دانشکده کشاورزی
بخش مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته آبیاری و زهکشی

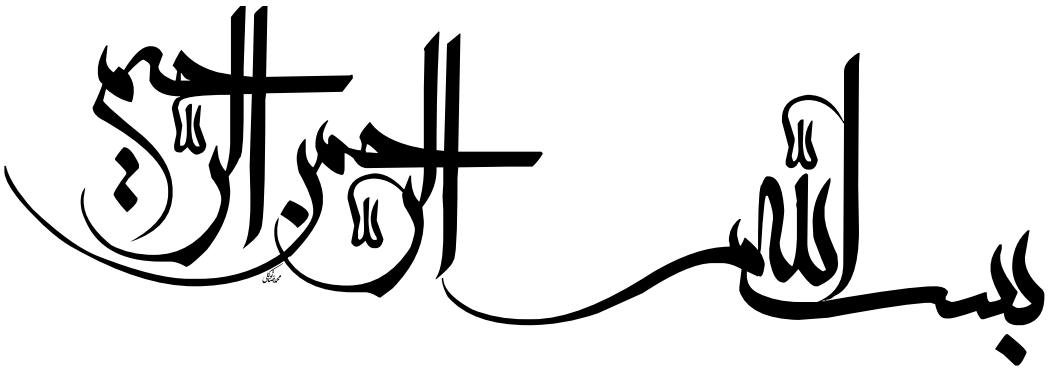
عنوان:

ارزیابی اثر مدیریت های مختلف آب بر محصول گندم زمستانه در منطقه‌ی باجگاه و پایین‌دست سد درودزن با استفاده از مدل-های AquaCrop و CropSyst

به کوشش:
ابوذر بهادری

استاد راهنما:
دکتر سپاسخواه

بهمن ۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب ابوذر بهادری (۸۷۰۵۴۱)

دانشجوی رشته ی کشاورزی گرایش مهندسی آب دانشکده ی کشاورزی اظهارمی کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهارمی کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم .کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

ابوذر بهادری

به نام خدا

ارزیابی اثر مدیریت های مختلف آب بر محصول گندم زمستانه در منطقه‌ی باجگاه و پایین‌دست سد درودزن با استفاده از مدل‌های AquaCrop و CropSyst

به کوشش:

ابوذر بهادری

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی :

مهندسی آبیاری و زهکشی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته پایان نامه، با درجه ی : عالی

دکتر علیرضا سپاسخواه، استاد بخش مهندسی آب (رئیس کمیته).....

دکتر علی اکبر کامگار حقیقی، استاد بخش مهندسی آب.....

دکتر شاهرخ زندپارسا، دانشیار بخش مهندسی آب.....

دکتر تورج هنر، دانشیار بخش مهندسی آب.....

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادرم

سپاسگزاری

"سپاس تنها برای خداست"، " سربلندی تنها از آن اوست"و " دستور، پیش و پس از این تنها او را سزاست". به یاد خواهم داشت که دارای هر یک از رشته‌های دانش که باشم سرانجامم دیدار اوست.

اما بعد، تشکر می‌کنم از خانواده‌ام؛ پدر، مادر و خواهرانم که بدون حمایت آن عزیزان رسیدن به این مرحله برای من میسور نبود.

شوق و حرارت استاد سپاسخواه هنگام بیان مطالب در کلاس درس و ذوق و مهارت ایشان در تفسیر و توضیح مسائل علمی همواره در مسیر تحصیل نور امید و راهنمای من بوده و هست. از استاد، با شوق و ذوق، تشکر می‌کنم به خاطر تمامی علومی که به من آموخته و می‌آموزد، اجر او با خدا. همچنین از استاد عزیزم جناب آقای دکتر کامکار حقیقی که همواره مشوق و سنگ صبورم بوده سپاسگزاری می‌کنم.

از دوست عزیزم مهندس حامد اداوی که در طول دوران تحصیل همواره همراه و همیار من بوده تشکر می‌کنم و سربلندی و موفقیتش را از خداوند متعال خواستارم . همچنین از همکلاسی و دوست عزیز، مهندس حمید کمالی و دوست عزیزم مهندس سوران شریفی به خاطر تمامی کمک-هایی که به من داشتند تشکر می‌کنم و سلامتی این عزیزان را از خداوند متعال خواستارم.

