دانشکدهٔ علوم طبیعی
گروه زمین‌شناسی

رساله برای دریافت درجه دکتری
در رشته زمین شناسی گرایش هیدروژئولوژی

عنوان

مقایسه کارآیی مدلهای عددی و هوش مصنوعی در مدیریت آبخوانها (مطالعه موردی: دشت تسوج)

استاد راهنما
دکتر اصغر اصغری مقدم

استادان مشاور
دکتر فرانک سای
دکتر هیرداد عقبری
دکتر محمد نخعی

پژوهشگر
عطا الله ندیری

تاریخ
تیر ۱۳۹۲

قالَ الاِمامُ الْباقِرُ(علیه السلام): عالِمٌ یُنتَفَعُ بِعِلمِهِ اَفضَلُ مِن سَبعینَ اَلفٍ عابِدٍ؛

دانشمندی که از علمش سود برند، از هفتاد هزار عابد بهتر است.(بحارالانوار، ج۷۵)

تقدیم به:

خانوادهٔ فداکارم

و

همه ایثارگران و تلاشگران عرصه علم و دانش

The best way to predict future is to create it.

Abraham Lincoln

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری خداوند متعال به مرحلهٔ تدوین رساله دکتری خود رسیدم، وظیفهٔ خود می‌دانم که خالصانه تشکرات قلبی خود را به تمام افرادی که بی هیچ چشم داشتی مرا مورد الطاف علمی و معنوی خود قرار داده‌اند، ابراز نمایم، باشد که بتوانم قطره‌ای از دریای محبت‌های آنان را سپاس گفته باشم.

در ابتدا باید از استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای پرفسور اصغر اصغری مقدم تشکر کنم که در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری همچون پدری دلسوز، همواره مرا مورد لطف و حمایت خود قرار داده و استاد علم و اخلاقی نمونه برایم بوده‌اند. بی شک هیچ وقت در یادآوری محبتها و راهنمایی های دلسوزانه و پدرانهٔ آن استاد بزرگوار، که بیشترین نقش را در زندگی علمی من ایفا کردند، دچار نسیان نخواهم شد.

در مرحلهٔ بعد لازم است از اساتید مشاور محترم خود جناب آقای دکتر هیراد عبقری و دکتر محمد نخعی تشکر کنم که از بدو آشنایی، راهنمائیهای علمی این اساتید عالم و فرهیخته همچون چراغی پرنور راهگشای تاریکیهای علمی بنده بوده و همواره در رویاروئی با مسائل و مشکلات در طول این تحقیق مشوق و تکیه‌گاه بنده بوده‌اند. امیدوارم بتوانم گوشه‌ای از زحمات این اساتید فرزانه را جبران نمایم.

در ادامه از دکتر فرانک سای مشاور خارجی این تحقیق از دانشگاه ایالیتی لوئیزیینا و پرفسور ویجی سینگ استاد برجسته دانشگاه ایالیتی تگزاس، پرفسور ویلیام یه، استاد برجسته دانشگاه کالیفرنیا در لس آنجلس، و پرفسور گوکمن تایفور، استاد برجسته دانشگاه ازمیر که در طول تحقیق و ارائه مقالات علمی، همکاری صمیمانه این بزرگواران تجربه ای گرانبها و افتخاری عظیم برای من به همراه داشت و در این تحقیق زحمات فراوانی برای پیشرفت علمی اینجانب تقبل فرمودند.

از تمامی اساتید گروه زمین شناسی که هر یک به نحوی در پیشرفت علمی اینجانب نقش داشته و افتخار تلمذ در محضرشان را داشته ام، تشکر می کنم که زحمات این بزگواران باعث شد که اینجانب به عنوان دانشجوی نمونه کشوری سال ۱۳۸۹ در رشته زمین شناسی توسط انجمن زمین شناسی و سازمان زمین شناسی کشور شناخته شوم که افتخاریست بس عظیم در سایه الطاف بارگاه حق.

از جناب آقای دکتر وحید نورانی، دکترکامران زینال زاده و دکتر نوذر سامانی که زحمت داوری پایاننامه را قبول فرمودند کمال تشکر را دارم.

همچنین از کارشناسان بزرگوار در آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی، به خصوص جناب آقای مهندس حسین زاده، مهندس زینالی، مهندس نجیب، مهندس آرمانفر، مهندس روستا و سرکار خانم میرحیدری، و رنجبر که همکاری صمیمانه ای با اینجانب در طول این تحقیق داشتند تشکر می کنم.

