






بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تایید اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیأت داوران نسخه‌ی نهائی پایان نامه آقای حجت احمدزاده تحت عنوان: "ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAT: مطالعه موردی، حوضه زربندهرود" را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد پیشنهاد می‌کنند.

امضاء	رتبه ی علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	استاد	دکتر سعید مرید	۱- استاد راهنما
	مربی استاد	مجید دلاور	۲- استاد مشاور
	استاد	دکتر جمال محمد ولی سامانی	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استاد	دکتر جمال محمد ولی سامانی	۴- اساتید ناظر: ۱- داخلی
	استاد	دکتر احمد ابریشمچی	۲- خارجی



دانشگاه تربیت مدرس  
معاونت آموزشی

بسمتعالی  
جمهوری اسلامی ایران

شماره  
تاریخ  
پست

آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاستهای پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه/ رساله نیز منتشر می شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم الاجرا است.

اینجانب ..... دانشجوی رشته ..... در روزی سال تحصیلی ..... مقطع .....  
دانشکده ..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم

امضا: .....  
تاریخ: ۹۷/۲/۲۷

تهران، بهلول آملی مسدول  
شماره پستی: ۴۱۸-۱۱۵  
تلفن: ۸۸۰۱۱۰۰۱  
دو رکنا: ۸۸۰۰۵۰۳۵  
res@modares.ac.ir



بسمه تعالی

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی-پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

**ماده ۱** در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

**ماده ۲** در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:  
" کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته ..... است که در سال ..... در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/ جناب آقای دکتر ..... مشاوره سرکار خانم/ جناب آقای دکتر ..... و مشاوره سرکار خانم/ جناب آقای دکتر ..... از آن دفاع شده است"

**ماده ۳** به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

**ماده ۴** در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

**ماده ۵** دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

**ماده ۶** اینجانب حجت احمدزاده دانشجوی رشته مهندسی منابع آب مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حجت احمدزاده

تاریخ و امضاء:

  
۱۳۹۱/۳/۷



پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

**ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAT:**

**مطالعه موردی، حوضه زرينه رود**

**پژوهش و نگارش:**

**حجت احمدزاده**

**استاد راهنما:**

**دکتر سعید مرید**

**استاد مشاور:**

**دکتر مجید دلاور**

خرداد 91

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

تقدیم به

برادران و خواهران مهربانم

تقدیم به

پویندگان علم و حقیقت

## تقدیر و تشکر

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. اکنون در آستانه راهی نو به پاس نعمات بی حد پروردگار، بر خود لازم می دانم سپاسگزار تمام عزیزانی باشم که در رسیدن به این جایگاه یاریم نمودند.

مراتب سپاس خود را از بزرگترین پشتیبان های زندگیم، پدر و مادرم اعلام می دارم که به حق بزرگترین انگیزه بنده در کسب مدارج تحصیلی می باشند و اگر عشق به شاد کردن دل های پر مهرشان نبود، تحمل این راه میسر نمی گردید.

سپاس فراوان از برادران مهربان و خواهران عزیزم که صمیمی ترین غمخواران و مشوقان من بوده و هستند.

از استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر مرید و همچنین از استاد مشاور بزرگووارم جناب آقای دکتر دلاور که همواره از حمایت هایشان بهره مند بودم، کمال تشکر را دارم.

از جناب آقایان دکتر ابریشمچی و دکتر سامانی که داوری این پایان نامه را برعهده داشتند، تشکر و قدردانی می نمایم.

