بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دانشکده مهندسی علوم آب و خاک

گروه علوم خاک

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد

رشته مهندسی کشاورزی- علوم خاک (فیزیک و حفاظت خاک)

برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک و شبکه عصبی مصنوعی

پژوهش و نگارش:

فهیمه نصرتی کاریزک

اساتید راهنما:

دکتر سیدعلیرضا موحدی‌نائینی

دکتر ابوطالب هزارجریبی

اساتید مشاور:

دکتر قربانعلی روشنی

دکتر امیراحمد دهقانی

۱۳۸۹

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 به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱) قبل از چاپ پایان‌نامه (رساله) خود، مراتب را قبلا بطور 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 **فهیمه نصرتی‌کاریزک** دانشجوی رشته **مهندسی کشاورزی- علوم خاک (فیزیک و حفاظت خاک)** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

چکامه ای از تلاش سال های جوانی ام نثار

محبت های بی دریغ پدر و مادرم که خورشید پرفروغ روزهایم هستند

و همسرم شاه بیت غزل زندگیم، که کلام مهرآفرینش امید را به

خستگی هایم و نای را ناتوانی هایم بخشید.

تقدیر و تشکر

سپاس بی کران پروردگار پاک را که انگیزه رشد و بالندگی و علم آموزی را در آدمی نهاد تا طعم شیرین نتیجه و تلاش را بچشند. حال به مصداق آیه شریفه "من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق" بر خود لازم می دانم که:

صمیمانه ترین سپاس را با احترام به اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر موحدی که بدون شک انجام این تحقیق بدون راهنمایی های ارزنده ایشان میسر نبود و جناب آقای دکتر هزار جریبی که در لحظه به لحظه انجام پایان نامه از مساعدت و راهنمایی راهگشایشان بهره مند شدم، تقدیم می نمایم.

از اساتید مشاور ارجمندم جناب آقای دکتر روشنی و جناب آقای دکتر دهقانی که با دقت نظر مرا راهنمایی نمودند، تشکرم.

از داوران محترم جناب آقای دکتر شریفان و سرکار خانم دکتر ابراهیمی که زحمت داوری این پایان نامه بر دوش آن ها بوده است، کمال تشکر را دارم.

از نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر قربانی که مدیریت جلسه را بر عهده داشتند، سپاسگزارم.

و از کلیه عزیزانی که در مراحل مختلف این تحقیق مرا یاری نمودند به ویژه جناب آقای ساوری و جناب آقای دکتر فاطمی و جناب آقای مهندس عبدالمجیدی و برادر عزیزم تشکر و قدردانی می نمایم و از خداوند آرزوی توفیق و بهورزی برای کلیه عزیزان را دارم.

و در نهایت از زحمات بی پایان خانواده ام و همراهی های همسرم که سایه گستر وجود حقیر نالایق بود مراتب امتنان خاطر را ابراز دارم.

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که اهمیتی ویژه در شناخت، بررسی و مدل‌سازی ترابری آب، املاح و آلاینده‌های محیط متخلخل زیرزمینی دارد. باوجود تحقیقات متعددی که پیرامون اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع صورت گرفته است، این روش‌ها همچنان پرهزینه، زمان‌بر و تخصصی هستند. از این رو ضرورت برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از روش‌های سریع، کم‌هزینه و با دقتی قابل قبول موسوم به توابع انتقالی، احساس می‌گردد. در این راستا، هدف از این پژوهش برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک شامل درصد اندازه ذرات، میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل کل، تخلخل موثر، درصد رطوبت در مکش ۰/۳ و ۱۵ بار، درصد آهک، درصد موادآلی، pH و EC با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. به این منظور، هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از دستگاه نفوذسنج گوالف در ۲۷ نقطه از عمق‌های ۳۵-۱۰، ۳۵-۱۵ و ۳۵-۲۰ از یک شبکه اندازه‌گیری و در همان نقاط نمونه‌برداری خاک نیز صورت گرفت. سپس پارامترهای زودیافت خاک، در آزمایشگاه اندازه گیری و نتایج اولیه بدست آمد. با استفاده از آنالیز حساسیت، پارامترهای درصد شن و رس، درصد رطوبت در مکش ۰/۳ بار، تخلخل کل و میانگین هندسی اندازه ذرات به ترتیب به عنوان پارامترهای حساس در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع معرفی گردیدند. در نهایت به منظور تخمین سریع و کم‌هزینه‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع، با استفاده از پارامترهای حساس، مدل‌های مختلفی طراحی شدند. نتایج نهایی مقایسه مدل‌ها، مدل با پارامترهای ورودی لگاریتم میانگین هندسی قطر ذرات، تخلخل کل و درصد شن و رس به عنوان بهترین مدل از نظر دقت و سرعت تخمین‌گر هدایت هیدرولیکی نشان داد. درنهایت، مجددا ٤٢ نمونه خاک نیز از همان شبکه از عمق ۳۵-۱۰ برای تعیین پارامترهای زودیافت خاک (فاصله نقاط شبکه ۲×۱ کیلومتر) در یک شبکه استخراج و نقشه تغییرات هدایت هیدرولیکی تهیه شد.