پیشبرد فعالیتهای علمی بدون مساعدتهای معنوی برایم غیرممکن بود، لازم است از پدر و مادر فداکار و دلسوزم و خواهر و برادر عزیزم تشکر کنم که همواره با صبر و حوصله مرا در مشکلات یاری و تحمل نمودهاند.

سپاسگزاری می‌کنم از تمام دوستان عزیز، به خصوص همکلاسیهای دورۀ دکتری، سرکار خانم دکتر فیجانی و جناب آقای دکتر کرد که همواره از حمایتهای علمی و معنوی ایشان بهرهمند بودهام.

در نهایت سپاسگزاری خود را از تمامی کادر دانشکدۀ علوم به خصوص گروه زمین‌شناسی که در طول تحصیل زحمات بسیاری برایم کشیدهاند، ابراز می‌کنم.

نام خانوادگی: ندیری **نام:** عطاالله

عنوان پایان‌نامه: مقایسه کارآیی مدلهای عددی و هوش مصنوعی در مدیریت آبخوانها (مطالعه موردی: دشت تسوج)

استاد راهنما: دکتر اصغر اصغری مقدم

اساتید مشاور: دکتر فرانک سای، دکتر هیراد عبقری، دکتر محمد نخعی

مقطع تحصیلی: دکتری **رشته:** زمین‌شناسی **گرایش**: هیدروژئولوژی

دانشگاه: تبریز

دانشکده: علوم طبیعی **تاریخ فارغ التحصیلی**: تیر ۹۲ **تعداد صفحه:** ۲۳۰

کلید واژه‌ها: آبخوان دشت تسوج، مدل هوش مصنوعی مرکب نظارت شده، ژنتیک الگوریتم، الگوریتم بهینه سازی جامعه ذرات، نورد شبیه سازی شده. مدل عددی.

چکیده: مدیریت آبخوان همانند هر سیستمی نیاز به شناخت کامل آن و پیش بینی شرایط آیندهٔ آن دارد که این کار با مدلسازی سیستم مورد نظر امکان پذیر است. امروزه روش معمول در مدلسازی منابع آب استفاده از مدلهای عددی است. در دهه های اخیر به سبب پیچیدگی و خصوصیات غیرخطی سیستمهای آب زیرزمینی مدلهای هوش مصنوعی در مدلسازی و مدیریت آبخوانها مورد آزمایش قرار گرفته اند. هدف این تحقیق استفاده و مقایسه مدلهای عددی و هوش مصنوعی در مدلسازی و مدیریت آبخوانها (مطالعه موردی آبخوان تسوج) است. در قدم اول اقدام به شناخت هیدروژئولوژی آبخوان تسوج شد و هیدروژئوشمی آبخوان با استفاده از روشهای گرافیکی و روشهای چند متغیره بررسی شد. سپس مدلهای هوش مصنوعی برای پیش بینی هدایت هیدرولیکی و سطح آب زیرزمینی و بهینه سازی برداشت از آب زیرزمینی با استفاده حداکثری از منابع آب سطحی مورد استفاده قرار گرفت. برای پیش بینی هدایت هیدرولیکی در آبخوان تسوج از مدلهای شبکه های عصبی مصنوعی و فازی و نروفازی با استفاده از داده های ورودی که شامل داده های ژئوفیزیکی، هدایت الکتریکی و موقعیت هر نقطه بود، سود برده شد. سپس برای سود جستن همزمان از توانایی های هر یک از این مدلها از مدل هوش مصنوعی مرکب نظارت شده برای پیش بینی هدایت هیدرولیکی استفاده شد و با مدل هوش مصنوعی مرکب که از روشهای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جامعه ذرات برای بدست آوردن وزنهای هر یک از مدلها استفاده می کند، مقایسه شد، که مدل هوش مصنوعی مرکب نظارت نتایج نسبتاً بهتری در پی داشت. در مرحله بعد برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی در آبخوان تسوج ابتدا اقدام به دسته بندی پیزومترهای موجود در دشت شد. سطح آب در هر دسته از پیزومترها به عنوان خروجی برای هر یک از مدلهای هوش مصنوعی مذکور تعریف شد و ورودی این مدلها نیز شامل دما یک زمان قبل t_0-1، بارش یک زمان قبلt_0-1، و سطح آب زیرزمینی در یک زمان قبل در پیزومترهای مربوطه، بود. در این مرحله نیز با استفاده از مدل هوش مصنوعی مرکب ارائه شده در این تحقیق، نتایج پیش بینی تدقیق شد.