## چکیده

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه کشور می‌باشد و اهمیت ویژه‌ای در مولفه‌های اقتصادی و اجتماعی شمال‌غرب کشور دارد. متأسفانه این دریاچه در اثر خشکسالی‌های اخیر و برداشت‌های بی‌رویه از رودخانه‌های منتهی به آن، با افت شدید سطح آب مواجه شده که می‌تواند بستری برای مشکلات زیست محیطی و تبعات آن در منطقه و حتی کشور باشد. بدیهی است تنها راه حل، کاهش مصرف آب است که از طریق افزایش بهره‌وری میسر خواهد بود. این مهم در این تحقیق برای رودخانه زرينه‌رود به عنوان اصلی‌ترین ورودی به دریاچه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور وضع موجود بهره‌وری آب در حوضه و راهکارهایی جهت ارتقاء آن شامل افزایش راندمان آبیاری، تغییر الگوی کشت و همچنین اعمال همزمان آنها با استفاده از چهار شاخص  $CPD_{IP}^1$ ،  $CPD_{ET}^2$ ،  $NBPD_{IP}^3$  و  $NBPD_{ET}^4$  مورد شبیه‌سازی و ارزیابی قرار گرفتند. جهت شبیه‌سازی متغیرهای هیدرولوژیکی و کشاورزی مورد نیاز، از مدل نیمه مفهومی SWAT استفاده گردید. بدین منظور ابتدا مدل با استفاده از 6 ایستگاه آبنجی در سطح حوضه واسنجی و اعتبارسنجی شد که مقادیر  $R^2$  به ترتیب بین 0/49 تا 0/71 و 0/54 تا 0/77 بدست آمد. همچنین، میزان تبخیر و تعرق واقعی از سطح حوضه در سال‌های پرباران بر اساس اطلاعات سند ملی آب واسنجی شد، که مقدار  $R^2$  برابر با 0/88 را نتیجه داد. نتایج تحقیق نشان داد که در شرایط کنونی حوضه (با راندمان آبیاری 38 درصد) مقادیر چهار شاخص بهره‌وری مورد اشاره به ترتیب برابر 0/84، 1/78، 1604 و 3415 می‌باشند. همچنین مطابق با شبیه‌سازی‌های انجام گرفته با مدل SWAT برای شرایط موجود حجم آب سالانه ورودی به دریاچه 1357 MCM، میزان تبخیر و تعرق واقعی

---

<sup>1</sup>- Crop Per Drop(Irrigation+Effective Precipitation) ( kg/m<sup>3</sup>)

<sup>2</sup>-Crop Per Drop(actual evapotranspiration) ( kg/m<sup>3</sup>)

<sup>3</sup>-Net Benefit Per Drop(Irrigation+Effective Precipitation) (Rial/m<sup>3</sup>)

<sup>4</sup>-Net Benefit Per Drop (Actual evapotranspiration) (Rial/m<sup>3</sup>)



سالانه از اراضی کشاورزی تحت کشت آبی 430MCM و همچنین میزان افت سطح ایستابی از کل حوضه زرينه‌رود برای دوره مورد مطالعه برابر با 3/3 متر است که با اطلاعات منطقه هماهنگی کافی دارد. نتایج تحلیل راهکارها نشان داد که با افزایش راندمان آبیاری و تغییر سیستم‌های آبیاری از سطحی به بارانی (راندمان 60 درصد) و قطره‌ای (راندمان 80 درصد)، مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب به ترتیب 15، 36، 50 و 76 درصد نسبت به سناریو پایه افزایش یافتند. همچنین میزان عملکرد محصولات به طور متوسط 20 درصد نسبت به سناریو پایه ارتقاء پیدا کرد. با این وجود در این سناریو مقدار حجم آب ورودی به دریاچه تغییر نکرده و مقدار افت سطح ایستابی نیز شدیدتر گردید. در سناریو مربوط به تغییر الگوی کشت (مشخصاً جایگزینی سیب بجای یونجه) مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب به ترتیب 60، 60، 80 و 80 درصد نسبت به سناریو پایه افزایش یافت و میزان افت سطح ایستابی به 3 متر رسید، که نسبت به سناریو پایه قدری کمتر شد. همچنان در این سناریو میزان ورودی به دریاچه تفاوت چندانی نکرد. در آخر نیز با تغییر همزمان الگوی کشت و سیستم‌های آبیاری، مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب نسبت به سناریو پایه به بیش از دو برابر افزایش یافت و متوسط میزان افت سطح ایستابی در کل حوضه از 3/3 متر اولیه به 1/8 متر کاهش یافت. در این سناریو میزان ورودی به دریاچه 39 MCM نسبت به سناریو پایه افزایش یافت، که عملکرد بهتر آن را نشان می‌دهد. نتایج فوق نشان داد که در کلیه سناریوها میزان حجم آب ورودی به دریاچه افزایش چشمگیری نداشته و این راهکارها راه حل اساسی جهت حفظ دریاچه نمی‌باشند. همچنین نتایج نشان داد، شاخص‌های بهره‌وری آب به تنهایی معیار خوبی جهت ارزیابی مدیریت سیستم‌های منابع آب در یک منطقه نبوده و باید در کنار این شاخص‌ها به معیارهایی مانند نیاز زیست محیطی منطقه، افت سطح ایستابی (متناسب با شرایط هر منطقه) نیز توجه کرد.

