برای سال آبی ۲۰۰۶ از روش SCS-CN در زیر حوضه‌های منتخب دریاچه ارومیه ..... ۸۷
- شکل ۵-۱۹- نقشه شیب و نفوذپذیری حوضه آبریز دریاچه ارومیه ..... ۸۹
- شکل ۵-۲۰- مقایسه محل آبخوانهای حوضه و نقشه قابلیت نفوذ مرکز سنجش‌ازدور دانشگاه شریف ..... ۹۰
- شکل ۵-۲۱- نقشه Ia حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال ۲۰۰۶ ..... ۹۰
- شکل ۵-۲۲- میزان دخالت انسانی در هر یک از زیر حوضه‌های منتخب حوضه آبریز دریاچه ارومیه (آماربرداری وزارت نیرو-۱۳۸۸) ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۲۳- نتایج کالیبراسیون و صحت سنجی حاصل از سناریو اول ..... ۱۰۱
- شکل ۵-۲۴- رابطه بین ارتفاع میانگین زیر حوضه‌ها و میانگین مطلق خطای بین ضریب رواناب مدل‌سازی و مشاهده ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۵- نحوه پراکندگی مکانی خطا (اختلاف بین ضریب رواناب مدل‌سازی در سناریو ۱ و مشاهداتی) ..... ۱۰۷
- شکل ۵-۲۶- ضریب رواناب مشاهداتی و ضریب رواناب مدل‌سازی در حالت Kennessey کالیبره شده تحت سناریو ۲ در سالهای کالیبراسیون و صحت سنجی ..... ۱۱۸
- شکل ۵-۲۷- رسم هیستوگرام خطا در سالهای کالیبراسیون تحت سناریو ۲ ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۲۸- رسم هیستوگرام خطا در سالهای صحت سنجی تحت سناریو ۲ ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۲۹- رسم هیستوگرام خطا در سالهای صحت سنجی و کالیبراسیون تحت سناریو ۲ ..... ۱۲۲

شکل ۵-۳۰- نحوه پراکندگی مکانی خطا) اختلاف بین ضریب رواناب مدل‌سازی در سناریو ۲ و

مشاهداتی).....۱۲۳

شکل ۵-۳۱- نقشه ضریب رواناب کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال ۲۰۰۶ میلادی.....۱۲۴

## فهرست جداول

- جدول ۱-۳- مشخصات زیر حوضه‌های حوضه دریاچه ارومیه..... ۲۴
- جدول ۲-۳- توزیع درصد بارش فصلی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه..... ۲۵
- جدول ۳-۳- حجم برداشت از منابع آب در بخش‌های مختلف حوضه آبریز دریاچه ارومیه برحسب میلیون مترمکعب(منبع: ستاد احیا دریاچه ارومیه، ۱۳۹۳)..... ۲۸
- جدول ۱-۴- انواع گروه هیدرولوژیکی خاک در روش شماره منحنی SCS..... ۳۴
- جدول ۲-۴- مقادیر شماره منحنی. منبع: (۱۹۷۲) Soil Conservation Service-chp.۹..... ۳۵
- جدول ۳-۴- ضرایب رواناب جزئی برای کلاس‌های مختلف در روش Kennessey..... ۳۶
- جدول ۴-۴- نحوه دسته‌بندی نوع خاک به کلاس‌های موردنظر روش Kennessey از نظر نفوذپذیری... ۳۷
- جدول ۱-۵- ضرایب رواناب و ضریب تغییرات ضرایب رواناب ایستگاههای منتخب در سال آبی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰..... ۶۵
- جدول ۲-۵- ایستگاه ثبت بارش و ماه متناظر ثبت داده غلط..... ۶۸
- جدول ۳-۵- جداسازی داده صفر از سلول با داده ثبت‌نشده..... ۶۹
- جدول ۴-۵- انواع حالت‌های مورد آزمون در روش..... ۷۲
- جدول ۵-۵- وضعیت آبی سال‌های موردبررسی در مطالعه..... ۷۴
- جدول ۶-۵- خطای تولیدشده در تمامی روش‌های بررسی شده..... ۷۴
- جدول ۷-۵- خطای روش‌های متفاوت در سال‌های مختلف..... ۷۶
- جدول ۸-۵- میانگین بارش سالانه در کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه(میلی متر در سال) بر اساس درونیابی Co-Kriging..... ۷۶
- جدول ۹-۵- خطای روش‌های متفاوت در سال‌های مختلف..... ۷۸
- جدول ۱۰-۵- خطا در تمامی ایستگاههای صحت سنجی در سال آبی ۸۸-۸۹ و ارتفاع ایستگاه با توجه به DEM..... ۷۹
- جدول ۱۱-۵- نتایج محاسبات بارش پس از حذف ایستگاههای با خطای زیاد..... ۸۰