در مرحله بعد اقدام به بهینه سازی برداشت از آب زیرزمینی با استفاده حداکثری از منابع آب سطحی با استفاده از سه روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک، نورد شبیه سازی شده و الگوریتم جامعه ذرات، شد. که نتایج بدست آمده نشان داد که در صورت استفاده بهینه از منابع آب سطحی که عموماً به صورت سیلاب در دشت ظهور پیدا می کند می تواند از کاهش سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت تسوج جلوگیری کرد. آخرین مرحله این تحقیق استفاده از مدل GMS 9.0.3 برای مدلسازی آبخوان تسوج بود تا بتوان نتایج آن را با مدل های هوش مصنوعی ارائه شده، مقایسه کرد. لذا مدل عددی مذکور برای شرایط پایدار و ناپایدار ارائه شد.

در نهایت با توجه به نقاط ضعف و قوت مدلهای هوش مصنوعی و مدلهای عددی می توان چنین نتیجه گرفت که هر یک از این مدلها در زمینه های خاصی برتری داشته و می توانند کارایی بالاتری داشته باشند و لذا می توان در راستای تدقیق و افزایش بازده و کارایی مدل های آبهای زیرزمینی از این دو مدل به صورت ترکیبی استفاده نمود و از توانایی هر کدام از این روشها در قسمتی از یک مدل چندگانه یا ترکیبی که کارایی بالاتری دارند سود جست.

فهرست مطالب

Equation Chapter 1 Section 1

عنوان **صفحه**

فصل اول ـ بررسی منابع

۱-۱-مقدمه..... ۱

۱-۱-۱-اهمیت و ضرورت تحقیق..... ۲

۱-۲- مروری بر تحقیقات انجام یافته..... ۴

۱-۲-۱-روشهای بهینه سازی..... ۴

۱-۲-۱-۱- نمونه هایی از کاربرد الگوریتم جامعه ذرات (PSO)..... ۴

۱-۲-۱-۲- مروری بر تحقیقات انجام یافته با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۶

۱-۲-۱-۳- مروری بر تحقیقات انجام یافته با استفاده از نورد شبیه سازی شده(SA)..... ۷

۱-۲-۲- مدلهای مورد استفاده در پیش بینی زمانی..... ۸

۱-۲-۲-۱- مروری بر تحقیقات انجام یافته با استفاده از روش منطق فازی..... ۸

۱-۲-۲-۲- مروری بر تحقیقات انجام یافته با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی..... ۱۰