**کلمات کلیدی:** دریاچه ارومیه، حوضه زرينه‌رود، شاخص‌های بهره‌وری آب، مدیریت سیستم‌های

منابع آب، نیاز زیست محیطی دریاچه، تبخیر و تعرق واقعی، افت سطح آب زیرزمینی، SWAT

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: کلیات

- 1-1 مقدمه ..... 2
- 2-1 اهداف تحقیق ..... 4
- 3-1 سوالات تحقیق ..... 5
- 4-1 شرح ساختار تحقیق ..... 6

### فصل دوم: سابقه مطالعات

- 1-2 مقدمه ..... 8
- 2-2 مفهوم شاخص بهره‌وری آب گیاهی ..... 8
- 3-2 سابقه تحقیقات بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از آزمایشات مزرعه‌ای ..... 9
- 1-3-2 راهکارهای کم کردن عمق و دور آبیاری ..... 9
- 2-3-2 راهکار تغییر روش‌های آبیاری ..... 13
- 4-2 شبیه‌سازی بهره‌وری آب کشاورزی در سیستم‌های منابع آب ..... 14
- 1-4-2 شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌ها با مدل SWAT ..... 15
- 1-1-4-2 شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب در مدل SWAT ..... 17
- 5-2 جمع‌بندی ..... 21

### فصل سوم: مواد و روش‌ها

- 1-3 مقدمه ..... 24
- 2-3 معرفی شاخص‌های بهره‌وری آب ..... 24

- 27.....1-2-3 روش‌های ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی
- 30.....3-3 مدل SWAT و شبیه‌سازی متغیرهای هیدرولوژیکی در آن
- 30.....1-3-3 توسعه مدل SWAT
- 33.....2-3-3 شبیه‌سازی حجم رواناب در مدل SWAT
- 35.....3-3-3 شبیه‌سازی تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی در مدل SWAT
- 35.....1-3-3-3 تبخیر و تعرق پتانسیل
- 35.....2-3-3-3 تبخیر و تعرق واقعی
- 44.....4-3-3 شبیه‌سازی آبهای زیرزمینی در مدل SWAT
- 45.....5-3-3 شبیه‌سازی مخزن سد در مدل SWAT
- 46.....6-3-3 محاسبه بارندگی موثر
- 47.....4-3 شبیه‌سازی عملکرد گیاهی در مدل SWAT
- 47.....1-4-3 شبیه‌سازی مقدار کل ماده گیاهی تولید شده
- 49.....2-4-3 شبیه‌سازی تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) و ارتفاع گیاهی در طول فصل رشد
- 52.....3-4-3 شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل
- 54.....4-4-3 محاسبه عملکرد واقعی گیاه

## فصل چهارم: منطقه مطالعاتی و تشریح داده‌ها

- 59.....1-4 مقدمه
- 59.....2-4 مشخصات حوضه زرينه‌رود
- 61.....3-4 مشخصات سد زرينه‌رود
- 62.....4-4 تشریح داده‌های مورد استفاده
- 62.....1-4-4 لایه‌های رقومی مورد استفاده در مدل
- 66.....2-4-4 داده‌های هواشناسی و هیدرومتری
- 68.....3-4-4 الگوی کشت و هزینه تولید و قیمت محصولات