- جدول ۵-۱۲- میزان بارش مشاهداتی و حاصل از محاسبات بارش به همراه اختلاف بین این دو مقدار در ایستگاههای صحت سنجی سال ۲۰۰۷..... ۸۱
- جدول ۵-۱۳- میزان بارش مشاهداتی و حاصل از محاسبات بارش به همراه اختلاف بین این دو مقدار در ایستگاههای صحت سنجی سال ۲۰۰۹..... ۸۲
- جدول ۵-۱۴- میزان بارش مشاهداتی و حاصل از محاسبات بارش به همراه اختلاف بین این دو مقدار در ایستگاههای صحت سنجی سال ۲۰۱۰..... ۸۳
- جدول ۵-۱۵- تبدیل بافت خاک به گروه هیدرولوژیکی ..... ۸۴
- جدول ۵-۱۶- تقسیم‌بندی کیفی نفوذپذیری حوضه آبریز ارومیه با توجه به اطلاعات سنگ‌شناسی ۸۸
- جدول ۵-۱۷- اطلاعات Ia و بارش میانگین حوضه‌های منتخب ..... ۹۱
- جدول ۵-۱۸- ضریب رواناب محاسبه‌شده زیر حوضه‌های منتخب از روش Kennessey در سال ۲۰۰۶..... ۹۲
- جدول ۵-۱۹- مقایسه ضرایب رواناب محاسباتی از روش SCS-CN و Kennessey با مقادیر مشاهداتی و ارائه شاخص خطا RMSE برای سال ۲۰۰۶..... ۹۳
- جدول ۵-۲۰- متغیرهای تصمیم در بهینه‌سازی روش Kennessey در سناریو ۱ ..... ۹۶
- جدول ۵-۲۱- نتایج بهینه‌سازی در سناریو اول ..... ۹۶
- جدول ۵-۲۲- نتایج کالیبراسیون و صحت سنجی تحت سناریو ۱ ..... ۹۸
- جدول ۵-۲۳- درصد خطا در سالهای مختلف تحت سناریو ۱ ..... ۱۰۰
- جدول ۵-۲۴- شاخص correlation در سال‌های کالیبراسیون و صحت سنجی ..... ۱۰۱
- جدول ۵-۲۵- مقایسه نتایج سناریو ۱ و ضرایب جزئی استاندارد روش kennessey ..... ۱۰۲
- جدول ۵-۲۶- ویژگی زیر حوضه‌ها و خطا مطلق بین ضرایب رواناب مشاهداتی و مدل ..... ۱۰۳
- جدول ۵-۲۷- درصد حضور کلاسهای مختلف کاربری اراضی با توجه به لایه اطلاعاتی MODIS ..... ۱۰۶
- جدول ۵-۲۸- میزان برداشت از منابع آب سطحی در مقایسه با رواناب مستقیم تولیدی هر سال در تمامی زیرحوضه‌های منتخب ..... ۱۱۰