چکیده

ارزیابی اثر مدیریت های مختلف آب بر محصول گندم زمستانه در منطقه‌ی باجگاه و پایین‌دست سد درودزن با استفاده از مدل‌های AquaCrop و CropSyst

به کوشش

ابوذر بهادری

امروزه با گسترش و توسعه‌ی مدل‌های گیاهی کامپیوتری می‌توان اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری را در مقیاس وسیع بدون صرف وقت و هزینه زیاد بررسی کرد. در این پژوهش اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر عملکرد گندم زمستانه در باجگاه و مزارع زیر پوشش سد درودزن با استفاده از دو مدل کامپیوتری AquaCrop و CropSyst ارزیابی شده است. این ارزیابی طی ۳۳ سال با در نظر گرفتن ۱۵ آبان به عنوان تاریخ کاشت انجام شده است. برای شرایط بدون محدودیت آب اثر برنامه‌بندی آبیاری بر اساس تخلیه ۳۰٪، ۳۵٪، ۴۰٪، ۴۵٪، ۵۰٪، ۵۵٪، ۶۰٪ و ۶۵٪از کل رطوبت قابل دسترس منطقه ریشه بر محصول گندم زمستانه بررسی شده است. همچنین در شرایط محدودیت آب برای مقادیر مختلف آب در دسترس شامل ۱۲۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ میلی‌متر زمان‌های آبیاری با عمق ۱۲۰ میلی‌متر در هرنوبت جهت رسیدن به محصول بیشتر بهینه سازی شده است. نتایج حاصل از مدل AquaCrop و CropSyst نشان داد که پتانسیل تولید ماده‌ی خشک گندم زمستانه در منطقه مورد بررسی به طور متوسط ۱۸ تن در هکتار است. طبق شبیه‌سازی‌های مدل AquaCrop و CropSyst محصول گندم به ترتیب بعد از تخلیه ۵۰٪ و ۵۵٪ از کل رطوبت قابل دسترس منطقه‌ی ریشه دچار افت معنی‌داری می‌گردد اما به هرصورت بیشترین بهره‌وری مصرف آب آبیاری زمانی حاصل می‌شود که برنامه‌ی آبیاری براساس تخلیه‌ی ۶۵٪ از رطوبت قابل دسترس منطقه ریشه صورت پذیرد. در شرایط محدودیت آب در حالی که مدل AquaCrop ۲۴۰ میلی‌متر آب آبیاری را برای اطمینان از حفظ گیاه و برداشت محصول ضروری نشان می‌دهد مدل CropSyst نشان می‌دهد که تنها با انجام ۱۲۰ میلی‌متر آبیاری در هنگام کاشت می‌توان از حفظ گیاه و برداشت محصول اطمینان داشت. در صورتی که بارندگی فصل رشد نزدیک به میانگین بلند مدّت بارندگی باشد نتایج بدست آمده از هر دو مدل نشان می‌دهد که برای دستیابی به حداکثر محصول آبیاری دوّم، سوّم و چهارم باید به ترتیب در دهه‌سوم فرودین ، دهه‌ی سوم اردیبهشت و دهه‌ی دوّم خرداد انجام شوند. هر دو مدل نشان می‌دهند که انجام آبیاری چهارم به خصوص در سال‌های تر ضرورتی ندارد زیرا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. مدل CropSyst به دلیل ضعف در برآورد تبخیر-تعرّق گیاه مرجع اختلاف مورد انتظار بین محصول تولیدی در سال تر و خشک را به خوبی نشان نمی‌دهد بنابراین استفاده از مدل AquaCrop نسبت به این مدل ارجحیّت دارد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱- مقدمه ۲

