بسم الله الرحمن الرحيم

٩٤٣٠٨

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی آب
(آبیاری و زهکشی)

تخمین تبخیر- تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع روزانه و ۲۴ ساعته با روش شبکه های عصبی مصنوعی و بدون اندازه گیری تابش و باد

توسط:
فاطمه ده بزرگی

استاد راهنما:
دکتر علیرضا سپاسخواه

۱۳۸۷/۹/۲۳

مرداد ۸۷

۴۴۲۰۸

به نام خدا

تخمین تبخیر- تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع روزانه و ۲۴ ساعته با روش شبکه های عصبی مصنوعی و بدون اندازه گیری تابش و باد

به وسیله ی:

فاطمه ده بزرگی

پایان نامه

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

در رشته ی:

آبیاری و زهکشی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

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

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

دکتر شاهرخ زند پارسا، استادیار بخش مهندسی آب .....

دکتر علیرضا کشاورزی، دانشیار بخش مهندسی آب .....

مرداد ۱۳۸۷

تقدیم به

پدرم

یگانه مردی که مرا با عشق پروراند و آغوش پر مهرش را با دنیا عوض نمی کنم.

مادرم

نازنینی که هستیم از اوست و دامن پاکش مأمن ابدی من است.

برادرانم

مهدی، هادی و امیر حسین، ستون های استوار زندگیم که بودن در کنارشان به من آرامش می بخشد.

سپاسگزاری

خدایا هیچ کس را یارای آن نیست که از عهده شکر تو برآید، جز آن که بر اثر احسان تو، شکری دیگر بر او لازم می آید؛ و در اطاعت و بندگیت، هر چند که بکوشد، به جایی نمی رسد، جز آن که در برابر استحقاق تو، به سبب فضل و احسانت، کوتاهی ورزیده است. پس سپاسگزارترین بندگانت، در ادای حق سپاس گزاری از تو ناتوان اند و پرستنده ترین ایشان در طاعت گزاری تو خطاکار.

خدای مهربانم اینک که یک بار دیگر همچون همیشه دستم را به گرمی فشردی و یاریم نمودی تو را سپاس می گویم. از این که در این مسیر مرا قرار دادی و قدم به قدم مرا پیش بردی شاکرم. در لحظه های دشوار زندگی یاد تو به من دلگرمی می داد و امید به تو چراغ راهم بود.

از این که افتخار شاگردی در محضر استاد گران قدر جناب آقای دکتر علیرضا سپاسخواه را داشته ام به خود می بالم. از ایشان به خاطر تمامی زحمات و رهنمود های پدرانه و دل سوزانه ای که در طول انجام این پایان نامه نمودند کمال تشکر و قدردانی را می نمایم.

از جناب آقای دکتر علی اکبر کامگار حقیقی، استاد مشاور عزیزم که دل سوزانه مرا راهنمایی نمودند، بسیار سپاسگزارم. از آقایان دکتر شاهرخ زند پارسا و دکتر علیرضا کشاورزی، اساتید مشاورم، به خاطر راهنمایی های صمیمانه ای که نمودند قدر دانی می کنم. از کلیه اساتید بخش مهندسی آب که همه در دانش اندوزی من سهمی به سزا داشته اند تشکر می کنم.

تشکری ویژه دارم از سرکار خانم دکتر مریم دهقانی که در یادگیری نرم افزار مطلب مرا بسیار راهنمایی نموده اند.

از خانواده دلسوزم که صبورانه مرا درک کردند و همیشه از همدلی های ایشان بهره برده ام، بی نهایت سپاسگزارم. از تمام دوستان خوبم به ویژه خانم ها نجمه یرمی و بهناز تجلی زاده خوب که مایه امید من بودند تشکر می نمایم. دست همگی عزیزان را می بوسم و از خداوند متعال برای ایشان عمری سرشار از عزت مسئلت می نمایم.

