دانشکده مهندسی آب و خاک

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته
مهندسی آبیاری و زهکشی

تخمین دمای خاک بر اساس داده‌های هواشناسی با استفاده از داده‌کاوی در چند نمونه اقلیمی ایران

پژوهش و نگارش:
لیدا اسدی

استاد راهنما:
دکتر ابوطالب هزارجریبی

اساتید مشاور:
دکتر خلیل قربانی
دکتر زهرا آقاشریعتمداری
دکتر مهدی ذاکری‌نیا

تابستان ۱۳۹۳

تعهدنامه پژوهشی

نظر به این‌که چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به‌منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱. قبل از چاپ پایان‌نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً به‌طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.
۲. در انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.
۳. انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **لیدا اسدی** دانشجوی رشته **مهندسی آبیاری و زهکشی** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

تقدیم به

نگاه‌های مهربان، قامت‌های استوار و همیشه مقاوم که امروزم ثمره دیروز آن‌هاست و کلام را توانایی و یارای بازگویی مقام والایشان نیست

مادرم،

الهه عطوفت و مهربانی

پدرم،

سمبل ایثار و تلاش

همسرم،

فرشته صبر و فداکاری

تشکر و قدردانی

خداوندا، همه ستایش‌ها از آن توست، اگر موفقیتی داشته‌ام همه از نعمت‌های بیکران تو بوده است.

گذراندن مراحل اجرایی و تدوین این پایان نامه پس از الطاف الهی مدیون راهنمایی و هم فکری کسانیست که بی تردید بدون همراهی آنان، طی این طریق با مشکلات فراوان همراه بود. بر خود لازم می دانم که مراتب سپاس خود را به کلیه کسانی که در مراحل مختلف این پژوهش مرا یاری نموده اند اعلام دارم:

سپاس ویژه خود را تقدیم می کنم به برادر و خواهرهای عزیزم و علی الخصوص خانواده محترم همسرم که در تمام مراحل زندگی و تحصیلی همواره پشتیبان، مشوق و راهنمای من بوده اند.

از استاد راهنمای فرهیخته و بزرگوارم جناب آقای دکتر ابوطالب هزارجریبی به خاطر تمام راهنمایی ها و مساعدت های بی دریغ و ارزشمندشان در طی مراحل انجام و تدوین پایان نامه، نهایت تشکر و امتنان را دارم.

از اساتید ارجمندم جناب آقایان دکتر خلیل قربانی و مهدی ذاکری نیا و سرکار خانم دکتر زهرا آقاشیرعتمداری که مسئولیت مشاوره این پایان نامه را بر عهده گرفتند، سپاسگزارم.

از اساتید گرانقدر جناب آقایان دکتر حسین شریفان و دکتر موسی حسام که مسئولیت داوری این پایان نامه و مدیریت جلسه دفاع را بر عهده داشتند، کمال تشکر را دارم.

از تمامی اساتید محترم گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به خاطر آموزش و راهنمایی هایشان در دوران تحصیل اینجانب سپاس فراوان دارم.

در انتها از دوستان مهربانم سرکار خانم تیموری، رباط جزی و پسر کلو به خاطر کمک های درسی در طول دوران تحصیل و همچنین جناب آقای مهندس ایمان کریمی راد که در پیشبرد مراحل مطالعاتی و تدوین پایان نامه کمک های فراوانی کردند، متشکرم.

چکیده

برای تعیین تغییرات مکانی دمای خاک در اعماق مختلف به چندین دماسنج یا حسگر نیاز است که اندازه‌گیری دمای خاک با انواع حسگرها هزینه‌بردار بوده و به نیروی انسانی زیاد نیاز است. ضمناً دمای خاک تنها در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور اندازه‌گیری شده و عدم اندازه‌گیری آن در نقاط فاقد ایستگاه مشکلاتی را در بخش کشاورزی ایجاد می‌نماید. اخیراً روش‌های جدید داده‌کاوی به‌طرز موفقیت‌آمیزی در علوم محیطی استفاده شده‌اند. داده‌کاوی فرایندی است که برای کاوش داده‌ها صورت می‌گیرد و یافته‌ها با به‌کارگیری الگوهایی اعتبارسنجی می‌شوند. به‌طور کلی اهداف این تحقیق، تعیین مؤثرترین متغیرهای مؤثر بر دمای خاک و تعیین مدل بهینه پیش‌بینی دمای خاک در اقلیم‌های متفاوت از روی پارامترهای هواشناسی است. بدین منظور مدل‌های نزدیکترین k- همسایگی، مدل درختی M5 و شبکه عصبی مصنوعی مورد آزمون قرار گرفته‌اند. به این منظور از داده‌های روزانه چهار ایستگاه با اقلیم متفاوت و دارای آمار ۱۰ ساله و معتبر سازمان هواشناسی کشور شامل ایستگاه شهرهای گرگان، انزلی، تبریز و کرمان در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۶ استفاده گردید. این داده‌ها شامل دمای هوای خشک، دمای هوای تر، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی و دمای خاک می‌باشد. در تمامی ایستگاه‌ها، پارامترهای رطوبت نسبی و دمای هوای خشک به‌عنوان متغیرهای اصلی مؤثر بر دمای خاک انتخاب گردید. نتایج نشان داد که مدل نزدیکترین k- همسایگی در تمامی ایستگاه‌ها بهترین عملکرد را برای پیش‌بینی دمای خاک داشت. با افزایش عمق خاک میزان تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک کاهش و دقت مدل‌ها برای پیش‌بینی نیز کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: دمای خاک، متغیرهای هواشناسی، داده‌کاوی، نزدیکترین k- همسایگی، مدل درختی M5، شبکه عصبی مصنوعی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات **۱**