۱-۱- هدف ۳

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های گذشته

۲-۱- دقت شبیه‌سازی مدل AquaCrop ۶

۲-۲- دقت شبیه‌سازی مدل CropSyst ۷

۲-۳- اثر مدیریت آبیاری بر محصول گندم ۸

۲-۴- کاربرد مدل در مقیاس وسیع ۱۰

فصل سوم: اصول نظری مدل‌ها

۳-۱- معرفی مدل AquaCrop ۱۲

۳-۱-۱- مبنای کار ۱۲

۳-۱-۲- موتور رشد و فلوچارت مدل AquaCrop..... ۱۳

۳-۱-۳- زنجیره خاک-گیاه-اتمسفر ۱۵
۳-۱-۳-۱- اتمسفر ۱۵
۳-۱-۳-۲- گیاه ۱۶
۳-۱-۳-۳- خاک ۱۸
۳-۱-۳-۴- مدیریت زراعی ۱۹
۳-۱-۳-۵- مدیریت آبیاری ۱۹
۳-۱-۴- پارامترهای گیاهی ۲۰
۳-۱-۴-۱- رشد و توسعه ۲۰
۳-۱-۴-۲- تبخیر-تعرّق ۲۱
۳-۱-۴-۳- تولید ۲۲
۳-۱-۴-۴- تنش آبی ۲۲
۳-۱-۴-۵- تنش دمایی ۲۳
۳-۱-۴-۶- تنظیم برنامه ۲۴
۳-۱-۵- فایل خروجی ۲۵
۳-۲- معرفی مدل CropSyst ۲۶
۳-۲-۱- اصول و روش‌ها ۲۶
۳-۲-۲- رشد و تولید ۲۷
۳-۲-۳- فایل گیاهی ۳۰
۳-۲-۳-۱- توضیح و کلاس‌بندی ۳۱
۳-۲-۳-۲- جوانه‌زنی ۳۱
۳-۲-۳-۳- زمان حرارتی تجمعی ۳۱
۳-۲-۳-۴- تعرّق ۳۲
۳-۲-۳-۵- رشد شاخساره ۳۲
۳-۲-۳-۶- ماده‌ی خشک تولیدی ۳۳
۳-۲-۳-۷- فنولوژی ۳۴
۳-۲-۳-۸- ریشه ۳۴

۳-۲-۳-۹- برداشت ۳۵
۳-۲-۳-۱۰- پیری ۳۵
۳-۲-۴- فایل خروجی ۳۶

فصل چهارم: روش پژوهش

۴-۱- واسنجی و اعتبار سنجی مدل‌ها ۳۸
۴-۱-۱- داده‌های مزرعه‌ای ۳۸
۴-۱-۲- روش‌ها و فرضیات مورد استفاده در اجرای مدل AquaCrop..... ۴۰
۴-۱-۳- روش‌ها و فرضیات مورد استفاده در اجرای مدل CropSyst..... ۴۲
۴-۲- تحلیل آماری نتایج واسنجی و اعتبار سنجی ۴۳
۴-۳- اجرای مدل‌ها برای منطقه پایین دست سد درودزن و باجگاه..... ۴۳
۴-۳-۱- معرفی سد درودزن و شبکه آبیاری و زهکشی پایین دست آن ۴۴
۴-۳-۲- ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه ۴۵
۴-۳-۳- سناریو های مختلف مدیریت آب آبیاری..... ۴۶
۴-۳-۳-۱- شرایط بدون محدودیت آب ۴۶
۴-۳-۳-۲- شرایط کمبود آب ۴۷
۴-۳-۴- فرضیات ۴۹

فصل پنجم: نتایج و بحث

۵-۱- واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop برای منطقه باجگاه..... ۵۲
۵-۱-۱- نتایج و تحلیل آماری ۵۲
۵-۱-۲- پارامترگذاری ۵۳
۵-۲- واسنجی و اعتبارسنجی مدل CropSyst برای منطقه باجگاه ۵۸
۵-۲-۱- نتایج و تحلیل آماری ۵۸

۵-۲-۲- پارامترگذاری ۵۸
۵-۳- مقایسه مدل AquaCrop و CropSyst ۶۳
۵-۴- اجرای مدل‌ها برای منطقه پایین دست سد درودزن..... ۶۴
۵-۴-۱- شرایط بدون محدودیت آب ۶۵
۵-۴-۱-۱- نتایج حاصل از اجرای مدل AquaCrop ۶۵
۵-۴-۱-۲- عمق و تعداد آبیاری‌های شبیه سازی شده توسط مدل AquaCrop
..... ۷۴
۵-۴-۱-۳- مقادیر *NIWUE* و *INIWUE* حاصله از شبیه‌سازی‌های مدل AquaCrop
..... ۷۵
۵-۴-۱-۴- نتایج حاصل از اجرای مدل CropSyst ۸۶
۵-۴-۱-۵- عمق و تعداد آبیاری‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst
..... ۹۳
۵-۴-۱-۶- مقادیر *NIWUE* و *INIWUE* حاصله از شبیه‌سازی‌های مدل CropSyst
..... ۹۵
۵-۴-۲- شرایط محدودیت آب برای منطقه‌ی پایین دست سد درودزن ۱۰۲
۵-۴-۲-۱- نتایج حاصل از اجرای مدل AquaCrop ۱۰۲
۵-۴-۲-۲- نتایج حاصل از اجرای مدل CropSyst ۱۱۹
۵-۵- مقایسه دو مدل در شرایط وجود و عدم وجود محدودیت آب ۱۳۱
۵-۶- قابلیت اعتماد به نتایج پژوهش حاضر ۱۳۶