۱-۲-۲-۳- مروری بر تحقیقات انجام یافته با استفاده از نروفازی..... ۱۶

۱-۳-روش شناسی..... ۱۷

۱-۳-۱- روشهای بهینه سازی..... ۱۷

۱-۳-۱-۱-تقسیم بندی الگوریتم های فراکاوشی..... ۱۹

۱-۳-۱-۲- الگوریتم های بهینه سازی فراکاوشی استفاده شده در این تحقیق..... ۱۹

فهرست مطالب

۱-۳-۱-۲-۱- نورد شبیه سازی شده (SA)..... ۲۰

۱-۳-۱-۲-۲- الگوریتم بهینه سازی جامعه ذرات(PSO)..... ۲۴

۱-۳-۱-۲-۳- الگوریتم ژنتیک(GA) ۳۰

۱-۳-۱-۲-۳-۱- روند کلی عملکرد الگوریتم ژنتیک..... ۳۲

۱-۳-۱-۲-۳-۲- ایجاد جمعیت اولیه و اندازه جمعیت..... ۳۳

۱-۳-۱-۲-۳-۳- روش¬های کد دهی و رمز گذاری..... ۳۴

۱-۳-۱-۲-۳-۴- تعیین تابع شایستگی..... ۳۷

۱-۳-۱-۲-۳-۵- عملگرهای الگوریتم ژنتیک..... ۳۸

۱-۳-۱-۲-۳-۶- چگونگی عملکرد ، عملگرها در کددهی¬های مختلف..... ۴۰

۱-۳-۱-۲-۳-۷- الگوریتم ژنتیک در یک نگاه..... ۴۰

۱-۳-۲-روشهای هوش مصنوعی برای پیش بینی مکانی و زمانی..... ۴۲

۱-۳-۲-۱- شبکه‌های عصبی مصنوعی..... ۴۲

۱-۳-۲-۱-۱- ساختار کلی..... ۴۳

۱-۳-۲-۱-۲- ساختار های شبکهٔ عصبی مصنوعی..... ۴۴

۱-۳-۲-۱-۲-۱-شبکه‌های پیشرو..... ۴۴

۱-۳-۲-۱-۲-۱-شبکه‌های برگشتی..... ۴۵

۱-۳-۲-۱-۳- الگوریتمهای مختلف آموزش..... ۴۵

۱-۳-۲-۱-۳-۱- الگوریتم لونبرگ-مارکوارت..... ۴۵

فهرست مطالب

۱-۳-۲-۱-۳-۲-گرادیان نزولی انتشار خطا به عقب با ممنتم ۴۶

۱-۳-۲-۱-۳-۳- تنظیم بایزین ۴۷

۱-۳-۲-۱-۴-تقسیم‌بندی شبکه‌ها از نظر نوع توابع گره‌ها ۴۷

۱-۳-۲-۱-۵-تقسیم بندی شبکه‌ها از نظر نوع آموزش ۴۹

۱-۳-۲-۱-۵-۱- آموزش نظارت شده ۴۹

۱-۳-۲-۱-۵-۲- آموزش غیرنظارت شده ۴۹

۱-۳-۲-۱-۶-آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی ۴۹

۱-۳-۲-۲-مدل فازی ۵۲

۱-۳-۲-۲-۱- تعریف مجموعه های فازی و مقایسه آن با مجموعه های کلاسیک ۵۲

۱-۳-۲-۲-۲-تابع عضویت ۵۲

۱-۳-۲-۲-۳-متغیر کلامی ۵۳

۱-۳-۲-۲-۴-عملگرهای منطقی ۵۳

۱-۳-۲-۲-۵- روشهای دسته بندی فازی ۵۴

۱-۳-۲-۲-۶-انواع روشهای فازی وترکیب روابط فازی ۵۵

۱-۳-۲-۲-۶- روش انبوهش و غیرفازی سازی ۵۶

۱-۳-۲-۳-نروفازی ۵۷

۱-۳-۲-۴-مدل هوش مصنوعی مرکب (ICM) ۵۹

۱-۳-۲-۵-مدل هوش مصنوعی مرکب نظارت شده ۶۱

۱-۳-۳- ارزیابی دقت مدل ۶۲

فصل دوم ــ مواد و روشها

۲-۱- مقدمه ۶۴
۲-۲- مشخصات عمومی ۶۴
۲-۳- آب و هوا ۶۶
۲-۳-۱- بارش ۶۶
۲-۳-۲- درجه حرارت ۶۷
۲-۴- هیدرولوژی ۶۸
۲-۵- مشخصات کلی زمین شناسی منطقه ۶۹
۲-۵-۱- مطالعات زمین شناسی ۶۹
۲-۵-۱-۱- سازندهای آذرین و دگرگونی ۷۰
۲-۵-۱-۲- سازندهای رسوبی ۷۱
۲-۵-۱-۲-۱- پالئوزوئیک ۷۱
۲-۵-۱-۲-۲- مزوزوئیک ۷۱
۲-۵-۱-۲-۳- سنوزوئیک ۷۳
۲-۵-۲- زمین شناسی ساختمانی ۷۴
۲-۶- هیدروژئولوژی ۷۶
۲-۶-۱- نوع آبخوان ۷۶
۲-۶-۱-۱- سازندهای آبدار منطقه مطالعاتی ۷۶
۲-۶-۱-۲- آماربرداری از منابع آب ۷۷

