بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه کردستان
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

عنوان :

تخمین هوشمند تبخیر و تعرق مرجع با فراوانی‌های متفاوت با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در شهرستان سنندج

پژوهشگر:

سیّد وحیدالدّین رضوانی

استاد راهنما:

دکتر پرویز فتحی

استاد مشاور:

دکتر مهران خدامرادپور

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی

اسفند ماه ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب سیّد وحیدالدّین رضوانی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی گروه مهندسی آب تعهد می نماییم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

سیّد وحیدالدّین رضوانی

۱۳۸۹/۱۲/۱۵

دانشگاه کردستان
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی

عنوان:

تخمین هوشمند تبخیر و تعرق مرجع با فراوانی‌های متفاوت با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در شهرستان سنندج

پژوهشگر:
سیّد وحیدالدّین رضوانی

در تاریخ ۱۵/ ۱۲/ ۱۳۸۹ توسط کمیته تخصصی وهیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکتر پرویز فتحی	استادیار	
۲ـ استاد مشاور	مهران خدامرادپور	مربی	
۳ـ استاد داور خارجی	دکتر بهمن فرهادی	استادیار	
۴ـ استاد داور داخلی	دکتر عیسی معروف‌پور	استادیار	

مهر و امضاء گروه
دانشکده

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی

قطره‌ای بیش نیست...

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

سپاس ایزد باری تعالی را بار دیگر توفیق حاصل نمود که بتوانم یکی دیگر از مراحل زندگی‌ام را با موفقیت به پایان رسانم.

در ابتدا بر خود لازم می‌دانم که از استاد ارجمند و گرانمایه‌ام جناب آقای دکتر هوشنگ قمرنیا که همواره از راهنمایی‌های دلسوزانه ایشان بهره‌مند شده‌ام، تشکر و قدردانی نمایم. از استاد راهنمای گرامی‌ام جناب آقای دکتر پرویز فتحی که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه اینجانب را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. مراتب تقدیر و احترام خود را از استاد گرانقدر سرکارخانم دکتر مهران خدامرادپور، که از مشاوره‌های ارزنده ایشان بسیار بهره گرفتم، ابراز می‌نمایم. بر خود لازم می‌دانم که از استاد ارجمند جناب آقای دکتر عیسی معروف پور که طی تحصیل در این دوره از محضر ایشان بهره‌مند شدم تشکر و قدردانی نمایم.

در نهایت از تمامی دوستان عزیزم کمال تشکر و قدردانی را دارم، باشد که دادار مهربان بر لطایف وجودشان بیفزاید.