چکیده

تخمین تبخیر- تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع روزانه و ۲۴ ساعته با روش شبکه های عصبی مصنوعی و بدون اندازه گیری تابش و باد

توسط:

فاطمه ده بزرگی

تخمین صحیح تبخیر – تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع برای همه کاربرد های هیدرولوژی و کشاورزی مهم است. در مناطق خشک و نیمه خشک منابع آب محدود هستند. در این مناطق تخمین دقیق نیاز آبی گیاه، لازم و ضروری است؛ تا بتوان به کمک آن طراحی و مدیریت مناسبی برای منابع آب قابل دسترس ارائه داد. دو لایسیمتر وزنی در ایستگاه تحقیقاتی کوشکک دانشگاه شیراز واقع در شمال شهر شیراز نصب گردیده است. در این تحقیق داده های هواشناسی و وزن لایسیمتر از اول مهر ماه ۱۳۸۳ تا ۲۹ اسفند ماه ۱۳۸۵ مورد استفاده قرار گرفته است. معادلات پنمن – فائو و پنمن – مانتیت روزانه و ۲۴ ساعته در شرایط عدم ثبت داده باد و همچنین عدم ثبت داده های تابش رسیده به سطح زمین و باد با استفاده از داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر واسنجی شده و مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که این معادلات به خوبی قادر به تخمین تبخیر – تعرق سطوح گیاهی مرجع در شرایط عدم وجود داده باد و همچنین عدم وجود داده های تابش رسیده به سطح زمین و باد می باشند. نتایج معادله پنمن – فائو روزانه از دقت بالاتری نسبت به معادله پنمن – مانتیت برخوردار می باشد. برای حالت ۲۴ ساعته نتایج معادله پنمن – مانتیت از دقت بالاتری برخوردار می باشد. با توجه به این که معادلات نظری برای محاسبه تبخیر – تعرق سطوح گیاهی مرجع به داده های هواشناسی زیادی نیاز دارند، معادله ای تجربی برای تخمین تبخیر – تعرق سطوح گیاهی مرجع بر اساس تعداد محدودی داده هواشناسی (میانگین دمای هوا، ساعت آفتابی و میانگین رطوبت نسبی) برای منطقه کوشکک واسنجی شده و ارزیابی گردید. در تخمین ET_o معمولاً سهم تبخیر – تعرق شبانه ناچیز در نظر گرفته می شود، در حالیکه همیشه چنین نیست. با محاسبه تبخیر – تعرق شبانه تلفات آبیاری در شب نیز قابل محاسبه خواهد بود. در این پژوهش میانگین تبخیر – تعرق شبانه و ۲۴ ساعته در ماه های گرم تعیین شده است. نتایج نشان داد که مقدار میانگین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته، شبانه و درصد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن در کل سال به ترتیب برابر ۷ میلی متر، ۰/۳ میلی متر و ۵٪ – ۴٪ می باشد. با توجه به این که استفاده از لایسیمتر وزنی دقیق ترین روش برای تعیین ET_o می باشد، ولی استفاده از آن بسیار هزینه بر و وقت گیر است بنابراین استفاده از روش های تخمینی نظیر شبکه عصبی مصنوعی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این پژوهش دو ترکیب ورودی از داده ها به شبکه مورد بررسی قرار گرفته است: شش داده هواشناسی ورودی شامل دمای بیشینه و کمینه، رطوبت نسبی بیشینه و کمینه، سرعت باد و ساعت آفتابی و چهار داده ورودی شامل دمای بیشینه و کمینه، رطوبت نسبی بیشینه و کمینه. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی به خوبی قادر به تخمین تبخیر – تعرق سطوح گیاهی مرجع می باشد. مقایسه نتایج شبکه عصبی مصنوعی با نتایج معادلات پنمن – فائو و پنمن – مانتیت نشان داد که نتایج شبکه عصبی ۲۴ ساعته بهتر از نتایج روش پنمن – فائو می باشد و تقریباً با نتایج روش پنمن – مانتیت مشابه است و برای حالت روزانه نتایج شبکه عصبی بهتر از نتایج روش پنمن – فائو و روش پنمن – مانتیت می باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: مروری بر پژوهش های گذشته	۴
۲ - ۱ – تخمین تبخیر – تعرق گیاه مرجع	۴
۲ - ۲ – تخمین تبـخیر – تعرق گیاه مرجع با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی (ANNs)	۸
فصل سوم: اصول نظری پژوهش	۱۱
۳ – ۱ – معادله پنمن – فائو	۱۱
۳ – ۲ – معادله پنمن – مانتیت	۱۳
۳ – ۳ – شبکه های عصبی مصنوعی	۱۹
۳ – ۳ – ۱ – سلول عصبی بیولوژیکی	۱۹
۳ – ۳ – ۲ – سلول عصبی مصنوعی	۲۰
۳ – ۳ – ۲ – ۱ – نرون تک ورودی	۲۱
۳ – ۳ – ۳ – توابع محرک	۲۲
۳ – ۳ – ۴ – نرون با بردار ورودی	۲۲
۳ – ۳ – ۵ – ساختار شبکه های عصبی	۲۳
۳ – ۳ – ۵ – ۱ – شبکه های پیشخور	۲۳
۳ – ۳ – ۵ – ۱ – ۱ - یک لایه نرون	۲۴
۳ – ۳ – ۵ – ۱ – ۲ - شبکه چند لایه نرون	۲۵
۳ – ۳ – ۵ – ۲ – شبکه های برگشتی یا پسخوردار	۲۷