## فصل پنجم: شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه

- 1-5-1 مقدمه ..... 72
- 2-5-2 ساختار بندی حوضه و تنظیم مدل ..... 72
- 3-5-3 تحلیل حساسیت پارامترهای مدل ..... 75
- 4-5-4 واسنجی و صحت سنجی مدل ..... 77
- 5-5-5 ارزیابی مدل واسنجی شده در شبیه‌سازی سایر مولفه‌های هیدروکلیماتولوژی ..... 82
- 1-5-5-1 بازنگی ..... 82
- 2-5-5-2 تبخیر و تعرق واقعی ..... 82
- 3-5-5-3 آب زیرزمینی و حجم آب برگشتی از آن ..... 83

## فصل ششم: شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب تحت سناریوهای مدیریتی

- 1-6-1 مقدمه ..... 89
- 2-6-2 واسنجی تبخیر و تعرق واقعی (ETA) و عملکرد محصولات کشاورزی در مدل SWAT ..... 90
- 1-2-6-1 تنظیم پارامترهای گیاهی موثر بر LAI و عملکرد محصولات ..... 91
- 2-2-6-2 شبیه‌سازی متغیرهای موثر (ETA, LAI) بر عملکرد ..... 93
- 3-2-6-3 مقادیر عملکرد محصولات ..... 98
- 3-6-3 نحوه اعمال روش‌های مختلف آبیاری و مدیریت آن در مدل SWAT ..... 99
- 4-6-4 شبیه‌سازی بهره‌وری آب کشاورزی با توجه به سناریوهای مختلف ..... 103
- 1-4-6-1 شبیه‌سازی شاخص‌های بهره‌وری آب و اجزای هیدرولوژیکی تحت شرایط موجود (سناریو پایه) ..... 103
- 1-4-6-1-1 مصرف نهاده‌ها در شرایط موجود ..... 104
- 2-4-6-1-2 شبیه‌سازی شاخص‌های بهره‌وری آب تحت سناریو پایه ..... 106
- 3-4-6-1-3 ارزیابی مولفه‌های بیلان حوضه در شرایط موجود ..... 111
- 2-4-6-2 شبیه‌سازی شاخص‌های بهره‌وری آب و تغییرات اجزای هیدرولوژیکی تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری: ..... 116
- 1-2-4-6-2 شبیه‌سازی تغییرات عملکرد و شاخص‌های بهره‌وری آب تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری ..... 117

- 123.....2-2-4-6 تاثیر سناریو افزایش راندمان آبیاری بر اجزاء بیلان هیدرولوژیکی
- 3-4-6 شبیه‌سازی شاخص‌های بهره‌وری آب و تغییرات اجزای هیدرولوژیکی تحت سناریو تغییر الگوی کشت با آبیاری به روش سطحی.....126
- 127.....1-3-4-6 شبیه‌سازی تغییرات بهره‌وری آب تحت سناریو تغییر الگوی کشت با آبیاری به روش سطحی
- 129.....2-3-4-6 تغییرات اجزای هیدرولوژیکی حوضه تحت سناریو تغییر الگوی کشت با آبیاری به روش سطحی
- 4-4-6 شبیه‌سازی شاخص‌های بهره‌وری آب و تغییرات اجزای هیدرولوژیکی تحت سناریو تغییر الگوی کشت و سیستم‌های آبیاری تحت فشار:.....131
- 131.....1-4-4-6 تغییرات شاخص‌های بهره‌وری آب تحت سناریو تغییر همزمان الگوی کشت و راندمان آبیاری
- 133.....2-4-4-6 شبیه‌سازی تاثیر سناریو تغییر همزمان الگوی کشت و راندمان آبیاری بر اجزاء بیلان حوضه
- 5-4-6 ارزیابی و مقایسه شاخص‌های بهره‌وری آب کل حوضه و سری زمانی تغییرات مولفه‌های هیدرولوژیکی آن تحت سناریوهای مورد نظر.....136

### فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- 142.....1-7 مقدمه
- 143.....2-7 ارزیابی مدل SWAT
- 143.....3-7 ارزیابی سناریو مدیریتی در ارتقاء بهره‌وری آب
- 148.....4-7 نتایج کلی از سناریوها
- 148.....5-7 پیشنهادات