سیّد وحیدالدّین رضوانی

۱۳۸۹/۱۲/۱۵

چکیده

محدودیت منابع آبی و وقوع خشکسالی‌های اخیر از مهمترین عواملی است که توسعه‌ی کشاورزی را در مناطق خشک و نیمه خشک تحت تأثیر قرار داده‌است، بنابراین مدیریت منابع آب در این مناطق نقش کلیدی را در توسعه‌ی پایدار کشاورزی بر عهده دارد. استفاده بهینه از منابع آبی مستلزم تخمین دقیق مقدار تبخیر و تعرق مرجع و به تبع آن محاسبه‌ی آب مصرفی محصولات زراعی و باغی می‌باشد. معمولاً در طراحی سیستم‌های آبیاری، از میانگین مقادیر تبخیر و تعرق مرجع برای یک دوره چند ساله‌ی داده-های هواشناسی استفاده می‌شود. در این حالت احتمال وقوع تبخیر و تعرق مرجع استفاده شده ۵۰ درصد می‌باشد. بنابراین سیستم آبیاری که بر این اساس طراحی می‌شود، در یک دوره‌ی ده ساله‌ی آبیاری تنها می‌تواند نیاز آبی گیاهان را در ۵ سال تأمین نماید و در ۵ سال دیگر نیاز آبی گیاه ممکن است بیش از توانایی سیستم برای تأمین آب باشد. در این راستا با توجه به پتانسیل بالای استان کردستان و شهرستان سنندج در تولید محصولات زراعی و باغی، برآورد دقیق تبخیر و تعرق مرجع، در سطوح احتمالاتی مختلف، با استفاده از روش‌های دقیق نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در طراحی دقیق‌تر سیستم‌های آبیاری و استفاده بهینه از منابع آبی به شمار می‌آید. در این تحقیق از داده‌های ۳۰ ساله-ی هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سنندج برای محاسبه تبخیروتعرق با سطوح احتمالاتی مختلف استفاده گردید. ابتدا داده‌های هواشناسی ایستگاه فرودگاهی و غیرمرجع سنندج اصلاح گردید. سپس، با استفاده از داده‌های لایسیمتری، روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع مورد مقایسه قرار گرفت و روش-های منتخب پنمن-مانتیث، هارگریوز-سامانی و تابش فائو نسبت به داده‌های مشاهداتی واسنجی شد. در ادامه امکان استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر و تعرق مرجع مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاکی از برتری این روش نسبت به سایر روش‌های دیگر بود. در ادامه‌ی تحقیق، مقادیر تبخیر و تعرق مرجع روزانه در سطوح احتمال وقوع متفاوت، محاسبه و منحنی‌های مربوط به آن استخراج گردید. همچنین مقادیر تبخیر و تعرق مرجع میانگین روزانه با سطوح احتمالاتی مختلف، برای دوره‌های یک تا ۳۰ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی نیز محاسبه و منحنی‌های مربوط به آن استخراج شد. به منظور سهولت در استفاده از این منحنی‌ها برنامه‌های کامپیوتری متناظر آن‌ها به زبان ویژوال بیسیک نوشته شد. در ادامه امکان استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر و تعرق مرجع با احتمال وقوع مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که اگر از سطح احتمال ۷۵ درصد به جای ۵۰ درصد برای محاسبه تبخیروتعرق مرجع استفاده شود، میزان تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده از روش‌های پنمن-مانتیث، هارگریوز و تابش فائو، به ترتیب ۱۵، ۸.۵ و ۱۲.۴ درصد افزایش می‌یابد و در ازای این افزایش نیاز آبی، درصد ریسک استفاده از سیستم آبیاری به میزان ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی توانایی بسیار بالایی در تخمین میزان تبخیر و تعرق مرجع با سطوح احتمال مختلف در سالهای آتی دارد.

واژگان کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، احتمال وقوع، دوره‌ی حداکثر نیاز آبی، شبکه‌های عصبی مصنوعی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