عنوان	صفحه
۳ – ۳ – ۶ – روش های آموزش شبکه	۲۷
۳ – ۳ – ۶ – ۱ – الگوریتم پس انتشار خطا	۲۷
۳ – ۳ – ۶ – ۲ – بهبود الگوریتم پس انتشار خطا	۲۹
۳ – ۳ – ۶ – ۲ – ۱ - نرخ یادگیری متغیر (VLR)	۲۹
۳ – ۳ – ۷ – پیش پردازش و پس پردازش	۳۰
۳ – ۴ – معیار های آماری	۳۱
۳ – ۴ – ۱ – مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	۳۱
۳ – ۴ – ۲ – میانگین قدر مطلق خطا (MAE)	۳۱
۳ – ۴ – ۳ – شاخص تطابق (d)	۳۱
۳ – ۴ – ۴ – مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)	۳۲
۳ – ۴ – ۵ – بازده مدل (EF)	۳۲
فصل چهارم: مواد و روش ها	۳۳
۴ - ۱ - مشخصات محل آزمایش	۳۳
۴ - ۲ - روش پژوهش	۳۳
۴ - ۲ - ۱ – تعیین میزان تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از لایسیمتر وزنی	۳۳
۴ - ۲ - ۲- صاف کردن داده های هواشناسی و تبخیر – تعرق	۳۴
۴ – ۲ – ۳ - اصلاح داده های رطوبت نسبی	۳۵
۴ - ۲ - ۴- تعیین ضرایب یک معادله تجربی	۳۷
۴ - ۲ - ۵- تعیین میزان تبخیر – تعرق از دو رابطه پنمن - فائو و پنمن – مانتیت به صورت روزانه و ۲۴ ساعته در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۳۷
۴ - ۲ - ۶- تخمین تبخیر - تعرق با استفاده از شبکه های عصبی	۳۹
۴ - ۲ – ۶ - ۱ – مراحل مختلف در تخمین تبخیر - تعرق با استفاده از شبکه های عصبی	۳۹
فصل پنجم: نتایج و بحث	۴۲
۵ – ۱ – پنمن – فائو	۴۲

عنوان	صفحه
۵ – ۱ – ۱ - تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد	۴۲
۵ – ۱ – ۱ – ۱ - مقایسه نتایج تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع در شرایط عدم وجود داده باد با داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر	۴۲
۵ – ۱ – ۱ - ۲ – با استفاده از ضریب تابش مالک	۴۴
۵ – ۱ – ۱ - ۳ – با استفاده از ضریب تابش مالک و ضریب اصلاح واسنجی شده رزاقی	۴۴
۵ – ۱ – ۱ - ۴ - اصلاح ضرایب معادله پنمن – فائو برای تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ساعته گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد	۴۶
۵ – ۱ - ۲ – تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده	۴۸
۵ – ۱ – ۲ – ۱ – مقایسه نتایج تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع در شرایط عدم وجود داده باد با داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر	۴۸
۵ – ۱ – ۲ - ۲ – با استفاده از ضریب تابش مالک	۵۱
۵ – ۱ – ۲ - ۳ - اصلاح ضرایب معادله پنمن – فائو برای تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد	۵۱
۵ – ۱ – ۳ - تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۵۷
۵ – ۱ – ۳ - ۱ - اصلاح ضرایب معادله پنمن – فائو برای تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۵۷
۵ – ۱ – ۴ – تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۶۰
۵ – ۱ – ۴ - ۱ - اصلاح ضرایب معادله پنمن – فائو برای تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۶۰