فهرست مطالب

۲-۶-۲- بررسیهای اکتشافی ژئوفیزیکی ۷۹

۲-۶-۲-۱- مقاومت ویژه ظاهری ۸۰

۲-۶-۲-۲- مقاطع ژئوالکتریک ۸۱

۲-۶-۲-۲- مقاومت عرضی منطقه ۸۲

۲-۶-۳- حفاریهای اکتشافی ۸۳

۲-۶-۴- رفتار سنجی پیزومترها ۸۳

۲-۶-۵- جهت جریان و گرادیان هیدرولیکی ۸۸

۲-۶-۶- مشخصات هیدرودینامیکی آبخوان ۸۹

۲-۷- بررسیهای هیدروژئوشیمیایی ۹۰

۲-۷-۱- روشهای اندازه‌گیری پارامترهای هیدروشیمیایی ۹۱

۲-۷-۲-جمع آوری، تفسیر و کنترل نتایج آنالیز ۹۲

۲-۸- بررسیهای تغذیه مصنوعی ۹۳

۲-۸-۱- موقعیت و مشخصات طرح ۹۳

۲-۸-۲- فیزیوگرافی حوضه ها ۹۵

۲-۸-۳- هیدرولوژی حوضه ها ۹۷

۲-۸-۳-۱- محاسبه زمان تمرکز ۹۷

۲-۸-۳-۲- رواناب سطحی ۹۸

۲-۹- بیلان آب زیرزمینی منطقه ۹۹

۲-۹-۱- عوامل تغذیه آب زیرزمینی منطقه ۹۹

۲-۹-۲- عوامل تخلیه آب زیرزمینی منطقه ۱۰۲

فهرست مطالب

۲-۹-۳- تغییرات حجم مخزن ۱۰۳

۲-۱۰- محصولات کشاورزی و نیاز آبی هر یک از محصولات ۱۰۴

۲-۱۱- پایگاه داده¬های منطقه مورد مطالعه ۱۰۵

فصل سوم ـ نتایج و بحث

۳-۱- مقدمه ۱۰۸

۳-۲- هیدروژئوشیمی ۱۰۹

۳-۲-۱- بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی ۱۱۰

۳-۲-۱-۱- روشهای گرافیکی ۱۱۰

۳-۲-۱-۲- روشهای آنالیز چند متغیره ۱۱۳

۳-۲-۱-۲-۲- خوشه بندی مرتبه‌ای ۱۱۳

۳-۲-۱-۲-۳- خوشه بندی به روش آنالیز تشخیصی ۱۱۵

۳-۲-۱-۲-۴- تجزیه به عوامل ۱۱۶

۳-۲-۱-۲-۵- تغییرات زمانی کیفیت آب ۱۱۸

۳-۳- مدلسازی آبخوان تسوج با مدلهای هوش مصنوعی ۱۲۰

۳-۳-۱- تخمین هدایت هیدرولیکی ۱۲۱

۳-۳-۱-۱- تجزیه و تحلیل داده مورد استفاده ۱۲۲

۳-۳-۱-۲- منطق فازی ۱۲۳

۳-۳-۱-۳- شبکه های عصبی مصنوعی ۱۲۹

۳-۳-۱-۴- روش نروفازی(NF) ۱۳۲

فهرست مطالب

۳-۳-۱-۵- مدل هوش مصنوعی مرکب(ICM) ۱۳۵

۳-۳-۱-۶-مدل هوش مصنوعی مرکب نظارت شده ۱۳۹

۳-۳-۲- پیش بینی سطح آب زیرزمینی ۱۴۱

۳-۳-۲-۱- شبکه های عصبی مصنوعی ۱۴۳

۳-۳-۲-۲- مدل فازی ۱۵۳

۳-۳-۲-۳- مدل نروفازی ۱۶۴

۳-۳-۲-۴-مدل هوش مصنوعی مرکب نظارت شده در پیش بینی سطح آب زیرزمینی ۱۷۳

۳-۴- بررسی اثرات تغذیه مصنوعی در دشت تسوج ۱۷۸

۳-۵-بهینه سازی میزان برداشت ۱۷۹

۳-۵-۱- تابع هدف ۱۸۲

۳-۵-۲- متغیرهای تصمیم ۱۸۲

۳-۵-۳- قیود حاکم بر مسئله ۱۸۲

۳-۵-۳-۱- قیود تابع هدف ۱۸۳

۳-۵-۴-۲- چگونگی اعمال قیود حاکم بر مسئله ۱۸۳

۳-۵-۳-آنالیز حساسیت پارامترهای الگوریتم جامعه ذارت ۱۸۵

۳-۵-۴-تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۱۸۶

۳-۵-۴-تعیین پارامترهای الگوریتم SA ۱۸۷

۳-۵-۵- مقایسه کارایی الگوریتم PSO، GA، و SA در بهینه سازی مقادیر خروجی از آب زیرزمینی ۱۸۷