### فصل هشتم: منابع و مآخذ

- 148.....5-7 منابع و مآخذ

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
33	جدول 3-1: معرفی برخی پارامترهای مهم و موثر بر رواناب خروجی از حوضه در مدل SWAT
34	جدول 3-2: معرفی برخی پارامترهای موثر بر عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی در مدل SWAT
60	جدول 4-1: مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌ها
62	جدول 4-2: مشخصات سد زرينه‌رود
64	جدول 4-3: نوع کاربری اراضی و سطوح مربوط به آنها در حوضه زرينه رود
65	جدول 4-4: مشخصات انواع خاکهای موجود در نقشه خاک حوضه
66	جدول 4-5: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق
67	جدول 4-6: مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده و طول دوره آماری آنها
68	جدول 4-7: متوسط مقادیر ماهانه متغیرهای هواشناسی برای کل حوضه در طول دوره مورد مطالعه
8-4	جدول 4-8: سطح زیرکشت آبی (هکتار) محصولات عمده در هر کدام از شهرستانهای واقع در محدوده مورد مطالعه به همراه تاریخ کشت و برداشت و همچنین میزان کود مصرفی سالانه آنها (کیلوگرم در هکتار)
69	جدول 4-9: متوسط هزینه سالانه تولید یک هکتار (ریال) و قیمت هر کیلوگرم (ریال) از محصولات عمده حوضه در سال 1386
70	جدول 5-1: تعداد HRU اختصاص یافته به هر یک از محصولات در هر یک از زیرحوضه‌ها
74	جدول 5-2: سطح زیرکشت هر یک از محصولات (الگوی کشت اعمال شده در مدل) در هر یک از زیرحوضه‌ها (هکتار)
75	جدول 5-3: نتایج تحلیل حساسیت مدل و مقادیر t-stat و p-value مربوط به هر کدام از پارامترها
77	جدول 5-4: نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای هر یک از ایستگاه‌ها در دوره آماری مربوطه
92	جدول 6-1: نحوه تعیین برخی پارامترهای گیاهی مهم در شبیه‌سازی عملکرد گیاهی و تبخیر و تعرق واقعی
93	جدول 6-2: مقادیر نهایی برخی از پارامترهای گیاهی موثر بر عملکرد و تبخیر و تعرق

- جدول 3-6: مقایسه متوسط مقادیر تبخیر و تعرق واقعی سالانه شبیه‌سازی شده در سالهای پرباران و متوسط مقادیر تبخیر و تعرق حداکثر گزارش شده از سند ملی آب (میلی‌متر) در حوضه..... 97
- جدول 4-6: مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده محصولات مختلف در هر یک از زیرحوضه‌ها (تن در هکتار)..... 98
- جدول 5-6: منبع آب مورد استفاده جهت آبیاری محصولات عمده در هر یک از زیرحوضه‌ها در سناریو پایه ... 104
- جدول 6-6: مقادیر عمق آب آبیاری اعمال شده (میلی‌متر) به مدل تحت سناریو پایه برای محصولات مختلف 105
- جدول 6-7: مقدار بارندگی موثر (میلی‌متر) برای هر کدام از محصولات در هر یک از زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی ..... 106
- جدول 6-8: مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص‌های بهره‌وری آب برای هر کدام از زیرحوضه‌ها در شرایط موجود (سناریو پایه)..... 107
- جدول 6-9: مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص‌های بهره‌وری آب برای محصولات مختلف در هر کدام از زیرحوضه‌ها در شرایط موجود (سناریو پایه) ..... 108
- جدول 6-10: درصد کشت هر کدام از محصولات در هر زیرحوضه نسبت به کل سطح زیرکشت در همان زیرحوضه ..... 109
- جدول 6-11: متوسط تغییرات اجزای هیدرولوژیکی حوضه در سناریو پایه در طول دوره مورد مطالعه ..... 114
- جدول 6-12: مقادیر افت سطح ایستابی در طول دوره مورد مطالعه در سناریو پایه ..... 115
- جدول 6-13: مقادیر عمق آب آبیاری اعمال شده (میلی‌متر) به مدل تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری برای محصولات مختلف ..... 117
- جدول 6-14: : سیستم‌های آبیاری مورد استفاده برای هر کدام از محصولات در هر یک از زیرحوضه‌ها تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری ..... 117
- جدول 6-15: مقدار عملکرد محصولات در زیرحوضه‌های مختلف تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری (تن در هکتار)..... 118
- جدول 6-16: مقادیر حوضه‌ای شاخص‌های بهره‌وری آب تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری ..... 119
- جدول 6-17: مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص‌های بهره‌وری آب برای محصولات مختلف تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری..... 120