فصل ششم: نتیجه‌گیری

۶-۱- واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها ۱۳۹
۶-۲- شرایط بدون محدودیت آب ۱۳۹
۶-۲-۱- مدل AquaCrop ۱۳۹
۶-۲-۲- مدل CropSyst ۱۴۰

۶-۳- شرایط محدودیت آب ۱۴۰
۶-۳-۱- مدل AquaCrop ۱۴۰
۶-۳-۲- مدل CropSyst ۱۴۱
۶-۴- مقایسه ی دو مدل ۱۴۲
فهرست منابع ۱۴۳
پیوست‌ها ۱۴۹
چکیده به زبان انگلیسی ۱۹۷

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

جدول ۱-۴- مشخصات رطوبتی خاک محل آزمایش مزرعه‌ای(سپاسخواه، اطلاعات منتشر نشده) ۴۰
جدول ۲-۴- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش مزرعه‌ای(صلحی، ۱۳۷۶) ۴۰
جدول ۳-۴- تاریخ و مقدار آب آبیاری برای هر یک از تیمارها در دو سال آزمایش مزرعه‌ای(فاتح، ۱۳۸۸) ۴۰
جدول ۴-۴- محصول برداشت شده از تیمارهای مختلف در دو سال آزمایش مزرعه‌ای(فاتح، ۱۳۸۸) ۴۱
جدول ۵-۴- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه ۴۵
جدول ۶-۴- میانگین بلندمدّت برخی پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد پژوهش ۴۵
جدول ۷-۴- کدهای مورد استفاده برای زمان آبیاری ۴۸
جدول ۱-۵- مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی ماده خشک و عملکرد حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی آنها در مزرعه..... ۵۳
جدول ۲-۵- تحلیل آماری نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop ۵۵

جدول ۳-۵- مقادیر واسنجی شده پارامترهای گیاهی مستقل از تراکم کاشت مدل AquaCrop برای گندم زمستانه در منطقه باجگاه ۵۶
جدول ۴-۵- مقادیر واسنجی شده پارامترهای گیاهی وابسته به تراکم کاشت مدل AquaCrop برای گندم زمستانه در منطقه باجگاه..... ۵۷
جدول ۵-۵- مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی ماده خشک و عملکرد حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل CropSyst و مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی آنها در مزرعه ۵۹
جدول ۶-۵- تحلیل آماری نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل CropSyst ۵۹
جدول ۷-۵- مقادیر واسنجی شده پارامترهای گیاهی مستقل از تراکم کاشت مدل CropSyst برای گندم زمستانه درمنطقه باجگاه ۶۲
جدول ۸-۵- مقادیر واسنجی شده پارامترهای گیاهی وابسته به تراکم کاشت مدل CropSyst برای گندم زمستانه در منطقه باجگاه ۶۳
جدول ۹-۵- تاریخ گلدهی و طول دوره‌ی رشد گندم زمستانه برای منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۶۶
جدول ۱۰-۵- مقادیر ماده‌ی خشک شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف تخلیه بر حسب تن در هکتار در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۶۹
جدول ۱۱-۵- تغییرات تعرّق و ماده‌ی خشک پتانسیل طی سال‌های مختلف برای منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه سازی شده توسط مدل AquaCrop ۷۰
جدول ۱۲-۵- مقدار بارندگی فصل رشد و اختلاف نسبی ماده‌ی خشک تولیدی تیمارها نسبت به حداکثر ماده‌ی خشک در سال‌های زراعی مختلف حسب درصد، محاسبه شده بر اساس نتایج بدست آمده از مدل AquaCrop ۷۱
جدول ۱۳-۵- مقادیر عملکرد دانه، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف تخلیه بر حسب تن در هکتار در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۷۲