۳-۶- مقایسه مدلهای عددی و هوش مصنوعی در مدیریت و مدلسازی آبخوانها ۱۹۱

فهرست مطالب

۳-۶-۱- مدل مفهومی..... ۱۹۲

۳-۶-۲- مدلهای عددی..... ۱۹۴

۳-۶-۲-۱- مدل در شرایط ماندگار..... ۱۹۴

۳-۶-۲-۱- ۱-شبکه بندی مدل..... ۱۹۴

۳-۶-۲-۱- ۲- معرفی کردن سطوح بالا و پایین آبخوان به نرم افزار..... ۱۹۵

۳-۶-۲-۱-۳- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان..... ۱۹۶

۳-۶-۲-۱-۴- شرایط مرزی آبخوان..... ۱۹۶

۳-۶-۲-۱-۵- سطح آب اولیه (Starting head)..... ۱۹۷

۳-۶-۲-۱-۶- عوامل تغذیه آبخوان..... ۱۹۷

۳-۶-۲-۱-۷- عوامل تخلیه آبخوان..... ۱۹۸

۳-۶-۲-۱-۸- چاههای مشاهده ای..... ۱۹۸

۳-۶-۲-۱-۹- تبدیل مدل مفهومی به فایل MODFLOW..... ۱۹۸

۳-۶-۲-۱-۹- واسنجی مدل..... ۱۹۹

۳-۶-۳- مدل در شرایط غیر ماندگار یا ناپایدار..... ۲۰۱

۳-۶-۳-۱- دوره تنظیم و پله های زمانی مدل..... ۲۰۱

۳-۶-۳-۲- تنظیم پارامترهای مختلف برای مدلسازی ناپایدار..... ۲۰۲

۳-۶-۳-۳- واسنجی مدل در رژیم ناپایدار..... ۲۰۲

۳-۶-۳-۴- ارزیابی عدم قطعیت مدل..... ۲۰۳

۳-۶-۳-۴-۱- تحلیل حساسیت..... ۲۰۳

۳-۶-۳-۵- صحت سنجی..... ۲۰۴

۳-۶-۴- بررسی توانایی مدلهای عددی و هوش مصنوعی..... ۲۱۰

فصل چهارم ـ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۴-۱- نتیجه‌گیری..... ۲۱۳

۴-۲- پیشنهادها..... ۲۱۶

منابع..... ۲۱۷

پیوستها..... ۲۲۹

فهرست اشکال

شکل۱-۱- فلوچارت بهینه¬سازی الگوریتم نورد شبیه سازی شده (SA)..... ۲۴

شکل۱-۲- فلوچارت بهینه¬سازی الگوریتم جامعه ذرات (PSO)..... ۳۰

شکل ۱-۳- طرح استاندارد عملکرد یک الگوریتم ژنتیک ساده..... ۴۱

شکل ۱-۴- یک شبکهٔ سه لایهٔ نمونه..... ۴۴

شکل ۱-۵- یک گره نمونه..... ۴۴

شکل ۱-۶- انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی (Anil et al., 1996)..... ۴۷

شکل ۱-۷- مهمترین توابع تبدیلگر مورد استفاده در شبکه‌های عصبی مصنوعی..... ۴۸

شکل ۱-۸- نشانگر بهترین ابعاد مدل نسبت به خطای شبکه، واریانس خطا، بایاس الف) رابطهٔ بین واریانس و مربع متوسط خطا و مربع بایاس ب) رابطهٔ بین ابعاد و خطای شبکه..... ۵۲

شکل ۱-۹- شکل شماتیکی از عملگرهای منطقی فازی(Mathwork, 2012)..... ۵۴

شکل ۱-۱۰- شکل شماتیک مدل نروفازی..... ۵۹

شکل ۱-۱۱- دیاگرام شماتیکی از مدل هوش مصنوعی مرکب ارائه شده..... ۶۰

فهرست مطالب

شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی (الف) محدودهٔ مطالعاتی (ب) مدل رقومی ارتفاع..... ۶۵

شکل۲-۲- نمودار بارش متوسط سالانه..... ۶۶

شکل۲-۳- نمودار دمای متوسط سالانه..... ۶۷

شکل ۲-۴- شبکه آبراهه های محدوده مطا لعاتی..... ۶۹

شکل ۲-۵- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۷۵

شکل ۲-۶- موقعیت و نوع منابع آب موجود در منطقه مطالعاتی..... ۷۶

شکل ۲-۷- نقشه موقعیت سونداژ های ژئوالکتریک و هم ضخامت آبرفت..... ۸۰

شکل ۲-۸- نقشه هم مقاومت عرضی آبخوان..... ۸۳

شکل ۲-۹. موقعیت پیزومترهای موجود در دشت تسوج..... ۸۴

شکل۲-۱۰- روند کلی سطح تراز آب زیرزمینی در تعدادی از پیزومترها..... ۸۷

شکل ۲-۱۱- نقشه هم تراز کاهش سطح تراز آب زیرزمینی در دوره ده ساله (۸۸-۷۹)..... ۸۸

شکل ۲-۱۲- منحنی های هم تراز سطح آب زیرزمینی وجهت جریان در خرداد ۱۳۸۸..... ۸۹

شکل ۲-۱۳- تصویر ماهواره ای لندست و نمایی از محدوده طرح تغذیه مصنوعی..... ۹۴

شکل ۲-۱۴ – نما هایی از سیستم تغذیه مصنوعی تسوج، الف) حوضچه آرامش، ب) دریچه های منفذ دار موجود در حوضچه آرامش..... ۹۵

شکل ۲- ۱۵– حوضه های آبریز تأمین کننده آب طرح پخش سیلاب..... ۹۶

شکل ۲-۱۶- نقشه طبقه بندی شیب حوضه های آبریز طرح..... ۹۷

شکل ۲-۱۷- نقشه بیلان آبی سال ۸۸-۸۷ و مقاطع ورودی و خروجی جریان آب زیرزمینی..... ۱۰۱