کلمات کلیدی: هدایت هیدرولیکی اشباع، پارامترهای زودیافت خاک، شبکه عصبی مصنوعی، آنالیز حساسیت

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱- مقدمه ۲

۱-۱- کلیات ۲

۱-۲- هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) ۲

۱-۲-۱- کاربردهای K_s در علوم آبیاری و خاکشناسی ۳

۱-۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری K_s ۳

۱-۳- مدل‌سازی ٤

۱-٤- شبکه‌های عصبی مصنوعی ٤

۱-۵- فرضیه ۵

۱-٦- هدف ۵

فصل دوم: بررسی منابع

۲- بررسی منابع ۸

۲-۱- هدایت هیدرولیکی اشباع ۸

۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری K_s ۹

۲-۲-۱- روش‌های آزمایشگاهی ۹

۲-۲-۲- روش‌های صحرایی ۱۱

۲-۳- رابطه K_s با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک ۱٦

۲-٤- معادلات تخمین K_s با آنالیز رگرسیون آماری ۱۷

۲-۵- معادلات تخمین K_s با آنالیز شبکه‌های عصبی مصنوعی ۲۲

۲-٦- جمع‌بندی ۲۵

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳- مواد و روش‌ها ۲۸

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه ۲۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۲- مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری ۲۸
۳-۳- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از نفوذسنج گوالف در منطقه ۳۱
۳-۳-۱- تشریح ساختمان دستگاه نفوذسنج گوالف ۳۱
۳-۳-۲- نحوه راه‌اندازی دستگاه نفوذسنج گوالف ۳۳
۳-۳-۳- اقدامات اولیه برای شروع آزمایش با دستگاه نفوذسنج گوالف ۳٤
۳-۳-٤- طریقه انجام آزمایش ۳۵
۳-۳-۵- تشریح جریان در نفوذسنج گوالف ۳۹
۳-۳-٦- حل معادله نفوذسنج گوالف ٤۰
۳-٤- آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی در آزمایشگاه ٤٤
۳-٤-۱- تعیین بافت خاک و توزیع دانه‌بندی ذرات با استفاده از روش هیدرومتری ٤٤
۳-٤-۲- محاسبه میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی آنها ٤۷
۳-٤-۳- وزن مخصوص ظاهری ٤۸
۳-٤-٤- تخلخل کل ٤۸
۳-٤-۵- تخلخل موثر ٤۸
۳-٤-٦- کربن آلی ٤۸
۳-٤-۷- درصد آهک ٤۸
۳-٤-۸- اسیدیته خاک (pH) ٤۹
۳-٤-۹- هدایت الکتریکی ٤۹
۳-٤-۱۰- رطوبت در مکش ۰/۳ بار (FC) و ۱۵ بار (PWP) ٤۹
۳-۵- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۰
۳-۵-۱- شبکه‌های عصبی بیولوژیک ۵۱
۳-۵-۲- مقایسه بین شبکه‌های عصبی بیولوژیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۳
۳-۵-۳- ساختار شبکه عصبی مصنوعی ۵۵
۳-۵-٤- تابع محرک (تبدیل) ۵۷
۳-۵-۵- قوانین یادگیری ۵۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۵-٦- انواع شبکه عصبی مصنوعی ۵۸
۳-۵-۷- شبکه عصبی پرسپترون ۵۹
۳-۵-۸- روند استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ٦۰
۳-۵-۹- نقاط قوت شبکه‌های عصبی مصنوعی ٦۲
۳-۵-۱۰- تعمیم پذیری شبکه عصبی مصنوعی ٦۳
۳-٦- تجزیه و تحلیل داده‌ها ٦۳
۳-٦-۱- مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی ٦۳
۳-٦-۲- آنالیز حساسیت ٦٦
۳-٦-۳- پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع منطقه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و ترسیم نقشه ٦۷