جدول ۱۴-۵- مقدار بارندگی فصل رشد و اختلاف نسبی عملکرد تیمارها نسبت به حداکثر عملکرد در هر سال زراعی بر حسب درصد، محاسبه شده بر اساس عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۷۳
جدول ۱۵-۵- مقادیر آب خالص آبیاری فصل رشد(mm)، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۷۶
جدول ۱۶-۵- مقادیر میانگین بلند مدّت آب خالص آبیاری در هر یک از تیمارها برای سال¬های خشک و تر، بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۷۷
جدول ۱۷-۵- تعداد آبیاری‌ها برای هر یک از تیمارهای تخلیه طی سال‌های مختلف و حداکثر عمق خالص آب آبیاری در یک نوبت در منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۷۸
جدول ۱۸-۵- مقادیر (kg/m^3) *NIWUE(B)*، بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۸۱
جدول ۱۹-۵- مقادیر (kg/m^3) *INIWUE(B)*، بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۸۲
جدول ۲۰-۵- مقادیر (kg/m^3) *NIWUE(Y)*، بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۸۴
جدول ۲۱-۵- مقادیر (kg/m^3) *INIWUE(Y)*، بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی شده توسط مل AquaCrop در تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۸۵
جدول ۲۲-۵- تاریخ گلدهی و طول دوره‌ی رشد گندم زمستانه برای منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۸۷

جدول ۲۳-۵- مقادیر ماده‌ی خشک شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst در تیمارهای مختلف تخلیه بر حسب تن در هکتار در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۸۹
جدول ۲۴-۵- اختلاف نسبی ماده‌خشک تیمارها در یک سال زراعی نسبت به حداکثر عملکرد در آن سال زراعی بر حسب درصد، محاسبه شده بر اساس ماده‌ی خشک شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۹۰
جدول ۲۵-۵- تغییرات تعرّق و ماده‌ی خشک پتانسیل طی سال‌های مختلف برای منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه سازی شده توسط مدل CropSyst ۹۱
جدول ۲۶-۵- مقادیر عملکرد دانه، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst در تیمارهای مختلف تخلیه بر حسب تن در هکتار در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۹۲
جدول ۲۷-۵- مقادیر آب خالص آبیاری فصل رشد(mm)، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst در تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۹۴
جدول ۲۸-۵- مقادیر میانگین بلند مدّت آب خالص آبیاری(mm) در هر یک از تیمارها برای سال‌های خشک و تر، بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۹۵
جدول ۲۹-۵- تعداد آبیاری‌ها برای هر یک از تیمارهای تخلیه طی سال‌های مختلف و حداکثر عمق خالص آب آبیاری در یک نوبت در منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۹۶
جدول ۳۰-۵- مقادیر (kg/m^3) *NIWUE(B)*، بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst در تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸..... ۹۹
جدول ۳۱-۵- مقادیر (kg/m^3) *INIWUE(B)*، بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst در تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن برای سالهای ۱۹۷۵ الی ۲۰۰۸ ..... ۱۰۰

جدول ۳۲-۵- ماده‌ی خشک و عملکرد گندم زمستانه در مقادیر مختلف آب آبیاری و سال‌های متمادی در منطقه‌ی پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۱۰۴
جدول ۳۳-۵- میانگین محصول تولیدی گندم زمستانه در منطقه‌ی پایین دست سد درودزن برای سال تر و خشک، محاسبه شده براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های صورت گرفته توسط مدل AquaCrop ۱۰۵
جدول ۳۴-۵- درصد افزایش محصول گندم زمستانه با افزایش مقدار آبیاری، محاسبه شده بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۱۰۹
جدول ۳۵-۵- درصد اختلاف محصول تولیدی به ازاءِ کاربرد ۴۸۰ میلی‌متر آب آبیاری نسبت به محصول پتانسیل گندم در منطقه‌ی پایین دست سد درودزن، محاسبه شده بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل AquaCrop ۱۱۰
جدول ۳۶-۵- کدهای آبیاری برای مقادیر مختلف آب آبیاری که محصول حداکثر به ازاءِ آنها به دست آمده است، مورد استفاده در مدل AquaCrop ۱۱۱
جدول ۳۷-۵- تاریخ هر یک از نوبت های آبیاری گیاه گندم در مقادیر مختلف آب آبیاری در منطقه‌ی پایین دست سد دروردزن در سال‌های مختلف، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۱۱۴
جدول ۳۸-۵- ماده‌ی خشک و عملکرد دانه گندم زمستانه در مقادیر مختلف آب آبیاری و سال‌های متمادی در منطقه‌ی پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۱۲۰
جدول ۳۹-۵- میانگین محصول تولیدی گندم زمستانه در منطقه‌ی پایین دست سد درودزن برای سال تر و خشک، محاسبه شده براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های صورت گرفته توسط مدل CropSyst ۱۲۱
جدول ۴۰-۵- درصد افزایش محصول گندم زمستانه با افزایش مقدار آبیاری، محاسبه شده بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۱۲۲