شکل ۳-۱- تغییرات متوسط هدایت الکتریکی در مقابل تغییرات متوسط بارش سالانه..... ۱۰۹

شکل ۳-۲- دیاگرام پایپر برای فصل خشک، سال ۱۳۸۳..... ۱۱۱

فهرست مطالب

شکل ۳-۳- دیاگرام بسط داده شده درووو برای دوره خشک، سال ۱۳۸۳..... ۱۱۲

شکل ۳-۴- دیاگرامهای استیف برای داده های مربوط به فصل خشک ۱۳۸۳..... ۱۱۴

شکل ۳-۵- دندروگرام نمونه های کیفی آب زیرزمینی در فصل خشک سال ۱۳۸۳..... ۱۱۵

شکل ۳ -۶- دندروگرام برای سالهای الف)۱۳۷۹، ب)۱۳۸۲، ج) ۱۳۸۵، د) ۱۳۸۹..... ۱۱۹

شکل ۳-۷- پهنه بندی تیپ آب زیرزمینی، الف) سال ۱۳۷۹، ب) ۱۳۸۹..... ۱۲۰

شکل ۳-۸- مقایسه هدایت هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل MFL، الف) مرحله آموزش، ب) مرحله آزمایش..... ۱۲۷

شکل ۳-۹-تغییرات تعداد قانونها و RMSE در مقابل تغییر مقدار شعاع دسته بندی..... ۱۲۷

شکل ۳-۱۰- توابع عضویت برای ورودی R_t..... ۱۲۸

شکل ۳-۱۱- مقایسه هدایت هیدرولیکی مشاهده ای و محاسبه ای با مدل SFL ، الف) آموزش، ب) آزمایش..... ۱۲۹

شکل ۳-۱۲- دیاگرام شماتیکی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده..... ۱۳۰

شکل ۳-۱۳- مقایسه هدایت هیدرولیکی مشاهداتی و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی، در مرحله، الف) آموزش و صحت سنجی، ب) آزمایش..... ۱۳۱

شکل ۳-۱۴- شکل شماتیک مدل نروفازی..... ۱۳۳

شکل ۳-۱۵- مقایسه هدایت هیدرولیکی مشاهداتی و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل نروفازی، در مرحله، الف) آموزش ب) آزمایش..... ۱۳۴

شکل ۳-۱۶- دیاگرام شماتیکی از مدل هوش مصنوعی مرکب ارائه شده..... ۱۳۶

شکل۳-۱۷- آنالیز حساسیت پارامترهای اجتماعی و شناختی..... ۱۳۸

شکل ۳-۱۸- شکل شماتیکی از مدل SICM..... ۱۴۰

شکل ۳-۱۹- توزیع هدایت هیدرولیکی بدست آمده توسط مدل SICM..... ۱۴۱
شکل ۳-۲۰- خوشه بندی پیزومترها با استفاده از خوشه بندی مرتبه ای..... ۱۴۲
شکل ۳-۲۱- موقعیت پیزومترها، با داده هایی بیش از ۱۰ سال..... ۱۴۴
شکل ۳-۲۲- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، الف) پیزومتر ۲۱، ب) پیزومتر ۲۴..... ۱۴۶
شکل ۳-۲۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، الف) پیزومتر ۱، ب) پیزومتر ۲..... ۱۴۷
شکل ۳-۲۴- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، الف) پیزومتر ۷، ب) پیزومتر ۱۰..... ۱۴۸
شکل ۳-۲۵- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، الف) پیزومتر ۸، ب) پیزومتر ۱۸..... ۱۵۰
شکل ۳-۲۶- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، الف) پیزومتر ۳، ب) پیزومتر ۵، ج) پیزومتر ۶..... ۱۵۲
شکل ۳-۲۷- شعاع خوشه بندی و تعداد قوانین بر اساس کمینه RMSE..... ۱۵۴
شکل ۳-۲۸- توابع عضویت فازی برای ورودی ۳..... ۱۵۴
شکل ۳-۲۹- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب زیرزمینی، الف) پیزومتر ۲۱، ب) پیزومتر ۲۴..... ۱۵۵
شکل ۳-۳۰- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب زیرزمینی، الف) پیزومتر ۱، ب) پیزومتر ۲..... ۱۵۷
شکل ۳-۳۱- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب زیرزمینی، الف) پیزومتر ۱۲، ب) پیزومتر ۱۹..... ۱۵۹
شکل ۳-۳۲- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب زیرزمینی، الف) پیزومتر ۸، ب) پیزومتر ۱۸..... ۱۶۰
شکل ۳-۳۳- شعاع خوشه بندی و تعداد قوانین بر اساس کمینه RMSE..... ۱۶۱