کلیات و تعاریف ۱

ضرورت و اهداف پژوهش ۲

فصل اول (پیشینه و تاریخچه تحقیق) ٤

۱-۱- اهمیت برآورد دقیق مقدار تبخیر و تعرق..... ۴

۱-۲- مروری بر تحقیقات گذشته..... ۵

۱-۲-۱- تحقیقات انجام شده در جهان..... ۵

۱-۲-۲- تحقیقات انجام شده در ایران..... ۱۱

فصل دوم (تبخیر و تعرق) ۱٦

۲-۱- مفاهیم تبخیر و تعرق..... ۱۶

۲-۱-۱- تبخیر و تعرق پتانسیل..... ۱۶

۲-۱-۲- تبخیر و تعرق مرجع..... ۱۷

۲-۱-۳- تبخیر و تعرق گیاه در شرایط استاندارد..... ۱۷

۲-۱-۴- تبخیر و تعرق گیاه در شرایط غیر استاندارد..... ۱۸

۲-۲- تقسیم بندی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق..... ۱۸

۲-۲-۱- روش تقسیم‌بندی رزنبرگ..... ۱۹

۲-۲-۲- روش تقسیم‌بندی جنسن..... ۱۹

۲-۲-۳- روش سازمان جهانی خوار و بار و کشاورزی ملل متحد (FAO) ۱۹

۲-۳- داده‌های هواشناسی..... ۲۰

۲-۳-۱- گرمای نهان تبخیر(λ) ۲۱

۲-۳-۲- فشار اتمسفر(P) ۲۱

۲-۳-۳- چگالی اتمسفر (ρ) ۲۲

۲-۳-۴- ثابت سایکرومتری (رطوبت سنجی)(γ) ۲۲

۲-۳-۵- فشار بخار اشباع(e_S) ۲۲

۲-۳-۶-شیب منحنی فشار بخار اشباع (Δ)..... ۲۳

۲-۳-۷- فشار بخار واقعی (e_a) ۲۳

۲-۳-۸- کمبود فشار بخار(VPD) ۲۴
۲-۳-۹- تابش فرازمینی (R_a) ۲۴
۲-۳-۱۰- تابش خالص (R_n) ۲۵
۲-۳-۱۱- تابش خالص خورشیدی یا تابش خالص طول موج کوتاه (R_{ns}) ۲۵
۲-۳-۱۲- تابش خورشیدی رسیده به زمین (Rs) ۲۵
۲-۳-۱۳- تابش خورشیدی در آسمان صاف (R_{SO}) ۲۶
۲-۳-۱۴- تابش خالص طول موج بلند (R_{nl}) ۲۶
۲-۳-۱۵- شار گرمایی خاک (G) ۲۷
۲-۳-۱۶- سرعت باد (U) ۲۷
۲-۴- معادلات تبخیر و تعرق ۲۸
۲-۴-۱- روش پنمن اصلاح شده ۳۰
۲-۴-۲- روش بلانی -کریدل فائو ۳۲
۲-۴-۳- روش تابش فائو ۳۳
۲-۴-۴- روش تشت تبخیر فائو ۳۳
۲-۴-۵- روش پنمن-مانتیث ۳۴
۲-۴-۶- روش هارگریوز-سامانی ۳۵
۲-۵- تبخیر و تعرق روزانه با سطوح احتمال وقوع معین ۳۵
فصل سوم (شبکه‌های عصبی مصنوعی) ۳۷
۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- ساختار شبکه‌های عصبی زیستی ۳۸
۳-۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۹
۳-۳-۱- مدلسازی سیناپس ۳۹
۳-۳-۲- مدلسازی هسته‌ی سلول ۳۹
۳-۳-۳- مدلسازی اکسون ۳۹
۳-۳-۴- معماری شبکه ۴۰
۳-۴- توابع محرک مورد استفاده در شبکه‌های عصبی ۴۱
۳-۵- مفهوم یادگیری ۴۲
۳-۶- انواع شبکه های عصبی مصنوعی ۴۳
۳-۶-۱- شبکه‌های تک لایه ۴۳

۳-۶-۲- شبکه‌های چند لایه ۴۴
۳-۶-۴- شبکه‌های عصبی برگشتی..... ۴۴
۳-۶-۵- شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه..... ۴۴
۳-۶-۶- شبکه عصبی مصنوعی مبتنی بر تابع پایه‌ی شعاعی..... ۴۴
فصل چهارم (مواد و روش‌ها) ٤٥
۴-۱- مقدمه..... ۴۵
۴-۲- مشخصات و اطلاعات مربوط به منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۴۵
۴-۳- موقعیت جغرافیایی ایستگاه هواشناسی سنندج..... ۴۷
۴-۴- داده‌های هواشناسی مورد استفاده..... ۴۸
۴-۴-۱- سرعت باد..... ۴۸
۴-۴-۲- دمای هوا..... ۴۹
۴-۴-۳- ساعات آفتابی..... ۵۰
۴-۴-۴- رطوبت نسبی..... ۵۰
۴-۵- اصلاح داده‌های هواشناسی..... ۵۱
۴-۶- انتخاب روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع..... ۵۵
۴-۷- واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع..... ۵۸
۴-۸- استخراج منحنی‌های توزیع تبخیر و تعرق با سطوح احتمال وقوع متفاوت..... ۶۱
۴-۸-۱- جداسازی تبخیر و تعرق روزانه برای هر روز از سال، از بقیه‌ی روزها..... ۶۱
۴-۸-۲- محاسبه‌ی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه..... ۶۲
۴-۸-۳- استخراج منحنی‌ها..... ۷۰
۴-۹- استخراج منحنی‌های تبخیر و تعرق روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت، در دوره‌های ۱ تا ۳۰ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی..... ۷۷
۴-۹-۱- تعیین دوره‌ی حداکثر نیاز آبی..... ۷۷
۴-۹-۲- محاسبه‌ی تبخیر و تعرق روزانه در دوره‌ی حداکثر نیاز آبی با احتمال وقوع متفاوت..... ۸۴
۴-۹-۳- استخراج منحنی‌ها..... ۸۸
۴-۱۰- بسط مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی..... ۹۵
۴-۱۰-۱- پردازش مقدماتی داده‌ها..... ۹۵
۴-۱۰-۲- تقسیم بندی داده ها..... ۹۵
۴-۱۰-۳- نوع شبکه و معیار طراحی..... ۹۶