- جدول ۵-۲۹- شاخص Ia زیر حوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه ..... ۱۱۲
- جدول ۵-۳۰- میانگین بارندگی در سال‌های موردبررسی و بازه تغییرات Ia در هر سال ..... ۱۱۳
- جدول ۵-۳۱- متغیرهای تصمیم در بهینه‌سازی روش Kennessey در سناریو ۲ ..... ۱۱۳
- جدول ۵-۳۲- نتایج مدل کالیبره شده Kennessey تحت سناریو ۲ در سالهای صحت سنجی ..... ۱۱۴
- جدول ۵-۳۳- نتایج مدل کالیبره شده Kennessey تحت سناریو ۲ در سالهای کالیبراسیون ..... ۱۱۵
- جدول ۵-۳۴- میزان ضریب رواناب مشاهداتی، شاخص RMSE و درصد خطا در سالهای مختلف مدل Kennessey استاندارد در زیرحوضه‌های سناریو ۲ ..... ۱۱۶
- جدول ۵-۳۵- میزان ضریب رواناب مشاهداتی، شاخص RMSE و درصد خطا در سالهای مختلف مدل Kennessey کالیبره شده تحت سناریو ۲ ..... ۱۱۶
- جدول ۵-۳۶- نتایج حاصل از ضرایب رواناب جزئی پس از کالیبراسیون مدل Kennessey تحت سناریو ۲ ..... ۱۱۷
- جدول ۵-۳۷- مشخصات خطا در سالهای کالیبراسیون تحت سناریو ۲ ..... ۱۲۰
- جدول ۵-۳۸- مشخصات خطا در سالهای صحت سنجی تحت سناریو ۲ ..... ۱۲۱
- جدول ۵-۳۹- مشخصات خطا در سالهای صحت سنجی و کالیبراسیون تحت سناریو ۲ ..... ۱۲۲

# ۱- فصل اول: پیشگفتار

تعیین ضریب رواناب برای یک حوضه آبریز یکی از مسائل مهم در علم هیدرولوژی است، زیرا یکی از ترم‌های مهم در نوشتن معادله بیلان، نحوه تولید رواناب و تفکیک آن از دبی پایه است و نهایتاً محاسبه میزان نفوذ به آب‌های زیرزمینی نیازمند تعیین رواناب حوضه می‌باشد. همچنین داشتن دید مناسب و دقیق نسبت به رواناب حوضه قطعاً به مدیریت مناسب‌تر منابع آب موجود یاری می‌رساند.

بارش به‌عنوان یک پدیده مهم، عموماً در چرخه هیدرولوژیکی به سه مؤلفه تبدیل می‌گردد: (۱) امکان دارد قبل از رسیدن به زمین و یا در مسیر حرکت خود روی زمین تبخیر گردد، (۲) در اثر وجود خلل و فرج خاک غیراشباع به زمین نفوذ کند و (۳) اینکه پس از اشباع نمودن خاک منطقه، به رواناب‌های سطحی تبدیل گردد. پس می‌توان به این نکته اذعان کرد که محاسبه رواناب حوضه‌های آبریز یکی از مهم‌ترین بررسی‌ها در رسیدن به نگاه مهندسی و مناسب برای مدیریت صحیح منابع موجود و محدود آبی و همچنین سنجیدن میزان تغییرات ذخایر آب زیرزمینی می‌باشد.

خطر کمیاب شدن آب به دلیل افزایش روزافزون جمعیت و وجود منابع محدود آب سال‌هاست که نگرانی سیاست‌گذاران ارشد و محققان دنیا را به دنبال داشته است. طبق گزارش مندرج در سالنامه آماری سال ۲۰۱۴ سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO)<sup>۱</sup>، سرانه آب در دسترس در خاورمیانه و شمال آفریقا ۱۰۵۰ مترمکعب در سال است و طبق برآوردهای انجام‌شده، این مقدار تا سال ۲۰۵۰ نصف خواهد شد. در این راستا باید اهمیت ویژه‌ای به بحث مدیریت منابع آبی اختصاص داد. طبق گزارش سالنامه آماری این سازمان که در سال ۲۰۱۴ منتشر شده است، سرانه منابع آب در ایران از مقدار ۲۵۰۶ مترمکعب در سال ۱۹۹۰ به ۲۱۰۴ مترمکعب در سال ۲۰۰۰ و ۱۸۵۹ مترمکعب در سال ۲۰۱۰ رسیده است. روند رو به کاهش سرانه آب (که حاصل از رشد جمعیت و کاهش بارندگی در ایران است)، خطر کمیابی منابع آب در آینده را جدی‌تر می‌کند.