شکل ۳-۳۴- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب زیرزمینی، الف) پیزومتر ۸، ب) پیزومتر ۱۸..... ۱۶۳

شکل ۳-۳۵- شعاع خوشه بندی و تعداد قوانین بر اساس کمینه RMSE..... ۱۶۵

شکل ۳-۳۶- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب زیرزمینی با مدل NF، الف) ۲۱، ب)۲۴، ج)۱، د)۲، ه) ۱۲، و)۱۹، ز)۸، ح)۱۸، ت)۳، ی)۹، ن)۶. (خط چین = مقادیر محاسباتی و خط = مقادیر مشاهداتی است)..... ۱۷۱

شکل ۳-۳۷- مقایسه خطای سه مدل در مرحله آزمایش برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی در ۱۱ پیزومتر منتخب..... ۱۷۲

شکل ۳-۳۸- شکل شماتیکی از مدل SICM، i) نشانگر تعداد پیزومترها در هر گروه است)..... ۱۷۳

شکل ۳-۳۹- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی توسط مدلSICM، الف) ۲۴، ب) ۲۱، ج) ۲، چ) ۱، ح) ۱۹، خ) ۱۲، ح) ۱۸، خ) ۸، ح) ۵، خ) ۳، د)۶..... ۱۷۷

شکل ۳-۴۰- روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در نزدیکترین پیزومتر به طرح تغذیه مصنوعی با داده طولانی مدت..... ۱۷۹

شکل۳-۴۱- آنالیز حساسیت پارامترهای شناختی و اجتماعی..... ۱۸۶

شکل ۳-۴۲- مدل مفهومی آبخوان دشت تسوج، الف) دید به سمت شمال غرب، ب) دید به سمت جنوب شرق..... ۱۹۳

شکل ۳-۴۳- شبکه بندی آبخوان و مرزهای تعیین شده در محیط نرم افزار GMS..... ۱۹۵

شکل ۳-۴۴- ارتفاع سنگ کف به صورت سه بعدی در محیط نرم افزار GMS..... ۱۹۵

شکل ۳-۴۵- پلیگون بندی هدایت هیدرولیکی در آبخوان دشت تسوج در محیط نرم افزار GMS..... ۱۹۶

شکل ۳-۴۷. اولین اجرای مدل در حالت ماندگار..... ۱۹۹

شکل ۳-۴۸- نتایج نهایی مدل ماندگار آبخوان تسوج پس از انجام واسنجی خودکار و دستی..... ۲۰۰
شکل ۳-۴۹- مقایسه سطح آب مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل در شرایط ماندگار..... ۲۰۱
شکل ۳-۵۰. متوسط (ضربدر)، ماکزیمم (بالای نمودار میله¬ای)، و مینیمم (پایین نمودار میله¬ای) تفاوت مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح تراز آب زیرزمینی..... ۲۰۳
شکل ۳-۵۱- میزان حساسیت پارامترهای هدایت هیدرولیکی و تغذیه در آخرین اجرای PEST برای دوره تنش اول..... ۲۰۴
شکل ۳-۵۱- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل GMS، الف) ۱، ب) ۲، ج) ۲۱، د) ۲۴، ه) ۱۲، و) ۱۹، ز) ۸، ح) ۱۸، ت) ۳، ی) ۵، ن)۶. (خط چین = مقادیر محاسباتی و خط = مقادیر مشاهداتی است)..... ۲۱۰

فهرست جداول

جدول ۲-۱- تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی در بازه زمانی سال آبی ۸۸-۸۷..... ۶۸
جدول ۲-۲- میزان تخلیه از چاههای پمپاژ بر حسب نوع مصرف..... ۷۷
جدول ۲-۳– میزان تخلیه از چشمه و قنات بر حسب نوع مصرف..... ۷۸
جدول ۲- ۴– نتایج سه نمونه از آمار برداریهای صورت گرفته در دهه گذشته..... ۷۹
جدول ۲-۵- گستره مقاومت ویژه الکتریکی لایه ها در محدوده مطالعاتی(شرکت مشاور صحرا کاو، ۱۳۸۷)..... ۸۰
جدول ۲-۶- نام و موقعیت پیزومترهای منطقه..... ۸۵
جدول ۲-۷- نتایج آزمایشات پمپاژ با دبی ثابت صورت گرفته در دشت تسوج..... ۹۰
جدول ۲-۸- خصوصیات آماری داده‌های هیدروشیمیایی..... ۹۲