فصل چهارم: نتایج و بحث

٤- نتایج و بحث ۷۰
٤-۱- توصیف متغیرها ۷۰
٤-۲- نمونه‌ای از محاسبه K_{fs} به روش نفوذسنج گلف برای یکی از نقاط ۲۷ گانه ۷۲
٤-۲-۱- تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به صورت تک عمقی ۷٤
٤-۳- نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی ۷۵
٤-٤- آنالیز حساسیت ۷۸
٤-۵- طراحی مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی با پارامترهای حساس ۸۱
٤-٦- نتایج مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با یک آزمایش انجام شده در بدست آوردن ورودی‌های مدل ۸۳
٤-٦-۱- نتایج مدل (۱) ۸۳
٤-٦-۲- نتایج مدل (۲) ۸۵
٤-٦-۳- نتایج مدل (۳) ۸۷
٤-۷- نتایج مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با دو آزمایش انجام شده در بدست آوردن ورودی‌های مدل ۹۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

٤-٧-١- نتایج مدل (٤) ٩٠
٤-٧-٢- نتایج مدل (٥) ٩٢
٤-٧-٣- نتایج مدل (٦) ٩٤
٤-٧-٤- نتایج مدل (٧) ٩٦
٤-٧-٥- نتایج مدل (٨) ٩٨
٤-٨- نتایج مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با سه آزمایش انجام شده در بدست آوردن ورودی‌های مدل ١٠٠
٤-٨-١- نتایج مدل (٩) ١٠٠
٤-٨-٢- نتایج مدل (١٠) ١٠٢
٤-٩- مقایسه نتایج مدل‌های طراحی شده با پارامترهای حساس ١٠٤
٤-١٠- تهیه نقشه تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع ١٠٥

فصل پنجم: نتیجه‌گیری کلی

٥-١- نتیجه‌گیری کلی ١٠٨
٥-٢- پیشنهادات ١٠٩

فهرست منابع ١١١

ضمایم ١

فهرست علائم و نشانه‌ها

K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع

K_{fs}: هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه

pH: اسیدیته خاک

EC: شوری خاک

d_g: میانگین هندسی قطر ذرات

σ_g: انحراف معیار هندسی قطر ذرات

f: تخلخل کل خاک

Φ_e: تخلخل موثر خاک

%OM: درصد ماده آلی

%CCE: درصد آهک

ρ_b: وزن مخصوص ظاهری

RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا

R^2: ضریب تبیین

S: توانایی جذب آب توسط خاک

C: ضریب شکل

α: پارامتر مربوط به نوع خاک

$\theta_{0.3}$: رطوبت در مکش ۰/۳ بار (نقطه ظرفیت مزرعه)

θ_{15}: رطوبت در مکش ۱۵ بار (نقطه پژمردگی دایم)