۴-۱۰-۴- معماری شبکه ۹۷
۴-۱۱- بسط مدل شبکه‌ی عصبی مبتنی بر ورودی‌های روش پنمن-مانتیث ۹۷
۴-۱۲- بسط مدل شبکه‌ی عصبی مبتنی بر دما ۹۸
۴-۱۳- پیش بینی تبخیر و تعرق مرجع روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت ۹۹
۴-۱۳-۱- روش پنمن-مانتیث ۹۹
۴-۱۳-۲- روش هارگریوز-سامانی ۱۰۴
۴-۱۳-۳- روش تابش فائو ۱۰۵
۴-۱۴- پیش‌بینی تبخیر و تعرق مرجع روزانه در دوره‌های ۱ تا ۳۰ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی و با سطوح احتمال وقوع متفاوت ۱۰۷
۴-۱۴-۱- روش پنمن-مانتیث ۱۰۷
۴-۱۴-۲- روش هارگریوز-سامانی ۱۰۹
۴-۱۴-۳- روش تابش فائو ۱۱۰
۴-۱۵- آنالیز حساسیت ۱۱۱
فصل پنجم (نتایج و بحث) ۱۱۳
مقدمه ۱۱۳
۵-۱- مقایسه‌ی مدل‌های تبخیر و تعرق با استفاده از دیاگرام تیلور ۱۱۳
۵-۲- استخراج منحنی‌های توزیع تبخیر و تعرق روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت ۱۱۵
۵-۳- استخراج منحنی‌های توزیع تبخیر و تعرق روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت برای دوره‌ی ۱ تا ۳۰ روزه‌ی نیاز آبی ۱۲۰
۵-۴-پیش‌بینی مقدار تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مبتنی بر ورودی‌های روش پنمن-مانتیث ۱۲۵
۵-۵-پیش‌بینی مقدار تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مبتنی بر دما ۱۲۷
۵-۶- بسط مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی جهت پیش بینی تبخیر و تعرق مرجع روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت ۱۲۹
۵-۶-۱- مقایسه‌ی کیفی ۱۲۹
۵-۶-۲- مقایسه‌ی کمی ۱۳۱
۵-۶-۳- آنالیز حساسیت ۱۳۲
۵-۷- بسط مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی تبخیر و تعرق مرجع روزانه در دوره‌های ۱ تا ۳۰ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت ۱۳۲
۵-۷-۱- مقایسه‌ی کیفی ۱۳۲

۵-۷-۲- مقایسه‌ی کمی..... ۱۳۴
۵-۷-۳- آنالیز حساسیت..... ۱۳۵
جمع‌بندی..... ۱۳۵
پیشنهادات ۱۳۷
منابع..... ۱۳۸
پیوست ۱..... ۱٤٤
پیوست ۲..... ۱٤٥

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: داده‌های هواشناسی مورد نیاز در روش‌های پیشنهادی نشریه‌ی فائو۲۴..... ۲۹

جدول ۲-۲: عملکرد روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق با توجه به مطالعات ASCE ۳۱

جدول ۲-۳: مقادیر C_n و C_d در رابطه‌ی (۲-۴۱) ۳۴

جدول ۲-۴: سطح احتمال وقوع‌های توصیه شده در طراحی سیستم‌های آبیاری..... ۳۶

جدول ۳-۱: توابع انتقال مورد استفاده در تحقیق ۴۱

جدول ۴-۱: نتایج مقایسه‌ی روش‌های مختلف با داده‌های لایسیمتری..... ۵۸

جدول ۴-۲: نمونه‌ای از جداول تبخیر و تعرق روزانه برای هر روز از سال (روش پنمن-مانتیث) ۶۲

جدول ۴-۳: نمونه‌ای از جداول تبخیر و تعرق روزانه برای هر روز از سال (روش هارگریوز-سامانی) ۶۳

جدول ۴-۴: نمونه‌ای از جداول تبخیر و تعرق روزانه برای هر روز از سال (روش تابش فائو) ۶۴

جدول ۴-۵: نمونه‌ای از جداول توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای روز ۱۵۵ ام از سال(روش پنمن-مانتیث) ۶۵

جدول ۴-۶: نمونه‌ای از جداول توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای روز ۱۵۵ ام از سال(روش هارگریوز-سامانی) ۶۶

جدول ۴-۷: نمونه‌ای از جداول توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای روز ۱۵۵ ام از سال(روش تابش فائو) ۶۷

جدول ۴-۸: مقادیر محاسبه شده‌ی ET_O روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت(ET_O روزانه برای ماه ژانویه و با روش پنمن-مانتیث محاسبه شده است) ۷۱