عنوان	صفحه
۵ – ۱ - ۵ - تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش با استفاده از رابطه واسنجی شده آرین برای محاسبه تابش موج کوتاه برای منطقه باجگاه	۶۴
۵ - ۱ - ۶ - تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش با استفاده از رابطه واسنجی شده آرین برای محاسبه تابش موج کوتاه برای منطقه باجگاه	۶۸
۵ - ۱ - ۷ – خلاصه نتایج تخمین تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از معادله پنمن – فائو	۷۰
۵ - ۲ - پنمن – مانتیت	۷۳
۵ - ۲ - ۱ – تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد	۷۳
۵ – ۲ – ۱ – ۱ - مقایسه نتایج تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع درشرایط عدم وجود داده باد با داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر	۷۳
۵ – ۲ – ۱ - ۲ – با استفاده از ضریب تابش مالک	۷۵
۵ – ۲ – ۱ - ۳ – با استفاده از ضریب تابش مالک و ضریب واسنجی شده مقاومت آیرودینامیک رزاقی	۷۵
۵ – ۲ - ۲ – تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن در شترایط عدم وجود داده باد	۷۷
۵ – ۲ – ۲ – ۱ - مقایسه نتایج تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع در شرایط عدم وجود داده باد با داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر	۷۷
۵ – ۲ – ۲ - ۲ – با استفاده از ضریب تابش مالک	۷۷
۵ – ۲ – ۲ - ۳ – با استفاده از ضریب تابش مالک و ضریب مقاومت آیرودینایک واسنجی شده رزاقی	۸۱
۵ - ۲ - ۳ – تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۸۱

عنوان	صفحه
۵ – ۲ – ۴ - تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۸۴
۵ – ۲ – ۵ - تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش با استفاده از رابطه واسنجی شده آرین (۱۳۷۱) برای محاسبه تابش موج کوتاه برای منطقه باجگاه	۸۶
۵ – ۲ – ۶ - تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن در شرایط عدم وجود داده باد و تابش با استفاده از رابطه واسنجی شده آرین (۱۳۷۱) برای محاسبه تابش موج کوتاه برای منطقه باجگاه	۸۶
۵ – ۲ – ۷ – خلاصه نتایج تخمین تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از معادله پنمن – مانتیت	۸۹
۵ – ۳ – تبخیر – تعرق شبانه گیاه مرجع	۹۰
۵ – ۳ – ۱ - محاسبه تبخیر – تعرق شبانه گیاه مرجع چمن با استفاده از داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر	۹۰
۵ – ۳ – ۲ - تعیین رابطه بین تبخیر - تعرق ۲۴ ساعته و در صد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته	۹۳
۵ – ۳ – ۳ - تخمین تبخیر - تعرق شبانه حاصل از تفاضل تبخیر تعرق ۲۴ ساعته و روزانه تخمینی	۹۳
۵ – ۴ – واسنجی فرمول های تجربی برای تخمین تبخیر - تعرق با استفاده از تعداد محدود پارامتر های هواشناسی	۱۰۲
۵ – ۴ – ۱ - با استفاده از سه پارامتر میانگین دمای هوا، ساعت آفتابی و میانگین رطوبت نسبی	۱۰۲
۵ – ۴ – ۱ – ۱ - با استفاده از داده های ۲۴ ساعته تبخیر - تعرق لایسیمتری	۱۰۲
۵ – ۴ – ۱ - ۲ - با استفاده از داده های روزانه تبخیر - تعرق لایسیمتری	۱۰۴
۵ – ۴ – ۲ - با استفاده از سه پارامتر میانگین دمای هوا، نسبت ساعت آفتابی اندازه گیری شده به حداکثر ساعت آفتابی و میانگین رطوبت نسبی	۱۱۰
۵ – ۴ – ۲ – ۱ - با استفاده از داده های ۲۴ ساعته تبخیر – تعرق	

عنوان	صفحه
لایسیمتری	۱۱۱
۵ – ۴ – ۲ – ۲ - با استفاده از داده های روزانه تبخیر – تعرق لایسیمتری	۱۱۶
۵ – ۴ – ۳ - خلاصه نتایج تخمین تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از معادله تجربی	۱۲۰
۵ – ۵ – تخمین تبخیر – تعرق گیاه مرجع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی	۱۲۲
۵ – ۵ – ۱ – تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن با استفاده از شش داده ورودی	۱۲۲
۵ – ۵ – ۱ - ۱ - یک لایه مخفی	۱۲۲
۵ – ۵ – ۱ - ۲ - دو لایه مخفی	۱۲۴
۵ – ۵ – ۲ – تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع چمن با استفاده از چهار داده ورودی	۱۳۵
۵ – ۵ – ۲ - ۱ - یک لایه مخفی	۱۳۵
۵ – ۵ – ۲ - ۲ - دو لایه مخفی	۱۴۹
۵ – ۵ – ۳ – تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن با استفاده از شش داده ورودی	۱۵۹
۵ – ۵ – ۳ - ۱ - یک لایه مخفی	۱۵۹
۵ – ۵ – ۳ - ۲ - دو لایه مخفی	۱۶۲
۵ – ۵ – ۴ - تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع چمن با استفاده از چهار داده ورودی	۱۷۱
۵ – ۵ – ۴ - ۱ - یک لایه مخفی	۱۷۱
۵ – ۵ – ۴ - ۲ - دو لایه مخفی	۱۷۸
۵ - ۵ - ۵ - خلاصه نتایج تخمین تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی	۱۸۶
فصل ششم: نتیجه گیری	۱۹۳
فصل هفتم: منابع	۲۰۱