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- عوامل مؤثر بر دمای خاک..... ۴

۱-۲-۱- تئوری انتشار حرارت در هوا و خاک..... ۵

۱-۲-۲- قابلیت هدایت حرارتی خاک (k)..... ۸

۱-۲-۳- نوسانات روزانه و سالانه دمای هوا و خاک..... ۱۱

۱-۲-۴- رژیم حرارتی خاک و عوامل مؤثر بر آن..... ۱۳

۱-۲-۵- ظرفیت حرارتی خاک..... ۱۵

۱-۲-۶- گرمای ویژه خاک..... ۱۵

۱-۲-۷- عوامل جوی مؤثر بر خاک..... ۱۶

۱-۲-۸- بافت و ساختمان خاک..... ۱۷

۱-۲-۹- رنگ خاک..... ۱۷

۱-۲-۱۰- انواع تخلخل مؤثر بر هدایت حرارتی خاک..... ۱۸

۱-۳- روش‌های برآورد دمای خاک..... ۱۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۴- مفاهیم داده‌کاوی..... ۲۰

۱-۴-۱- بیان مسئله و فرموله کردن فرضیه..... ۲۲

۱-۴-۲- انتخاب و جمع آوری داده‌ها..... ۲۲

۱-۴-۳- پیش‌پردازش‌ها یا تبدیل داده‌ها..... ۲۳

۱-۴-۴- برآورد مدل یا کاوش در داده‌ها..... ۲۳

۱-۴-۵- تفسیر نتیجه یا تفسیر مدل و رسیدن به نتایج..... ۲۴

۱-۵- هدف تحقیق..... ۲۴

۱-۶- نوآوری..... ۲۴

۱-۷- ساختار پایان‌نامه..... ۲۵

فصل دوم: بررسی منابع **۲۶**

۲-۱- مقدمه..... ۲۷

۲-۲- مطالعات مربوط به دمای خاک..... ۲۷

۲-۲-۱- ارزیابی دمای خاک با استفاده از سری فوریه..... ۲۷

۲-۲-۲- بررسی رژیم دمایی سطح خاک و هوا با استفاده از داده‌های تجربی..... ۳۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۲-۳- بررسی رژیم دمایی خاک و هوا با استفاده از پارامترهای مختلف هواشناسی..... ۳۳

۲-۲-۴- روش‌های ریاضی آنالیز تغییرات دمایی..... ۳۳

۲-۲-۵- برآورد دما با استفاده از معادله موازنه انرژی..... ۳۴

۲-۲-۶- برآورد دمای خاک با استفاده از روابط رگرسیونی..... ۳۵

۲-۳- مطالعات مربوط به روش‌های مدل‌سازی..... ۳۵

۲-۳-۱- مطالعات در داخل کشور..... ۳۵

۲-۳-۲- مطالعات در خارج از کشور..... ۳۷

۲-۴- جمع‌بندی سوابق تحقیق..... ۳۹

فصل سوم: مواد و روش‌ها **۴۰**

۳-۱- مقدمه..... ۴۱

۳-۲- مناطق مطالعاتی..... ۴۲

۳-۳- داده‌های مورد استفاده..... ۴۳

۳-۴- الگوریتم‌های داده‌کاوی..... ۴۴

۳-۴-۱- الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی..... ۴۴

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۴-۲- الگوریتم نزدیکترین k- همسایگی ۴۶