کمی نمودن میزان تبدیل بارش به رواناب یک امر اجتناب‌ناپذیر و مهم برای مدیریت صحیح رواناب‌ها می‌باشد. تولید نقشه ضریب رواناب<sup>۲</sup> برای مناطق مختلف حوضه آبریز دریاچه ارومیه، هدف اصلی این تحقیق است. با محاسبه ضریب رواناب برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مقدمات برآورد بیلان آبی و اثرات بارش روی آب‌های زیرزمینی مهیا می‌شود. انتظار می‌رود با بکار بردن روش مناسب و منطبق با خصوصیات حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مقادیر محاسبه‌شده از روش تجربی را به مقادیر رواناب تولیدی از بارش و ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری نزدیک و در نهایت با دقت مناسبی نقشه ضریب رواناب هر زیر حوضه تولید گردد.

<sup>۱</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations

<sup>۲</sup> Runoff Coefficient Map



## ۱-۲- تعریف مسئله و هدف تحقیق

در محدوده مورد بررسی این تحقیق یک ویژگی تأثیرگذار وجود دارد و آن نحوه تغییر شیب حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. در کناره‌های حوضه دریاچه ارومیه شیب به گونه می‌باشد که آبراهه‌ها به‌طور مجزا تولید می‌گردند؛ لذا با تعبیه ایستگاه هیدرومتری امکان سنجش رواناب حاصل از بارش و دبی پایه رودها وجود دارد ولی با نزدیک شدن به دریاچه، به دلیل هموارتر شدن منطقه حتی بستن مرز مشخص و تعیین نقطه خروجی برای زیر حوضه کار مشکلی می‌شود چراکه آبراهه‌ها در مناطق نزدیک دریاچه در سطح پخش می‌شوند و اصولاً از لحاظ عملی امکان سنجش و قرار دادن ایستگاه‌های اندازه‌گیری در این محدوده هموار وجود ندارد و به عبارتی بهتر در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با ناحیه فاقد آمار ثبت‌شده از رواناب تولیدی در اثر بارش روبرو هستیم که در شکل ۱-۱ در اطراف دریاچه ارومیه (با مرز پررنگ‌تر) نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱- محدوده فاقد آمار ثبت‌شده از رواناب تولیدی در اثر بارش

به دلیل خصوصیات منطقه که شرح آن در بالا بیان شد، در محدوده فاقد آمار برای اندازه‌گیری رواناب با مسئله‌ای مواجه هستیم. در جهت رفع این مسئله به‌عنوان نوآوری، می‌توان ضریب رواناب را برای زیر

حوضه‌های حاشیه‌ای به وسیله داده‌های ثبت شده توسط ایستگاه‌های هیدرومتری محاسبه نمود. سپس به کمک روش‌های مختلف موجود رواناب تولیدی در این زیر حوضه‌ها را به کمک مدل‌سازی تخمین زد و با نتایج اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری مقایسه و دقت مدل‌سازی را به صورت کمی گزارش نمود. نهایتاً با بالا بردن دقت مدل‌سازی از طریق بومی‌سازی روش محاسباتی به یک مدل دقیق‌تر رسید و از آن برای محاسبه ضریب رواناب در زیر حوضه‌های مرکزی که در آن‌ها داده‌ای از دبی رودها وجود ندارد، استفاده نمود.