جدول ۴-۹: مقادیر محاسبه شده‌ی ET_O روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت(ET_O روزانه برای ماه ژانویه و با روش هارگریوز-سامانی محاسبه شده است) ۷۲

جدول ۴-۱۰: مقادیر محاسبه شده‌ی ET_O روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت(ET_O روزانه برای ماه ژانویه و با روش تابش فائو محاسبه شده است) ۷۳

جدول ۴-۱۱: بخشی از مقادیر میانگین‌های متحرک تبخیر و تعرق مرجع روزانه برای دوره‌های ۱ تا ۳۰ روزه- سال ۱۹۸۶(با استفاده از روش پنمن-مانتیث) ۷۸

جدول ۴-۱۲: بخشی از مقادیر میانگین‌های متحرک تبخیر و تعرق مرجع روزانه برای دوره‌های ۱ تا ۳۰ روزه- سال ۱۹۸۶ (با استفاده از روش هارگریوز-سامانی) ۷۹

جدول ۴-۱۳: بخشی از مقادیر میانگین‌های متحرک تبخیر و تعرق مرجع روزانه برای دوره‌های ۱ تا ۳۰ روزه- سال ۱۹۸۶ (با استفاده از روش تابش فائو) ۸۰

جدول ۴-۱۴: مقادیر ماکزیمم ETo میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی برای دوره ی آماری ۳۰ ساله (با استفاده از روش پنمن-مانتیث) ۸۱

جدول ۴-۱۵: مقادیر ماکزیمم ETo میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی برای ۸۲

دوره ی آماری ۳۰ ساله (با استفاده از روش هارگریوز-سامانی) .....
جدول ۴-۱۶: مقادیر ماکزیمم ETo میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی برای دوره ی آماری ۳۰ ساله (با استفاده از روش تابش فائو) ۸۳
جدول ۴-۱۷: نمونه‌ای از جداول توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای دوره‌ی ۳۰ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی(محاسبات بر اساس روش پنمن-مانتیث است) ۸۴
جدول ۴-۱۸: نمونه‌ای از جداول توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای دوره‌ی ۳۰ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی(محاسبات بر اساس روش هارگریوز-سامانی است) ۸۵
جدول ۴-۱۹: نمونه‌ای از جداول توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای دوره‌ی ۳۰ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی(محاسبات بر اساس روش تابش فائو است) ۸۶
جدول ۴-۲۰: مقادیر تبخیر و تعرق میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت (مقادیر تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از روش پنمن-مانتیث محاسبه شده است)..... ۹۲
جدول ۴-۲۱: مقادیر تبخیر و تعرق میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت(مقادیر تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از روش‌هارگریوز-سامانی محاسبه شده است) ۹۳
جدول ۴-۲۲: مقادیر تبخیر و تعرق میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت(مقادیر تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از روش تابش فائو محاسبه شده است) ۹۴
جدول ۴-۲۳: مشخصات طراحی شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی تبخیر و تعرق (مبتنی بر ورودی‌های پنمن-مانتیث)..... ۹۸
جدول ۴-۲۴: مشخصات طراحی شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی تبخیر و تعرق (مبتنی بر دما)..... ۹۹
جدول ۴-۲۵: مشخصات فنی شبکه‌ی پیش فرض برای تعیین تعداد تکرار اولیه..... ۹۹
جدول ۴-۲۶: مقادیر خطای صحت سنجی شبکه، با تعداد نرون‌های مختلف..... ۱۰۰
جدول ۴-۲۷: مقادیر خطای صحت سنجی و ضریب همبستگی برای توابع انتقال مختلف (حالتی که توابع انتقال لایه‌ی مخفی و خروجی یکسان باشد) ۱۰۱
جدول ۴-۲۸: مقادیر خطای صحت سنجی و ضریب همبستگی برای توابع انتقال مختلف (حالتی که تابع انتقال خروجی Linear Axon باشد) ۱۰۱
جدول ۴-۲۹: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری مومنتوم(روش پنمن-مانتیث)..... ۱۰۳
جدول ۴-۳۰: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری لونبرگ-مارکوارت(روش پنمن-مانتیث)..... ۱۰۳
جدول ۴-۳۱: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری انتشار سریع(روش هارگریوز-سامانی)..... ۱۰۴
جدول ۴-۳۲: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری مومنتوم(روش هارگریوز- ۱۰۴