۳-۴-۳- الگوریتم درختی M5 ۴۹

۳-۵- ارزیابی نتایج مدل‌ها ۵۱

۳-۵-۱- شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها ۵۱

۳-۵-۲- آزمون مقایسه مدل‌ها ۵۲

۳-۶- جمع‌بندی ۵۳

فصل چهارم: نتایج و بحث **۵۴**

۴-۱- مقدمه ۵۵

۴-۲- انتخاب متغیرها ۵۵

۴-۳- مدل‌سازی بین دمای اعماق خاک با متغیرهای هواشناسی به روش داده‌کاوی ۵۶

۴-۳-۱- ارزیابی دقت مدل‌های داده‌کاوی ۵۷

۴-۳-۲- مقایسه مقادیر واقعی و تخمینی دمای خاک توسط مدل‌های داده‌کاوی ۵۹

۴-۳-۳- بررسی مزایای مدل درخت تصمیم M5 ۷۳

۴-۳-۴- نتایج آزمون مقایسه مدل‌ها ۸۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها **۸۳**

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۸۴

۵-۲- پیشنهادها..... ۸۵

منابع و مأخذ **۸۶**

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: مقادیر قابلیت هدایت حرارتی خاک برای مواد مختلف (واحد: $\frac{cal}{cm\,sec\,°k}$).....۱۰

جدول ۴-۱: معیارهای ارزیابی خطا و مقادیر R^2 برای داده‌های آموزش و آزمون مدل‌ها ایستگاه گرگان.....۵۷

جدول ۴-۲: معیارهای ارزیابی خطا و مقادیر R^2 برای داده‌های آموزش و آزمون مدل‌ها ایستگاه انزلی.....۵۸

جدول ۴-۳: معیارهای ارزیابی خطا و مقادیر R^2 برای داده‌های آموزش و آزمون مدل‌ها ایستگاه کرمان.....۵۸

جدول ۴-۴: معیارهای ارزیابی خطا و مقادیر R^2 برای داده‌های آموزش و آزمون مدل‌ها ایستگاه تبریز.....۵۹

جدول ۴-۵: معادلات خروجی از مدل درختی M5 برای عمق ۵ سانتی‌متری و ساعت ۰۳ ایستگاه گرگان.....۷۹

جدول ۴-۶: معادلات خروجی از مدل درختی M5 برای عمق ۵ سانتی‌متری و ساعت ۰۳ ایستگاه انزلی.....۸۰

جدول ۴-۷: معادلات خروجی از مدل درختی M5 برای عمق ۵ سانتی‌متری و ساعت ۰۳ ایستگاه کرمان.....۸۰

جدول ۴-۸: معادلات خروجی از مدل درختی M5 برای عمق ۵ سانتی‌متری و ساعت ۰۳ ایستگاه تبریز.....۸۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۹: آزمون میانگین مقایسه خطاها بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها..... ۸۲

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: جریان حرارت از سطح خاک به هوا و اعماق خاک..... ۵

شکل ۱-۲: دامنه تغییرات شبانه‌روزی دمای هوا در ارتفاعات مختلف در جولای و ژانویه..... ۷

شکل ۱-۳: دامنه تغییرات شبانه‌روزی دمای هوا در ارتفاعات مختلف در ژوئن و دسامبر
در شرایط آسمان صاف و ابری..... ۷

شکل ۱-۴: تغییرات قابلیت هدایت حرارتی، گرمای ویژه و قابلیت انتشار حرارتی خاک
با رطوبت موجود در خاک..... ۱۰

شکل ۱-۵: روند سالانه دما در شرایط اقلیمی مختلف..... ۱۲

شکل ۱-۶: رژیم سالانه دما در اعماق مختلف خاک..... ۱۳

شکل ۱-۷: مفاهیم داده‌کاوی..... ۲۰

شکل ۱-۸: فرایند روش داده‌کاوی..... ۲۱

شکل ۳-۱: مراحل کلی پایان‌نامه در یک نگاه..... ۴۱

شکل ۳-۲: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه..... ۴۳

شکل ۳-۳: شمایی از یک سلول عصبی..... ۴۵

شکل ۳-۴: ساختار شبکه عصبی مصنوعی..... ۴۶

شکل ۳-۵: طبقه‌بندی بر اساس نزدیک‌ترین k- همسایگی..... ۴۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۶: عملکرد مدل درخت تصمیم M5. الف) تقسیم فضای پارامترهای ورودی (X_1,X_2) به ۶ ناحیه. ب) بیان معیار تقسیم فضای پارامترهای ورودی به صورت درختی.....۵۱

شکل ۴-۱: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل نزدیکترین k- همسایگی در ایستگاه گرگان.....۶۱

شکل ۴-۲: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل نزدیکترین k- همسایگی در ایستگاه انزلی.....۶۲

شکل ۴-۳: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل نزدیکترین k- همسایگی در ایستگاه کرمان.....۶۳