زیر حوضه‌های حاشیه‌ای حوضه آبریز دریاچه ارومیه دو مشخصه مهم دارند: ۱) عموماً از عوامل انسانی تأثیر نگرفته‌اند (دست‌نخورده‌اند)، ۲) به دلیل وجود شیب مناسب، رودها در آن‌ها مجزا تشکیل می‌شوند و امکان تعیبه ایستگاه‌های هیدرومتری برای ثبت داده وجود دارد. این گونه حل نمودن مسئله فقدان داده ثبت شده برای رواناب در زیر حوضه‌های مرکز در حوضه آبریز دریاچه ارومیه دقیق‌ترین روش با توجه به امکانات و محدودیت‌های موجود می‌باشد، چراکه با مشابهت‌سازی بین زیر حوضه‌های حاشیه‌ای (دارای آمار) با زیر حوضه‌های مرکزی و نزدیک دریاچه (فاقد آمار) به دقیق‌ترین مدل محاسباتی می‌توان رسید.

روش‌های متفاوتی می‌توانند با برهم‌نهی چندلایه سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ضریب رواناب را به صورت تجربی محاسبه کنند؛ مثل (Kennessey ۱۹۳۰) که تنها با لحاظ نمودن شیب، پوشش گیاهی و قابلیت نفوذپذیری خاک منطقه ضریب رواناب را محاسبه می‌نماید یا روش منطقی (Rational) که برای مناطق شهری میزان رواناب تولیدشده را با مدل محاسبه و همچنین روش SCS-CN (۱۹۷۲) که توسط Soil Conservation Service ارائه گردیده و به طور نیمه تجربی با لحاظ نمودن گروه هیدرولوژیکی خاک، نوع کاربری اراضی منطقه و محاسبات ساده مدل‌سازی را توسعه می‌دهد.

یکی از داده‌های مهم در روش‌های محاسبه ضریب رواناب، تعیین قابلیت نفوذپذیری خاک است. نوآوری صورت گرفته در این پایان‌نامه، نحوه تعیین گروه هیدرولوژیکی خاک کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه (از نظر قابلیت نفوذ) است. گروه هیدرولوژیکی خاک در غالب بررسی‌های داخلی و بین‌المللی صورت گرفته به کمک نفوذسنج‌های DRI<sup>۱</sup> به دست آمده‌اند، زیرا محدوده موردبررسی این تحقیقات کوچک بوده است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه به دلیل مساحتی برابر ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع و نیاز به هزینه و وقت زیاد، امکان به کار بردن نفوذسنج وجود ندارد. نوآوری صورت گرفته در این بررسی استفاده از نقاط مثبت حوضه از نظر داشتن داده ثبت شده برای رفع نقیصه حوضه یعنی عدم امکان ثبت داده در نواحی نزدیک دریاچه است. سعی شده است تا از تمام امکانات حوضه آبریز به نفع بالا بردن دقت محاسبات در مناطق فاقد آمار بهره برد؛ زیرا مناطق فاقد آمار

---

۱ Double Ring Infiltrometer

از نظر مدیریت منابع آب و میزان اثرگذاری آنها روی تغذیه آبخوان از اهمیت بالایی برخوردارند و بیشتر استفاده‌ها از منابع آب سطحی و زیرزمینی در این نواحی‌اند؛ لذا باید به دقیق‌ترین روش ممکن میزان ضریب رواناب آنها تعیین گردد.