سامانی).....
جدول ۴-۳۳: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری لونبرگ-مارکوارت(روش هارگریوز-سامانی)..... ۱۰۵
جدول ۴-۳۴: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری انتشار سریع(روش تابش فائو)..... ۱۰۵
جدول ۴-۳۵: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری مومنتوم(روش تابش فائو)..... ۱۰۶
جدول ۴-۳۶: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری لونبرگ-مارکوارت(روش تابش فائو).. ۱۰۶
جدول ۴-۳۷: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری انتشار سریع(روش پنمن-مانتیث)..... ۱۰۷
جدول ۴-۳۸: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری مومنتوم(روش پنمن-مانتیث)..... ۱۰۸
جدول ۴-۳۹: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری لونبرگ-مارکوارت(روش پنمن-مانتیث)..... ۱۰۸
جدول ۴-۴۰: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری انتشار سریع(روش هارگریوز-سامانی)..... ۱۰۹
جدول ۴-۴۱: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری مومنتوم(روش هارگریوز-سامانی)..... ۱۰۹
جدول ۴-۴۲: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری لونبرگ-مارکوارت(روش هارگریوز-سامانی)..... ۱۱۰
جدول ۴-۴۳: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری انتشار سریع(روش تابش فائو)..... ۱۱۰
جدول ۴-۴۴: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری مومنتوم(روش تابش فائو)..... ۱۱۱
جدول ۴-۴۵: نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از قانون یادگیری لونبرگ-مارکوارت(روش تابش فائو)..... ۱۱۱
جدول ۵-۱: جدول خطاها(RMSE) قبل و بعد از واسنجی در مقایسه با داده‌های مشاهداتی..... ۱۱۵
جدول ۵-۲: مقادیر ماکزیمم تبخیر و تعرق روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت..... ۱۱۸
جدول ۵-۳: اختلاف مقادیر تبخیر و تعرق روزانه برای روز ماکزیمم نیاز آبی، با سطوح احتمال وقوع متفاوت... ۱۱۸
جدول ۵-۴: تاریخ وقوع حداکثر نیاز آبی با طول دوره‌های مختلف..... ۱۲۴
جدول ۵-۵: مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از مدل شبکه‌ی عصبی و سایر مدل‌های تبخیر و تعرق..... ۱۲۵
جدول ۵-۶: مقایسه‌ی کمی تبخیر و تعرق حاصل از مدل شبکه‌ی عصبی و داده‌های مشاهداتی..... ۱۲۸
جدول ۵-۷: مقایسه‌ی کمی تبخیر و تعرق حاصل از مدل شبکه‌ی عصبی و روش محاسباتی مرسوم (داده‌های مشاهداتی) برای سطوح احتمال وقوع متفاوت..... ۱۳۱
جدول ۵-۸: مقایسه‌ی کمی تبخیر و تعرق حاصل از مدل شبکه‌ی عصبی و روش محاسباتی مرسوم (داده‌های مشاهداتی) برای دوره‌های ۱ تا ۳۰ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت..... ۱۳۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: تبخیر و تعرق مرجع (ETO) ۱۷

شکل ۲-۲: تبخیر و تعرق گیاه در شرایط استاندارد (ETC) ۱۸

شکل ۲-۳: تبخیر و تعرق گیاه در شرایط غیر استاندارد (ETC-adj) ۱۸

شکل ۳-۱: ساختمان یک سلول عصبی زیستی..... ۳۸

شکل ۳-۲: مدل ریاضی نرون به صورت شماتیک..... ۳۹

شکل ۳-۳: ساختار کلی یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی..... ۴۰

شکل ۳-۴: نمونه‌ای از یک شبکه‌ی عصبی تک لایه..... ۴۳

شکل ۴-۱: توزیع اراضی زیر کشت در شهرستان سنندج..... ۴۶

شکل ۴-۲: موقعیت شهرستان سنندج در کشور و استان کردستان..... ۴۷

شکل ۴-۳: تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر از سطح زمین در طول سال..... ۴۹

