جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو

شرکت آب منطقه‌ای اردبیل
کمیته تحقیقات
(طرح تحقیقات کاربردی)

گزارش نهایی

پیش‌بینی جریان ورودی ماهانه به سد سبلان با روش‌های شبکه عصبی مصنوعیMLP و مدل درختی M۵ برای یک سال آبی

سازمان مجری: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

پژوهشگران: شهرام شاه‌محمدی کلالق، محمدتقی ستاری و ایرج رسولی

مهرماه ۹۵

چکیده پژوهش

طبیعت تصادفی و غیرخطی بارش و جریان در حوضه‌های آبریز و دخالت غیرطبیعی انسان همراه با سایر فاکتورهای مؤثر بر پدیده بارش–رواناب، پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن سدها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک را به امری مشکل و پیچیده تبدیل نموده است. در این تحقیق با توجه به اهمیت مدیریت مخزن برای سال آبی آتی، مقدار جریان ماهانه ورودی به مخزن سد سبلان اردبیل برای یک سال آبی آتی با استفاده از مدل‌های درختی M۵ و شبکه عصبی مصنوعی MLP پیش‌بینی و دقت هر یک از این مدل‌ها موردبررسی و ارزیابی قرارگرفته است. در این مطالعه ابتدا در راستای پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌ها جهت انجام فرآیند مدل‌سازی، با استفاده از داده‌های خام ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و آب‌سنجی موجود در محدوده موردمطالعه و به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تیسن مقادیر بارش و دمای معادل ماهانه حوضه استخراج گردید. در همین راستا همگنی، دقت و صحت داده‌های تاریخی جریان حوضه آبریز سد سبلان نیز موردبررسی قرار گرفت. بررسی همگنی نشان داد علیرغم کاهش نامحسوس روند بارش، داده‌های جریان همگن نبوده و بعد از سال ۱۳۷۴ کاهش چشم‌گیر و غیرطبیعی داشته است. ازاین‌روی نسبت به بازسازی داده‌های جریان توسط مقادیر بارش برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و قابل‌اطمینان‌تر اقدام گردید. سپس ضمن بررسی مقادیر خودهمبستگی جریان و همبستگی متقابل جریان با بارش، تبخیر و دما، پارامترها و تأخیرهای زمانی مؤثر در فرآیند مدل‌سازی، شناسایی گردید. بر این اساس، دبی ورودی به مخزن سد برای یک سال آبی آتی به‌عنوان مقادیر هدف و خروجی مدل و سایر پارامترهای جریان، تبخیر، بارش و دما به‌عنوان ورودی مدل منظور شد. جهت بررسی دقیق‌تر، چندین ترکیب مختلف از پارامترهای ورودی گوناگون هم برای داده‌های قبل از بازسازی و هم برای داده‌های بازسازی‌شده، ایجاد و با استفاده از روش سعی و خطا عملکرد و دقت آن‌ها در پیش‌بینی جریان برای یک سال آبی آتی موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از ترکیب‌های مختلف هر دو مدل نشان داد، در حالت استفاده از داده‌های بازسازی نشده، ترکیبی که در آن ورودی مدل شامل میانگین و انحراف معیار استاندارد مقادیر جریان ماهانه در کل دوره، جریان در ماه جاری و در ۱، ۱۱ و۱۲ ماه قبل بود، از دقت بیشتری برخوردار است. همچنین ملاحظه گردید در حالت استفاده از داده‌های بازسازی‌شده، ترکیبی که در آن ورودی مدل شامل مقادیر دما در ۷ ماه قبل، میانگین و انحراف معیار استاندارد مقادیر

جریان ماهانه در کل دوره و جریان در ماه جاری و در ۱۲ ماه قبل بود، از دقت بیشتری برخوردار بود. بررسی کلی نتایج نشان داد که بازسازی داده‌ها نقش بسزایی در افزایش دقت مدل‌ها داشته است. همچنین با بررسی نتایج مشاهده گردید که روش شبکه عصبی مصنوعی MLP در حالت استفاده از داده‌های بازسازی نشده و روش مدل درختی M۵ در حالت استفاده از داده‌های بازسازی‌شده دقت و عملکرد بهتری دارند. از طرف دیگر به نظر می‌رسد با توجه به‌سادگی، کاربردی بودن و ارائه روابط ساده خطی و قابل‌فهم توسط مدل درختی M۵ این روش برای استفاده در پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن سد سبلان کاربردی‌تر باشد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی جریان ورودی، مخزن، داده‌کاوی، مدل شبکه عصبی مصنوعیMLP، مدل درختی M۵ و سد سبلان.

بسمه‌تعالی

این پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای اردبیل تحت قرارداد شماره ۱۹۷۳۴/۹۰۰ مورخ ۹۳/۵/۲۲ به شماره طرح ۴۰۲۰۱۵۶۷ و باکد ره‌گیری ۱۲۸۱۷۹-۷۵۰۴ به انجام رسیده است.