شکل ۴-۴: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل نزدیکترین k- همسایگی در ایستگاه تبریز.....۶۴

شکل ۴-۵: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل شبکه عصبی مصنوعی در ایستگاه گرگان.....۶۵

شکل ۴-۶: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل شبکه عصبی مصنوعی در ایستگاه انزلی.....۶۶

شکل ۴-۷: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل شبکه عصبی مصنوعی در ایستگاه کرمان.....۶۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۸: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل شبکه عصبی مصنوعی در ایستگاه تبریز..... ۶۸

شکل ۴-۹: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل درخت تصمیم M5 در ایستگاه گرگان..... ۶۹

شکل ۴-۱۰: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل درخت تصمیم M5 در ایستگاه انزلی..... ۷۰

شکل ۴-۱۱: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل درخت تصمیم M5 در ایستگاه کرمان..... ۷۱

شکل ۴-۱۲: مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده دمای اعماق خاک با مدل درخت تصمیم M5 در ایستگاه تبریز..... ۷۲

شکل ۴-۱۳: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۰۳ در ایستگاه گرگان..... ۷۳

شکل ۴-۱۴: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۰۹ در ایستگاه گرگان..... ۷۴

شکل ۴-۱۵: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۱۵ در ایستگاه گرگان..... ۷۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱۶: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۰۳ در ایستگاه انزلی..... ۷۵

شکل ۴-۱۷: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۰۹ در ایستگاه انزلی..... ۷۵

شکل ۴-۱۸: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۱۵ در ایستگاه انزلی..... ۷۶

شکل ۴-۱۹: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۰۳ در ایستگاه کرمان..... ۷۶

شکل ۴-۲۰: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۰۹ در ایستگاه کرمان..... ۷۷

شکل ۴-۲۱: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۱۵ در ایستگاه کرمان..... ۷۷

شکل ۴-۲۲: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۰۳ در ایستگاه تبریز..... ۷۸

شکل ۴-۲۳: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۰۹ در ایستگاه تبریز..... ۷۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۲۴: الگوریتم مدل درختی M5 برای پیش‌بینی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۱۵ در ایستگاه تبریز.....۷۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

یکی از پارامترهای مهمی که در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود پارامتر دما است که خود شامل دمای هوا، سطح و اعماق خاک می‌باشد. اهمیت دما به‌علت وجود اثرات مستقیم و غیرمستقیم (تأثیر بر دیگر پارامترهای هواشناسی) می‌باشد. تعیین دما و استفاده از اطلاعات دمایی کاربرد وسیع در برآورد مقدار تبخیر، تبخیر و تعرق، برآورد درجه روزهای فعال برای رشد گیاهان (GDD)، مسائل مربوط به گرمایش و سرمایش، مدل‌سازی ذوب برف و بسیاری موارد دیگر دارد (وثوقی‌هکانی، ۱۳۸۳).

تابش خورشید پس از عبور از هوا در انتهای مسیر خود به سطح زمین می‌رسد که مقدار تأثیر آن در گرم کردن سطح بستگی به نوع پوشش منطقه دارد چرا که این تأثیر در زمین‌های بایر، حداکثر و در مناطق جنگلی، حداقل می‌باشد (در مناطق جنگلی فقط ۵ درصد از تابش خورشید به سطح زمین می‌رسد). پس از رسیدن تابش به سطح زمین و گرم شدن سطح، حرارت به داخل خاک نفوذ می‌کند و از خاک یک مخزن بزرگ حرارتی می‌سازد. این مقدار حرارت در طول روز در سطح خاک نسبت به لایه‌های زیرین بیشتر است و همین امر باعث بوجود آمدن گرادیان دمایی بین سطح زمین و خاک از یک طرف و سطح زمین و هوای مجاور سطح از طرف دیگر می‌شود که نتیجه آن جریان حرارتی نزولی است. بنابراین دمای هوا تأثیر مستقیمی بر دمای خاک دارد اما بیلان انرژی در سطح خاک فقط تحت تأثیر دما نمی‌باشد و تلفیقی از دمای هوا، اشعه تابشی خورشید، شیب زمین، حجم آب خاک، پوشش نباتی و ضریب بازتاب (آلبدو) می‌باشد. همچنین فاکتورهای مؤثر بر دمای زیر سطح خاک شامل جریان گرمایی از سطح، حجم آب، چگالی و ظرفیت گرمایی خاک است (وثوقی).

عوامل کنترل کننده دما در اعماق مختلف خاک عبارتند از (الیاسی، ۱۳۸۲):

۱. مقدار قدر مطلق گرمای رسیده به سطح زمین
۲. مدت گرمایش
۳. ویژگی‌های فیزیکی خاک