عنوان	صفحه
فصل هشتم پیوست	۲۰۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱ – ۴ - محدوده تغییرات داده های هواشناسی و تبخیر تعرق ۲۴ ساعته و روزانه در ماه های مختلف سال	۳۵
جدول ۱ – ۵ - خلاصه نتایج مقایسه تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن تخمین زده شده با استفاده از معادله پنمن – فائو و مقادیر تبخیر – تعرق اندازه گیری شده	۷۳
جدول ۲ – ۵ - خلاصه نتایج مقایسه تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن تخمین زده شده با استفاده از معادله پنمن – مانتیت و مقادیر تبخیر – تعرق اندازه گیری شده	۹۱
جدول ۳ – ۵ - مقادیر میانگین تبخیر تعرق شبانه و ۲۴ ساعته و درصد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته اندازه گیری شده از لایسیمتر	۹۴
جدول ۴ – ۵ - مقادیر میانگین تبخیر – تعرق شبانه و ۲۴ ساعته و درصد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته حاصل از رابطه پنمن – فائو در شرایط عدم وجود داده باد	۹۶
جدول ۵ – ۵ - مقادیر میانگین تبخیر – تعرق شبانه و ۲۴ ساعته و درصد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته حاصل از رابطه پنمن – فائو در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۹۷
جدول ۶ – ۵ - مقادیر میانگین تبخیر – تعرق شبانه و ۲۴ ساعته و درصد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته حاصل از رابطه پنمن – مانتیت در شرایط عدم وجود داده باد	۹۸
جدول ۷ – ۵ - مقادیر میانگین تبخیر – تعرق شبانه و ۲۴ ساعته و درصد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته حاصل از رابطه پنمن – مانتیت در شرایط عدم وجود داده باد و تابش	۹۹
جدول ۸ – ۵ - مقادیر میانگین تبخیر – تعرق شبانه و ۲۴ ساعته و درصد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته حاصل از رابطه پنمن - فائو در شرایط عدم وجود داده باد و تابش و با استفاده از ضرایب آرین برای محاسبه R_s	۱۰۰

عنوان	صفحه
جدول ۹ - ۵ - مقادیر میانگین تبخیر – تعرق شبانه و ۲۴ ساعته و درصد تبخیر – تعرق شبانه به ۲۴ ساعته حاصل از رابطه پنمن - مانتیت در شرایط عدم وجود داده باد و تابش و با استفاده از ضرایب آرین برای محاسبه R_s و ضریب مقاومت آیرودینامیک رزاقی	۱۰۱
جدول ۱۰ – ۵ - خلاصه نتایج مقایسه تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن تخمین زده شده با استفاده از معادله تجربی و مقادیر تبخیر – تعرق اندازه گیری شده	۱۲۲
جدول ۱۱ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۲۵
جدول ۱۲ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۲۵
جدول ۱۳ – ۵ – نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۲۶
جدول ۱۴ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۲۶
جدول ۱۵ – ۵ – بهترین نتایج آماری مرحله آزمون هر چهار حالت مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۲۶
جدول ۱۶ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۳۳
جدول ۱۷- ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۳۳

عنوان	صفحه
جدول ۱۸ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۳۴
جدول ۱۹ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۳۴
جدول ۲۰ – ۵ – بهترین نتایج آماری مرحله آزمون هر چهار حالت مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۳۵
جدول ۲۱ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۴۱
جدول ۲۲ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۴۱
جدول ۲۳ – ۵ – نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۴۱
جدول ۲۴ - ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۴۲
جدول ۲۵ – ۵ – بهترین نتایج آماری مرحله آزمون هر چهار حالت مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۴۲
جدول ۲۶ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۵۰