فهرست مطالب

فصل اول:..... ۱

کلیات، مبانی نظری و پیشینه تحقیق ۱

۱-۱-مقدمه..... ۲

۱-۲-ضرورت تحقیق..... ۲

۱-۳-پیشینه تحقیق..... ۵

۱-۴-اهداف تحقیق..... ۱۶

فصل دوم:..... ۱۸

مواد و روش‌ها..... ۱۸

۲-۱- شبکه‌های عصبی مصنوعی..... ۱۹

۲-۱-۱- مقدمه‌ای بر ساختار کلی شبکه‌های عصبی ۱۹

۲-۱-۲- شبکه عصبی مصنوعی ۲۵

مدل ریاضی نرون..... ۲۶

مدل تک ورودی..... ۲۶

مدل چند ورودی ۲۷

فرم خلاصه‌شده ۲۸

۲-۲-مدل درختی $M5$..... ۳۳

۲-۳- معرفی منطقه مورد مطالعه..... ۳۵

۲-۴- استخراج داده های جریان، بارش، دما و تبخیر حوضه آبریز سد سبلان..... ۳۷

۲-۴-۱- استخراج داده های جریان ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۳۸

۲-۴-۲- استخراج داده های بارش ماهانه حوضه آبریز سد سبلان ۴۳

۲-۴-۳-برآورد دمای ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۴۶

۲-۴-۳-برآورد تبخیر ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۴۸

۲-۵-روش های آزمون همگنی..... ۵۰

۲-۵-۱-روش آزمون همگنی دامنه بیشند ۵۰

۲-۵-۲-روش آزمون نسبت فون نیومن (VNR)..... ۵۰

فصل سوّم: ۵۲

نتایج و بحث ۵۲

۳-۱- مقدمه..... ۵۳

۳-۲-نتایج بررسی همگنی داده‌های آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۵۳
۳-۳-بازسازی داده های آبدهی..... ۵۶
۳-۴- تعیین سناریوهای مختلف برای پیش بینی مقدار آبدهی در ۱۲ ماه بعد..... ۶۰
۳-۵- نتایج مدل‌سازی با مدل درختی $M5$..... ۷۱
۳-۵-۱-نتایج مدل‌سازی به وسیله داده‌های بازسازی نشده ۷۱
۳-۵-۲-نتایج مدل‌سازی به وسیله داده‌های بازسازی شده..... ۸۶
۳-۶- مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP)..... ۱۰۰
۳-۶-۱-نتایج شبکه عصبی MLP برای داده های بازسازی نشده ۱۰۰
۳-۶-۲-نتایج شبکه عصبی MLP برای داده های بازسازی شده..... ۱۱۴
۳-۷-مقایسه نتایج حاصل از روش شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی $M5$..... ۱۲۷
۳-۸-نتیجه گیری کلی و پیشنهادها..... ۱۳۱
پیوست ها ۱۴۱
پیوست شماره ۱: داده های بازساری نشده و بازسازی شده آبدهی ماهانه حوضه آبریز در محل ورودی سد سبلان..... ۱۴۱
پیوست شماره ۲: پیش‌بینی جریان ورودی ماهانه به مخزن سد سبلان با استفاده از داده‌های ایستگاه آب-سنجی ارباب‌کندی ۱۷۶
پیوست شماره ۳: نظرات داوران و پرسش و پاسخ های مطرح شده در مراحل مختلف تصویب گزارش..... ۱۸۶

فهرست اشکال

شکل ۲-۱- ساختمان سلول عصبی (نرون)..... ۲۲
شکل ۲-۲- مدل نرون تک ورودی..... ۲۶
شکل ۲-۳- مدل یک نرون با R ورودی..... ۲۸
شکل ۲-۴- فرم ساده شده نرون با R ورودی..... ۲۹
شکل ۲-۵- فرم شبکه تک لایه با S نرون..... ۳۲
شکل ۲-۶ - منطقه مورد مطالعه(حوضه آبریز سد سبلان)..... ۳۷
شکل ۲-۷- موقعیت ایستگاه های آب سنجی منطقه مورد مطالعه..... ۳۹
شکل ۲- ۸- نمودار سری زمانی آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان از سال آبی ۵۳-۱۳۵۲ تا سال آبی ۹۱-۱۳۹۰..... ۴۱
شکل ۲-۹- نمودار سری زمانی داده‌های آبدهی و بارندگی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۴۲
شکل ۲-۱۰- چند ضلعی های تیسن جهت تخمین بارش ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۴۵
شکل ۲-۱۱- چند ضلعی های تیسن جهت تخمین دمای ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۴۷
شکل ۲-۱۲- چند ضلعی های تیسن جهت تخمین تبخیر ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۴۹
شکل ۳-۱ –نمودار گسستگی داده‌های آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۵۴
شکل ۳-۲-نمودار سری زمانی داده‌های اولیه جریان نسبت به داده‌های بازسازی شده جریان به وسیله رگرسیون خطی..... ۵۹
شکل ۳-۳-همگنی داده‌های جریان بعد از بازسازی داده‌ها..... ۶۰
شکل ۳-۴- نمودار خود همبستگی آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان (داده های بازسازی نشده)..۶۱
شکل ۳-۵- نمودار خود همبستگی آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان (داده های بازسازی شده)...۶۱
شکل ۳-۶- نمودار همبستگی متقابل آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان با میانگین بارندگی ماهانه با تأخیرهای زمانی مختلف..... ۶۲
شکل ۳-۷- نمودار همبستگی متقابل آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان با میانگین دمای ماهانه با تأخیرهای زمانی مختلف..... ۶۲
شکل ۳-۸- نمودار همبستگی متقابل آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان با میانگین تبخیر ماهانه با تأخیرهای زمانی مختلف..... ۶۳
شکل ۳-۹- نمودار ماتریس همبستگی آبدهی ماهانه، تبخیر ماهانه، بارندگی ماهانه و دمای ماهانه حوضه آبریز سد سبلان ۶۴