- جدول 6-18: نسبت مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب در سناریو افزایش راندمان آبیاری به مقادیر آنها در سناریو پایه ..... 122
- جدول 6-19: متوسط تغییرات اجزای هیدرولوژیکی حوضه تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری برای دوره مورد مطالعه ..... 124
- جدول 6-20: تغییرات افت سطح ایستابی (متر) تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری ..... 125
- جدول 6-21: مقادیر متوسط شاخص‌های بهره‌وری در زیرحوضه‌های مختلف تحت سناریو تغییر الگوی کشت با آبیاری به روش سطحی ..... 127
- جدول 6-22: تغییرات شاخص‌های بهره‌وری آب در سناریو تغییر الگوی کشت با آبیاری به روش سطحی نسبت به سناریو پایه ..... 127
- جدول 6-23: متوسط تغییرات اجزای هیدرولوژیکی حوضه تحت سناریو تغییر الگوی کشت در شرایط آبیاری سطحی برای دوره مورد مطالعه ..... 129
- جدول 6-24: تغییرات افت سطح ایستابی (متر) در سناریو تغییر الگوی کشت تحت شرایط آبیاری سطحی نسبت به سناریو پایه ..... 130
- جدول 6-25: مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب تحت سناریو تغییر همزمان الگوی کشت و راندمان آبیاری ..... 133
- جدول 6-26: نسبت شاخص‌های بهره‌وری آب در سناریو تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری به مقدار آنها در سناریو پایه ..... 133
- جدول 6-27: مقادیر مولفه‌های هیدرولوژیکی زیرحوضه‌ها در سناریو تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری ..... 134
- جدول 6-28: تغییرات افت سطح ایستابی (متر) در سناریو تغییر الگوی کشت و راندمان آبیاری نسبت به سناریو پایه ..... 135
- جدول 6-29: مقادیر شاخص‌های بهره‌وری آب برای کل حوضه تحت سناریوهای مختلف ..... 137



## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 3-1: اجزای هیدرولوژیکی در نظر گرفته شده در مدل SWAT	32
شکل 3-2: اجزای در نظر گرفته شده برای یک مخزن سد در مدل SWAT	45
شکل 3-3: روند تغییرات شاخص LAI برای اکثر گیاهان بر حسب PHU	49
شکل 3-4: تغییرات $(HI/HI_{opt})$ بر حسب $f_{rPHU}$ در طول فصل رشد	53
شکل 4-1: موقعیت حوضه زرينه‌رود و زیرحوضه‌های آن	61
شکل 4-2: نقشه DEM حوضه زرينه‌رود	63
شکل 4-3: نقشه کاربری اراضی حوضه زرينه‌رود	64
شکل 4-4: لایه خاک مورد استفاده در مدل SWAT	65
شکل 4-5: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و آبنجی مورد استفاده در حوضه زرينه رود	67
شکل 5-1: نمایی از HRUهای تشکیل شده در حوضه با استفاده از نقشه کاربری اراضی اولیه	74
شکل 5-2: مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی در ایستگاه‌های پل آنیان، سننه و صفاخانه	78
شکل 5-3: مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی در ایستگاه‌های ورودی به سد زرينه‌رود، چوبلوچه و نظام آباد	79
شکل 5-4: مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره اعتبارسنجی در ایستگاه‌های پل آنیان، سننه و صفاخانه	80
شکل 5-5: مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره اعتبارسنجی در ایستگاه‌های ورودی به سد زرينه‌رود، چوبلوچه و نظام آباد	81
شکل 5-6: تغییرات زمانی بارندگی و تبخیر و تعرق واقعی سالانه (میلی‌متر) برای کل حوضه در دوره مورد مطالعه	83
شکل 5-7: سری زمانی ماهانه متوسط وزنی تغییرات ارتفاع آب موجود در آبخوان کل حوضه (میلی‌متر)	84