### ۱-۳- معیار انتخاب روش تحقیق

یکی از هدف‌های مهم در انتخاب روش مدل‌سازی، قدرت انعطاف و بومی‌شدن روش مورد استفاده است. با توجه به روش‌های تجربی مشابه در محاسبه ضریب رواناب مانند Rational ، SCS-CN ، و... روشی مورد استفاده قرار گرفته است که: (۱) قابلیت بومی شدن و انعطاف‌پذیری را داراست و اصطلاحاً درجه آزادی بیشتری در مدل‌سازی دارد و (۲) با توجه به هدف تحقیق حاضر در تعیین ضریب رواناب سالانه، از دقت مدل‌سازی بالاتری برخوردار است. بی‌شک مقیاس زمانی تحقیق حاضر در انتخاب روش بی‌تأثیر نخواهد بود چرا برخی مدل‌سازی‌های تجربی در مقیاس محاسبه رواناب با بارش event-base و برخی دیگر در محاسبه رواناب با مقیاس بزرگ‌تر ماهانه یا سالانه قابلیت‌های بهتری دارند. برای دریافتن رجحان مدل برگزیده ابتدا روش Kennessey و SCS-CN برای یک سال مشخص استفاده گشته و سپس با توجه به دقت سنجی صورت گرفته، روش برتر انتخاب شده و برای سال‌های دیگر مورد بررسی این تحقیق، روش برگزیده بومی‌سازی و کالیبره گشته است.

### ۱-۴- مراحل انجام تحقیق

بی‌شک رسیدن به روش دقیق محاسبه رواناب نیازمند داشتن لایه اطلاعاتی با دقت بالا از نحوه توزیع زمانی بارش است. تمامی مدل‌های تجربی و یا محاسباتی محاسبه رواناب، مبتنی بر بارش منطقه مورد مطالعه می‌باشند. در تحقیق حاضر با تلفیق تکنولوژی سنجش از دور (RS) با داده‌های زمینی و آزمودن بیش از ۱۰ روش مختلف، لایه بارش کل حوضه محاسبه گشته و سپس فرایند مدل‌سازی رواناب در پیش گرفته شده است.

در ابتدا با استفاده از داده‌های بارش ماهواره TRMM و تلفیق آن با داده‌های زمینی ثبت شده از بارش و همچنین استفاده از نحوه تغییرات ارتفاعی، در روش زمین‌آمار kriging و انواع آن مانند co-kriging، چندین روش مختلف با فرضیات متفاوت برای تولید لایه بارش مورد آزمون قرار گرفته است. ماهواره TRMM با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته دقت بهتری نسبت به دیگر منابع داده ماهواره‌ای در منطقه ارومیه و حتی کشور ایران دارد (فصل دوم)، به همین دلیل از این ماهواره در این پایان‌نامه استفاده شد. دقت روش‌ها با شاخص RMSE در مقایسه با داده‌های زمینی به دست آمده است. داده‌های ثبت شده زمینی مورد استفاده در این بررسی، ابتدا از نظر کیفیت ثبت داده مورد آزمون‌های آماری قرار گرفته (قاجار نیا و همکاران ۱۳۹۳) و سپس از نظر پیوستگی در ثبت داده در بازه مورد بررسی یعنی از مهرماه ۱۳۸۵ (سپتامبر ۲۰۰۶) تا انتهای شهریور

۱۳۹۰ (آگوست ۲۰۱۱) بررسی گشته‌اند. داده‌های زمینی مذکور با داده‌های ماهواره و مدل رقوم ارتفاعی (DEM) حوضه در فرایند کالیبراسیون قرار گرفته و نهایتاً عملیات صحت سنجی (Validation) صورت پذیرفته و لایه بارش محاسبه گردیده است.