Q: دبی جریان

CSS: ضریب حساسیت مرکب

φ_m: پتانسیل ماتریک

H: عمق استغراق در چاهک

γ: ضریب حساسیت نسبی

A: سطح مقطع منبع نفوذسنج گلف در حالت جفت مخزن

a: سطح مقطع منبع نفوذسنج گلف در حالت تک مخزن

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- مقادیر α^* برای روش نفوذسنج گوالف..... ٤٢
جدول ۳-۲- جدول ترسیم منحنی اندازه ذرات خاک..... ٤٦
جدول ۳-۳- درصد تجمعی ذرات خاک با افزایش قطر ٤٧
جدول ٤-۱- توصیف آماری خصوصیات شیمیایی خاک‌ها از هرسه عمق ۳۵-۱۰، ۳۵-۱۵و۳۵-۲۰ ..... ۷۱
جدول ٤-۲- توصیف آماری خصوصیات فیزیکی خاک‌ها از هرسه عمق ۳۵-۱۰، ۳۵-۱۵و۳۵-۲۰..... ۷۱
جدول ٤-۳- چگونگی ثبت اطلاعات تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع به روش نفوذسنج گوالف ۷۲
جدول ٤-٤- ثبت اطلاعات تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع به روش نفوذسنج گوالف در یکی از نقاط مورد آزمایش..... ۷۳
جدول ٤-۵- ثبت اطلاعات تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع به روش نفوذسنج گوالف در یکی از نقاط مورد آزمایش..... ۷٤
جدول ٤-٦- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون و کل در مدل ١٤ پارامتره..... ۷٦
جدول ٤-۷- نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای زودیافت خاک ۷۹
جدول ٤-۸- طراحی مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی براساس نتایج آنالیزحساسیت و حداقل‌تعداد آزمایش برای بدست آوردن ورودی‌های مدل..... ۸۱
جدول ٤-۹- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون وکل در مدل(۱)..... ۸۳
جدول ٤-۱۰- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی،آزمون و کل در مدل(۲)..... ۸۵
جدول ٤-۱۱- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی،آزمون و کل در مدل(۳). ۸۸
جدول ٤-۱۲- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش،اعتبارسازی،آزمون و کل در مدل(٤) ۹۰
جدول ٤-۱۳- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش،اعتبارسازی،آزمون و کل در مدل(۵)..... ۹۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ٤-١٤- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون و کل را در مدل (٦)..... ٩٤
جدول ٤-١٥- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون وکل در مدل (٧)..... ٩٦
جدول ٤-١٦- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون وکل در مدل (٨)..... ٩٨
جدول ٤-١٧- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون و کل در مدل (٩)..... ١٠٠
جدول ٤-١٨- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون وکل در مدل (١٠)..... ١٠٢
جدول ٤-١٩- مقایسه RMSE و R^2 مدل‌های مختلف در مرحله آزمون..... ١٠٥

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- دستگاه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان ۱۱
شکل ۲-۲- گراف رالز و براکنسیک ۲۰
شکل ۳-۱- نقشه بافت خاک منطقه چهل‌دین ۳۰
شکل ۳-۲- قسمت‌های مختلف دستگاه نفوذسنج گوالف ۳۲
شکل ۳-۳- نمایی از منطقه و دستگاه نفوذسنج گوالف ۳٦
شکل ۳-٤- تنظیم بار فشار موردنظر توسط دستگاه نفوذسنج گوالف ۳۷
شکل ۳-۵- قرائت سطح آب از دستگاه نفوذسنج گوالف ۳۸
شکل ۳-٦- پیاز رطوبتی در منطقه اشباع خاک بر اثر نفوذ آب تحت پتانسیل فشاری مثبت ۳۹
شکل ۳-۷- ضریب شکل (C) برای روش نفوذسنج گوالف ٤۰
شکل ۳-۸- نمای کلی شبکه عصبی با ساختار پرسپترون چند لایه ۵٦
شکل ۳-۹- ساختار نرون با r ورودی ۵۷
شکل ٤-۱- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش در مدل ١٤ پارامتره ۷۷
شکل ٤-۲- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل ١٤ پارامتره ۷۷
شکل ٤-۳- نمودار هیستوگرام ضرایب حساسیت هدایت هیدرولیکی اشباع به روش هیل ۸۰
شکل ٤-٤- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش مدل (۱) ۸٤
شکل ٤-۵- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون مدل (۱) ۸٤
شکل ٤-٦- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش مدل (۲) ۸٦
شکل ٤-۷- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون مدل (۲) ۸٦

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٨- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش مدل (٣).....٨٨
شکل ٤-٩- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون مدل (٣).....٨٩
شکل ٤-١٠- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش در مدل (٤).....٩١
شکل ٤-١١- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (٤).....٩١
شکل ٤-١٢- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش در مدل (٥).....٩٣
شکل ٤-١٣- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (٥).....٩٣
شکل ٤-١٤- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش در مدل (٦).....٩٥
شکل ٤-١٥- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (٦).....٩٥
شکل ٤-١٦- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش در مدل (٧).....٩٧
شکل ٤-١٧- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (٧).....٩٧
شکل ٤-١٨- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آموزش در مدل (٨).....٩٩
شکل ٤-١٩- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (٨).....٩٩

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٢٠- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (٩) ١٠١
شکل ٤-٢١- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (٩) ١٠١
شکل ٤-٢٢- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (١٠) ١٠٣
شکل ٤-٢٣- خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون در مدل (١٠) ١٠٣
شکل ٤-٢٤- نقشه تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع در عمق ٣٥-١٠ منطقه چهل‌دین ١٠٦