- شکل 5-8: سری زمانی سالانه حجم آب زیرزمینی خروجی از کل آبخوان حوضه، بارندگی سالانه و متوسط آنها در طول دوره مورد مطالعه ..... 84
- شکل 5-9: توزیع مکانی الف) بارندگی (میلی‌متر)، ب) تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر) و ج) حجم خروجی آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب) در حوضه در سال 1993 ..... 85
- شکل 5-10: توزیع مکانی بارندگی (میلی‌متر) الف)، تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر) ب) و حجم آب زیرزمینی خروجی (میلیون مترمکعب) ج) در حوضه در سال 2000 ..... 86
- شکل 5-11: توزیع مکانی بارندگی (میلی‌متر) الف)، تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر) ب) و حجم آب زیرزمینی خروجی (میلیون مترمکعب) ج) در حوضه در سال 2003 ..... 87
- شکل 6-1: مراحل شبیه‌سازی و واسنجی متغیرهای تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات ..... 90
- شکل 6-2: تغییرات متوسط ماهانه شاخص LAI شبیه‌سازی شده برای محصولات منتخب منطقه مطالعاتی ..... 95
- شکل 6-3: تغییرات متوسط ماهانه تبخیر و تعرق واقعی (ETA) (میلی‌متر) شبیه‌سازی شده با مدل SWAT برای محصولات مختلف در طول فصل رشد آنها ..... 96
- شکل 6-4: ارزیابی نحوه شبیه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی سالانه توسط مدل با توجه به متوسط مقادیر تبخیر و تعرق حداکثر گزارش شده از سند ملی آب (میلی‌متر) ..... 97
- شکل 6-5: مقایسه سری زمانی مقدار نفوذ عمقی (میلی‌متر) در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای برای محصول سیب در طول فصل رشد آن طی دوره تحقیق در زیرحوضه 2 ..... 102
- شکل 6-6: توزیع مکانی میانگین شاخص‌های بهره‌وری آب در حوضه برای شرایط موجود (سناریو پایه) ..... 111
- شکل 6-7: تغییرات سری زمانی مقادیر استاندارد شده تبخیر و تعرق واقعی، تنش دمایی و آبی تحت سناریو پایه برای بالادست الف) و پایین‌دست سد زرينه‌رود ب) ..... 112
- شکل 6-8: سری زمانی حجم آب سالانه ورودی به دریاچه شبیه‌سازی شده و خروجی از ایستگاه نظام آباد ..... 114
- شکل 6-9: تغییرات مکانی افت سطح آب زیرزمینی (متر) در شرایط موجود ..... 115
- شکل 6-10: تغییرات مکانی شاخص‌های بهره‌وری آب در حوضه مورد مطالعه تحت شرایط افزایش راندمان آبیاری ..... 123
- شکل 6-11: مقادیر افت سطح ایستابی (متر) در شرایط افزایش راندمان آبیاری ..... 126

- شکل 6-12: نقشه تغییرات مکانی متوسط شاخص‌های بهره‌وری آب تحت سناریو تغییر الگوی کشت با آبیاری به روش سطحی ..... 128
- شکل 6-13: تغییرات مکانی مقادیر افت سطح ایستابی (متر) تحت سناریو تغییر الگوی کشت در شرایط آبیاری سطحی ..... 130
- شکل 6-14: نقشه مکانی شاخص‌های بهره‌وری آب تحت سناریو تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری 132
- شکل 6-15: نقشه تغییرات مکانی افت سطح آب زیرزمینی تحت سناریو تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری ..... 135
- شکل 6-16: سری زمانی شبیه‌سازی شده میزان حجم تبخیر و تعرق واقعی سالانه در کل حوضه ..... 139
- شکل 6-17: سری زمانی شبیه‌سازی شده میزان حجم آب ورودی سالانه به دریاچه ..... 139
- شکل 6-18: سری زمانی شبیه‌سازی شده متوسط ارتفاع آب در کل آبخوان حوضه زربنه‌رود برای دوره مورد مطالعه ..... 140

# فصل اول:

## کلیات