شکل ۴-۴: مقایسه‌ی روند تغییرات دمای ماکزیمم و مینیمم در طول سال..... ۴۹

شکل ۴-۵: تغییرات دمای ماکزیمم و مینیمم در طول سال..... ۵۰

شکل ۴-۶: مقایسه‌ی روند تغییرات رطوبت نسبی ماکزیمم و مینیمم در طول سال..... ۵۱

شکل ۴-۷: نمودار Tmin در مقابل Rain/ETO ۵۲

شکل ۴-۸: نمودار Tmax در مقابل Rain/ETO ۵۲

شکل ۴-۹: نمودار Tdew در مقابل Rain/ETO ۵۲

شکل ۴-۱۰: نمودار Tmin-Tdew در مقابل Rain/ETO..... ۵۳

شکل ۴-۱۱: مقایسه‌ی مقدار تبخیر و تعرق مرجع روزانه بدون اصلاح دما و با در نظر گرفتن اصلاحات دما..... ۵۵

شکل ۴-۱۲: مقایسه‌ی روش پنمن-مانتیث فائو با داده‌های لایسیمتری..... ۵۶

شکل ۴-۱۳: مقایسه‌ی روش پنمن اصلاح شده با داده‌های لایسیمتری..... ۵۶

شکل ۴-۱۴: مقایسه‌ی روش هارگریوز-سامانی با داده‌های لایسیمتری..... ۵۷

شکل ۴-۱۵: مقایسه‌ی روش تابش فائو با داده‌های لایسیمتری..... ۵۷

شکل ۴-۱۶: واسنجی روش پنمن-مانتیث فائو با توجه به داده‌های لایسیمتری..... ۵۸

شکل ۴-۱۷: واسنجی روش هارگریوز-سامانی با توجه به داده‌های لایسیمتری..... ۵۹

شکل ۴-۱۸: واسنجی روش تابش فائو با توجه به داده‌های لایسیمتری..... ۵۹

شکل ۴-۱۹: مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از روش پنمن-مانتیث قبل و بعد از واسنجی..... ۶۰

شکل ۴-۲۰: مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از روش هارگریوز-سامانی قبل و بعد از واسنجی..... ۶۰
شکل ۴-۲۱: مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از روش تابش فائو قبل و بعد از واسنجی..... ۶۱
شکل ۴-۲۲: نمودار توزیع احتمال وقوع تجمعی تبخیر و تعرق روزانه (مقادیر ETo روزانه برای روز ۲۹۰ ام از سال است و با استفاده از روش پنمن-مانتیث محاسبه شده است)..... ۶۸
شکل ۴-۲۳: نمودار توزیع احتمال وقوع تجمعی تبخیر و تعرق روزانه (مقادیر ETo روزانه برای روز ۲۹۰ ام از سال است و با استفاده از روش هارگریوز-سامانی محاسبه شده است)..... ۶۹
شکل ۴-۲۴: نمودار توزیع احتمال وقوع تجمعی تبخیر و تعرق روزانه (مقادیر ETo روزانه برای روز ۲۹۰ ام از سال است و با استفاده از روش تابش فائو محاسبه شده است)..... ۶۹
شکل ۴-۲۵: نمودار توزیع ETo روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت برای منطقه سنندج (مقادیر ETo روزانه با استفاده از روش پنمن-مانتیث محاسبه شده است) ۷۴
شکل ۴-۲۶: نمودار توزیع ETo روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت برای منطقه سنندج (مقادیر ETo روزانه با استفاده از روش هارگریوز-سامانی محاسبه شده است) ۷۵
شکل ۴-۲۷: نمودار توزیع ETo روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت برای منطقه سنندج (مقادیر ETo روزانه با استفاده از روش تابش فائو محاسبه شده است) ۷۶
شکل ۴-۲۸: نمودار توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای دوره‌ی ۷ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی (مقادیر ETo با استفاده از روش پنمن-مانتیث محاسبه شده است) ۸۷
شکل ۴-۲۹: : نمودار توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای دوره‌ی ۷ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی (مقادیر ETo با استفاده از روش هارگریوز-سامانی محاسبه شده است) ۸۷
شکل ۴-۳۰: : نمودار توزیع تجمعی احتمال وقوع تبخیر و تعرق روزانه برای دوره‌ی ۷ روزه‌ی حداکثر نیاز آبی (مقادیر ETo با استفاده از روش تابش فائو محاسبه شده است) ۸۸
شکل ۴-۳۱: نمودار تبخیر و تعرق میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت (مقادیر تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از روش پنمن-مانتیث محاسبه شده است) ۸۹
شکل ۴-۳۲: نمودار تبخیر و تعرق میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت (مقادیر تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از روش هارگریوز-سامانی محاسبه شده است) ۹۰
شکل ۴-۳۳: نمودار تبخیر و تعرق میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی با سطوح احتمال وقوع متفاوت(مقادیر تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از روش تابش فائو محاسبه شده است).. ۹۱
شکل ۴-۳۴: طرح شماتیک شبکه‌ی عصبی، به منظور پیش‌بینی تبخیر و تعرق مبتنی بر ورودی‌های روش پنمن-مانتیث..... ۹۷
شکل ۴-۳۵: طرح شماتیک شبکه‌ی عصبی، به منظور پیش‌بینی تبخیر و تعرق مبتنی بر دما..... ۹۸
شکل ۴-۳۶: تعیین تکرار اولیه برای آموزش شبکه با استفاده از قانون یادگیری انتشار سریع..... ۱۰۰
شکل ۴-۳۷: تعیین تکرار نهایی برای آموزش شبکه با استفاده از قانون یادگیری انتشار سریع..... ۱۰۲
شکل ۴-۳۸: مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل با استفاده از داده‌های صحت ۱۰۲