در گام بعدی تحقیق و با توجه به روش‌های مدل‌سازی مورد استفاده، نیاز به سه لایه اطلاعاتی می‌باشد: (۱) پوشش زمین، (۲) شیب و (۳) نفوذپذیری خاک منطقه. لایه پوشش زمین سالانه از ماهواره MODIS و محصول MCD۱۲Q۱ تهیه گشته و با نقشه‌های کاربری اراضی موجود که توسط موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو و مرکز سنجش‌ازدور دانشگاه صنعتی شریف مقایسه بصری گردیده و از نظر دقت مورد نیاز تأیید گشت. شیب منطقه به کمک ماهواره SRTM با دقت مکانی ۳۰ متری تولید و سپس به دقت مکانی ۱ کیلومتری بزرگ مقیاس گردید. مشکل‌ترین لایه اطلاعاتی از نظر امکان دسترسی، نقشه نوع خاک است. برای تهیه این لایه اطلاعاتی از سه منبع می‌توان بهره برده برد: (۱) نقشه نوع خاک جهانی FAO با عنوان Harmonized world soil database (۲) نقشه "میزان نفوذپذیری خاک حوضه آبریز دریاچه ارومیه" که توسط مرکز سنجش‌ازدور دانشگاه صنعتی شریف تولید گشته است و (۳) نقشه نوع بافت خاک استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب وابسته به وزارت جهاد کشاورزی ایران و با درون‌یابی بیش از ۳۰۰۰ نقطه برداشت‌شده از منطقه تولید گردیده است. دقت تفکیکی نقشه جهانی قابلیت نفوذپذیری که توسط FAO ارائه گردیده کم می‌باشد و در ایران قدرت تفکیک بالایی ندارد؛ لذا با توجه به دو منبع اطلاعاتی دیگر، این داده مورد استفاده قرار نگرفت. از هر دو لایه دیگر در فرایند کالیبراسیون استفاده شده و لایه‌ای که دقت بالاتری در نتایج نهایی دارد انتخاب گردیده است. نتایج و نحوه مدل‌سازی در ادامه ارائه می‌گردد.

برای جمع‌بندی مطالب باید افزود؛ ابتدا لایه بارش با تلفیق داده‌های زمینی و ماهواره‌ای محاسبه گردید. در گام بعد، از سه لایه اطلاعات شیب، پوشش زمینی و نفوذپذیری خاک منطقه و با کمک متدولوژی مدل‌سازی تجربی محاسبه رواناب در روش‌های Kennessey و SCS-CN، نقشه رواناب تولید گردید. در نهایت با تلفیق نقشه بارش و نقشه رواناب، نتایج رواناب تولیدی در منطقه محاسبه گردیده و با داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری دقت‌سنجی صورت می‌پذیرد.

## ۱-۵- سؤالات تحقیق

این تحقیقات در پی یافتن پاسخ سؤالات زیر است:

- بهترین روش تلفیقی بین داده زمینی و ماهواره‌ای برای تخمین بارش با توجه به خصوصیت زمین آماری سری داده‌های اصلی و کمکی مورد استفاده
- یافتن اثرگذاری پارامترهای مختلف حوضه آبریز که تأثیر فراوانی بر روی میزان بارش و رواناب دارند
- تعیین اثر تر، خشک یا نرمال بودن سال آبی از نظر میزان بارندگی بر روی دقت روش محاسبه بارش
- تعیین اثر تر، خشک یا نرمال بودن سال آبی از نظر میزان بارندگی بر روی میزان دقت مدل محاسبه رواناب
- مشخص نمودن اثر میزان فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی منطقه بر روی خطای مدل‌سازی بر مبنای تعریف سناریو
- یافتن بهترین روش مدل‌سازی بر مبنای رفتار طبیعی (دست‌نخورده) محدوده مورد مطالعه بر مبنای تعریف سناریو

## ۱-۶- دامنه و فرضیات تحقیق

فرضیات تحقیق حاضر برای تولید نقشه رواناب برای کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه، به شرح زیر است:

۱. در این مطالعه برای کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه به مساحت ۵۲۸۷۶ کیلومتر مربع، نقشه ضریب رواناب تولید می‌گردد. مدل تجربی جهت یافتن ضریب رواناب کل حوضه، با زیر حوضه‌های حاشیه-ای که کمترین عوامل انسانی در آنها اثر کرده، کالیبره خواهد شد.
۲. محدوده زمانی مورد بررسی از مهر ۱۳۸۵ تا شهریور ۱۳۹۰ بوده و مقیاس زمانی این تحقیق در محاسبه بارش و نقشه رواناب به صورت سالانه می‌باشد.
۳. در این تحقیق از سال آبی میلادی (از سپتامبر تا آگوست هر سال) استفاده شده و داده موجود از سپتامبر ۲۰۰۶ تا آگوست ۲۰۱۱ برای طی مراحل تحقیق، از پایگاه هر داده جمع‌آوری گردید.
۴. در فرایند محاسبه بارش، داده‌های زمینی ثبت بارش به نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد و به صورت تصادفی تقسیم شدند. از ۷۰ درصد برای کالیبراسیون و از ۳۰ درصد برای محاسبه خطا با شاخص RMSE استفاده گردید.