جدول ۴۱-۵- درصد اختلاف محصول تولیدی به ازاءِ کاربرد ۴۸۰ میلی‌متر آب آبیاری نسبت به محصول پتانسیل گندم در منطقه‌ی پایین دست سد درودزن، محاسبه شده بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل CropSyst ۱۲۵
جدول ۴۲-۵- کدهای آبیاری برای مقادیر مختلف آب آبیاری که محصول حداکثر به ازاءِ آنها به دست آمده است، مورد استفاده در مدل CropSyst ۱۲۶
جدول ۴۳-۵- تاریخ هر یک از نوبت های آبیاری گیاه گندم در مقادیر مختلف آب آبیاری در منطقه‌ی پایین دست سد دروردزن در سال‌های مختلف، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۱۲۷

فهرست شکل ها

عنوان و شماره **صفحه**

شکل ۱-۳- استخراج AquaCrop از معادله (۱-۳) با استفاده از دو مرحله میانی(تفکیک تبخیر از سطح خاک و تعرّق گیاهی، و دستیابی به عملکرد از طریق ماده خشک و شاخص برداشت) ۱۴
شکل ۲-۳- فلوچارت AquaCrop : ارتباط میان مؤلفه های اصلی زنجیره خاک-گیاه-اتمسفر..... ۱۵
شکل ۳-۳- تصویر نمونه‌ای از صفحه نتایج یک شبیه‌سازی توسط مدل AquaCrop ۲۵
شکل ۴-۳- تصویر نمونه‌ای از صفحه نتایج یک شبیه‌سازی توسط مدل CropSyst ۳۶
شکل ۱-۵- مقادیر شبیه‌سازی شده ماده خشک و عملکرد با استفاده از مدل AquaCrop در مقابل مقادیر اندازه گیری شده آنها و مقایسه خط برازش داده شده (خط پر) بین این مقادیر با خط یک به یک(خط چین) برای حالت‌های واسنجی و اعتبار سنجی ۵۴
شکل ۲-۵- مقادیر شبیه‌سازی شده ماده خشک و عملکرد با استفاده از مدل CropSyst در مقابل مقادیر اندازه گیری شده آنها و مقایسه خط برازش داده شده (خط پر) بین این مقادیر با خط یک به یک(خط چین) برای حالت‌های واسنجی و اعتبارسنجی ۶۰
شکل ۳-۵- روند تغییرات تاریخ گلدهی و طول دوره‌ی رشد گندم زمستانه طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۷۵ برای منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۶۶

شکل ۴-۵- تغییرات ماده‌ی خشک و تعرّق پتانسیل در سال‌های مختلف در منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop..... ۷۰
شکل ۵-۵- فراوانی تعداد آبیاری‌ها در منطقه پایین‌دست سد درودزن در آبیاری بر اساس تخلیه، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۷۹
شکل ۶-۵- تغییرات بارندگی فصل رشد و مقادیر حداکثر (*NIWUE(B* طی سال‌های مورد تحقیق، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۸۰
شکل ۷-۵- تغییرات میانگین بلند مدّت *NIWUE(B)* و *INIWUE(B)* برای تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن، محاسبه شده بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۸۳
شکل ۸-۵- تغییرات میانگین بلند مدّت *NIWUE(Y)* و *INIWUE(Y)* برای تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن، محاسبه شده بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۸۶
شکل ۹-۵- تغییرات ماده‌ی خشک و تعرّق پتانسیل در سال‌های مختلف در منطقه پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst..... ۹۱
شکل ۱۰-۵- فراوانی تعداد آبیاری‌ها در منطقه پایین‌دست سد درودزن ، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۹۷
شکل ۱۱-۵- تغییرات بارندگی فصل رشد و مقادیر حداکثر *NIWUE(B)* طی سال‌های مورد تحقیق، شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۱۰۱
شکل ۱۲-۵- تغییرات میانگین بلند مدّت *NIWUE(B)* و *INIWUE(B)* برای تیمارهای مختلف تخلیه در منطقه پایین دست سد درودزن، محاسبه شده بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل CropSyst ۱۰۱
شکل۱۳-۵- ماده‌ی خشک بدست آمده در هر یک از مقادیر آب آبیاری کاربردی برای سال‌های مختلف در منطقه‌پایین دست سد درودزن، شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop ۱۰۸
شکل۱۴-۵- ماده‌ی خشک بدست آمده در هر یک از مقادیر آب آبیاری کاربردی برای سال‌های