سنجی.....
شکل ۵-۱: نمودار تیلور مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده با روش‌های مختلف ، با توجه به داده‌های لایسیمتری..... ۱۱۴
شکل ۵-۲: نمودار توزیع ETo روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت برای منطقه سنندج(پنمن-مانتیث)..... ۱۱۶
شکل ۵-۳: نمودار توزیع ETo روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت برای منطقه سنندج (هارگریوز-سامانی) ۱۱۶
شکل ۵-۴: نمودار توزیع ETo روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت برای منطقه سنندج(تابش فائو)..... ۱۱۷
شکل ۵-۵: مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده با روش‌های مختلف و سطوح احتمال وقوع متفاوت..... ۱۱۹
شکل ۵-۶: نمایی از نرم افزار مربوط به محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مرجع روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت در شهرستان سنندج..... ۱۲۰
شکل ۵-۷: نمودار توزیع مقادیر ETo میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی (پنمن-مانتیث) ۱۲۱
شکل ۵-۸: نمودار توزیع مقادیر ETo میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی (هارگریوز-سامانی) ۱۲۲
شکل ۵-۹: نمودار توزیع مقادیر ETo میانگین روزانه برای دوره های یک تا ۳۰ روزه ی حداکثر نیاز آبی (تابش فائو) ۱۲۲
شکل ۵-۱۰: نمایی از نرم افزار مربوط به محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مرجع میانگین روزانه با سطوح احتمال وقوع متفاوت و دوره‌های مختلف حداکثر نیاز آبی در شهرستان سنندج..... ۱۲۳
شکل ۵-۱۱: مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و مشاهداتی..... ۱۲۵
شکل ۵-۱۲: نمودار تیلور مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده با روش‌های مختلف ، با توجه به داده‌های لایسیمتری..... ۱۲۶
شکل ۵-۱۳: مقادیر ضریب حساسیت نسبی مدل شبکه‌ی عصبی نسبت به متغیرهای ورودی..... ۱۲۷
شکل ۵-۱۴: مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و مشاهداتی..... ۱۲۷
شکل ۵-۱۵: نمودار تیلور مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده با روش‌های مختلف ، با توجه به داده‌های لایسیمتری..... ۱۲۸
شکل ۵-۱۶: مقادیر ضریب حساسیت نسبی مدل شبکه‌ی عصبی نسبت به متغیرهای ورودی..... ۱۲۹
شکل ۵-۱۷: مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مرحله‌ی آزمون شبکه (روش پنمن-مانتیث)... ۱۳۰
شکل ۵-۱۸: مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مرحله‌ی آزمون شبکه (روش هارگریوز)..... ۱۳۰
شکل ۵-۱۹: مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مرحله‌ی آزمون شبکه (روش تابش فائو)..... ۱۳۱
شکل ۵-۲۰: مقادیر ضریب حساسیت نسبی مدل‌های مختلف نسبت به متغیرهای ورودی..... ۱۳۲
شکل ۵-۲۱: مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مرحله‌ی آزمون شبکه (روش پنمن-مانتیث)... ۱۳۳
شکل ۵-۲۲: مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مرحله‌ی آزمون شبکه (روش هارگریوز-سامانی)..... ۱۳۳

شکل ۵-۲۳: مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مرحله‌ی آزمون شبکه (روش تابش فائو)..... ۱۳۴
شکل ۵-۲۴: مقادیر ضریب حساسیت نسبی مدل‌های مختلف نسبت به متغیرهای ورودی..... ۱۳۵