۵. برای ساده‌سازی مدل محاسبه رواناب فقط به لایه اطلاعاتی مؤثر پوشش زمین، شیب و نفوذپذیری خاک پرداخته‌شده و از عوامل دیگر تأثیرگذار صرف‌نظر گردیده است؛ چراکه با توجه به مقیاس زمانی تحقیق که به صورت سالانه است، این سه لایه بیشترین اثرگذاری را دارند.

۶. محاسبات فرایند بومی‌سازی مدل رواناب فقط برای زیر حوضه‌هایی توسعه داده شد که دارای دو قابلیت باشند: ۱) سرشاخه رودخانه‌های حوضه آبریز بوده و ۲) توسعه‌یافتگی و عوامل انسانی در آن‌ها حداقل باشد. این دو فرضیه به کالیبراسیون مدل کمک می‌کند تا روش محاسباتی را به کمک رفتار طبیعی حوضه به دقت بالا برساند. این زیر حوضه را از این‌پس با عنوان "زیر حوضه‌های منتخب" آورده می‌شوند.

۷. با توجه به گستردگی "زیر حوضه‌های منتخب" در تمامی مساحت حوضه آبریز و تنوع تغییرات هر سه لایه پوشش زمین، شیب و نفوذپذیری خاک در این زیر حوضه‌ها، می‌توان از روش کالیبره شده در این مناطق برای تمامی حوضه آبریز بهره برد چراکه متغیرهای دیگر مناطق، در زیر حوضه‌های منتخب نماینده دارند.

۸. روش تولید نقشه رواناب برای سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸-۲۰۰۹ کالیبره گشته و برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۰ و ۲۰۱۰-۲۰۱۱ دقت سنجی گردید. لازم به ذکر است در هر سه سال فرایند کالیبراسیون انواع سال‌های تر و خشک و نرمال وجود دارد و لذا تنوع میزان بارش لحاظ گردیده است.

## ۱-۲- مرور بر مطالب فصل‌ها

فصل دوم شامل مبانی نظری و پیشینه تحقیق بوده که در غالب دو بخش معرفی مفاهیم علمی و پایه مورداستفاده در این تحقیق و مرور ادبیات مرتبط با موضوع موردمطالعه در داخل و خارج از کشور می‌باشد. در فصل سوم منطقه موردمطالعه با استفاده از آمار و اطلاعات اخذ گردیده از سازمان‌های مرجع تولید داده مثل ستاد احیا دریاچه ارومیه، شرکت مادر تخصصی منابع آب و سازمان هواشناسی و همچنین اطلاعات مندرج در گزارشات و مقالاتی که به بررسی وضعیت منابع آب منطقه موردمطالعه پرداخته‌اند، به صورت مکفی معرفی گردیده است. همچنین در این فصل روابط حاکم بر مدل SCS-CN و Kennessy، روش‌های مختلف محاسبه بارش، تعیین دقت روش مدل‌سازی و الگوریتم بهینه‌سازی مورداستفاده توضیح داده شده‌اند. در فصل چهارم نحوه انجام عملیات مدل‌سازی بارش و همچنین رواناب تولیدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از ابزارهای مطرح شده در فصول قبلی به همراه نتایج حاصل شده، شرح داده شده است. در فصل پنجم به عنوان فصل آخر، در کنار تحلیل خروجی‌ها، جمع‌بندی و پیشنهادهایی به منظور تکمیل و تدقیق پژوهش حاضر ارائه شده است.