عنوان	صفحه
جدول ۲۷ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۵۱
جدول ۲۸ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۵۲
جدول ۲۹ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۵۳
جدول ۳۰ – ۵ - بهترین نتایج آماری مرحله آزمون هر چهار حالت مربوط به تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۵۴
جدول ۳۱ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۶۱
جدول ۳۲ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۶۱
جدول ۳۳ – ۵ – نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۶۱
جدول ۳۴ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۶۲
جدول ۳۵ – ۵ – بهترین نتایج آماری مرحله آزمون هر چهار حالت مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و شش ورودی	۱۶۲
جدول ۳۶ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک	

عنوان	صفحه
تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۶۹
جدول ۳۷ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۶۹
جدول ۳۸ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۷۰
جدول ۳۹ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۷۰
جدول ۴۰ – ۵ - بهترین نتایج آماری مرحله آزمون هر چهار حالت مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و شش ورودی	۱۷۱
جدول ۴۱ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۷۷
جدول ۴۲ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۷۷
جدول ۴۳ – ۵ – نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۷۷
جدول ۴۴ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار ورودی	۱۷۸
جدول ۴۵ – ۵ – بهترین نتایج آماری مرحله آزمون هر چهار حالت مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از یک لایه مخفی و چهار	

عنوان	صفحه
ورودی	۱۷۸
جدول ۴۶ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۸۴
جدول ۴۷ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوآرت و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۸۴
جدول ۴۸ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک تانژانت هایپربولیک مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۸۵
جدول ۴۹ – ۵ - نتایج آماری الگوریتم آموزش بیسن و تابع محرک لوگ سیگموئید مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۸۵
جدول ۵۰ – ۵ - بهترین نتایج آماری مرحله آزمون هر چهار حالت مربوط به تخمین تبخیر – تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از دو لایه مخفی و چهار ورودی	۱۸۶
جدول ۵۱ – ۵ - خلاصه نتایج مقایسه تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن تخمین زده شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مقادیر تبخیر – تعرق اندازه گیری شده	۱۹۲
جدول ۱ – ۶ خلاصه نتایج مقایسه تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن تخمین زده شده با استفاده از معادله پنمن – فائو (ET_{oe}) و مقادیر تبخیر – تعرق اندازه گیری شده (ET_{om})	۱۹۹
جدول ۲ – ۶ خلاصه نتایج مقایسه تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن تخمین زده شده با استفاده از معادله تجربی (ET_{oe}) و مقادیر تبخیر – تعرق اندازه گیری شده (ET_{om})	۲۰۰
جدول ۳ – ۶ خلاصه نتایج مقایسه تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن تخمین زده شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ET_{oe}) و مقادیر تبخیر – تعرق اندازه گیری شده (ET_{om})	۲۰۰

فهرست شکل ها و تصاویر

عنوان	صفحه
شکل ۱ – ۳ - ساختار یک سلول عصبی بیولوژیکی	۲۱
شکل ۲ – ۳ - ساختار یک نرون تک ورودی	۲۲
شکل ۳ – ۳ - شکل های توابع محرک کاربردی	۲۲
شکل ۴ – ۳ - ساختار یک نرون با بردار ورودی	۲۳
شکل ۵ – ۳ - یک شبکه عصبی تک لایه	۲۵
شکل ۶ – ۳ - یک شبکه عصبی تک لایه	۲۵
شکل ۷ - ۳ - یک شبکه عصبی چندلایه	۲۶
شکل ۱ – ۴ - نتیجه رگرسیون خطی بین داده های محاسبه شده از معادله (۲ – ۴) و داده های برداشت شده توسط دیتا لاگر	۳۶
شکل ۲ – ۴ - نتیجه رگرسیون خطی بین داده های دستی و داده های اصلاح شده رطوبت نسبی بیشینه	۳۸
شکل ۳ – ۴ - نتیجه رگرسیون خطی بین داده های دستی و داده های اصلاح شده رطوبت نسبی کمینه	۳۸
شکل ۴ – ۴ - فلوچارت مراحل مختلف برنامه شبکه عصبی	۴۱
شکل ۱ – ۵ - مقایسه نتایج تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته از معادله پنمن – فائو با داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر در شرایط عدم وجود داده باد و با استفاده از ضرایب اولیه	۴۳
شکل ۲ – ۵ - مقایسه نتایج تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته از معادله پنمن – فائو با داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر در شرایط عدم وجود داده باد و با استفاده از ضریب تابش مالک	۴۵
شکل ۳ – ۵ - مقایسه نتایج تخمین تبخیر – تعرق ۲۴ ساعته از معادله پنمن – فائو با داده های اندازه گیری شده از لایسیمتر در شرایط عدم وجود داده باد و با استفاده	