شکل ۳-۱۰- نمودار هیستوگرام داده‌های مورداستفاده (داده‌های بارندگی ماهانه).....۶۸
شکل ۳-۱۱- نمودار هیستوگرام داده‌های مورداستفاده (داده‌های دمای ماهانه).....۶۸
شکل ۳-۱۲- نمودار هیستوگرام داده‌های مورداستفاده (داده‌های تبخیر ماهانه).....۶۹
شکل ۳-۱۳- نمودار هیستوگرام داده‌های مورد استفاده (داده‌های آبدهی ماهانه بازسازی نشده).....۶۹
شکل ۳-۱۴- نمودار هیستوگرام داده‌های مورد استفاده (داده‌های آبدهی ماهانه بازسازی شده).....۷۰
شکل ۳-۱۵- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۱ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۷۲
شکل ۳-۱۶- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۱ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۷۳
شکل ۳-۱۷- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۲ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۷۵
شکل ۳-۱۸- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۲ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۷۶
شکل ۳-۱۹- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۳ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۷۷
شکل ۳-۲۰- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۳ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۷۸
شکل ۳-۲۱- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۴ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۷۹
شکل ۳-۲۲- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۴ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۸۰
شکل ۳-۲۳- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۵ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۸۱
شکل ۳-۲۴- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۵ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۸۲
شکل ۳-۲۵- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۶ مدل درختی M5 (داده های بازسازی نشده).....۸۴

شکل ۳-۲۶- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۶ مدل درختی M5 (داده‌های بازسازی نشده).....۸۴
شکل ۳-۲۷- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۱ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۸۷
شکل ۳-۲۸- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۱ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۸۷
شکل ۳-۲۹- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۲ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۸۹
شکل ۳-۳۰- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۲ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۸۹
شکل ۳-۳۱- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۳ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۹۱
شکل ۳-۳۲- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۳ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۹۱
شکل ۳-۳۳- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۴ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۹۳
شکل ۳-۳۴- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۴ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۹۴
شکل ۳-۳۵- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۵ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۹۵
شکل ۳-۳۶- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۵ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۹۶
شکل ۳-۳۷- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۶ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۹۷
شکل ۳-۳۸- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۶ مدل درختی M5 (داده های بازسازی شده).....۹۸
شکل ۳-۳۹- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP برای سناریو شماره ۱ (داده‌های بازسازی نشده).....۱۰۲

شکل ۳-۴۰- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۱ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۲
شکل ۳-۴۱- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۱ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۳
شکل ۳-۴۲- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی برای سناریو شماره ۲ (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۴
شکل ۳-۴۳- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۲ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۴
شکل ۳-۴۴- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۲ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۵
شکل ۳-۴۵- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP برای سناریو شماره ۳ (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۶
شکل ۳-۴۶- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۳ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۶
شکل ۳-۴۷- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۳ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۷
شکل ۳-۴۸- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی برای سناریو شماره ۴ (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۸
شکل ۳-۴۹- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۴ مدل شبکه عصبی مصنوعیMLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۸
شکل ۳-۵۰- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۴ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۰۹
شکل ۳-۵۱- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP برای سناریو شماره ۵ (داده‌های بازسازی نشده) ۱۱۰
شکل ۳-۵۲- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۵ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۱۰
شکل ۳-۵۳- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۵ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) ۱۱۱

شکل ۳-۵۴- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP برای سناریو شماره ۶ (داده‌های بازسازی نشده).....۱۱۲
شکل ۳-۵۵- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۶ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده) .۱۱۲
شکل ۳-۵۶- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۶ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی نشده).....۱۱۳
شکل ۳-۵۷- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP برای سناریو شماره ۱ (داده‌های بازسازی شده).....۱۱۵
شکل ۳-۵۸- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۱ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده) ..۱۱۵
شکل ۳-۵۹- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۱ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده).....۱۱۶
شکل ۳-۶۰ بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی برای سناریو شماره ۲ (داده‌های بازسازی شده).....۱۱۷
شکل ۳-۶۱- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۲ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده) ..۱۱۷
شکل ۳-۶۲- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۲ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده).....۱۱۸
شکل ۳-۶۳- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP برای سناریو شماره ۳ (داده‌های بازسازی شده).....۱۱۹
شکل ۳-۶۴- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۳ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده) ..۱۱۹
شکل ۳-۶۵- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۳ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده).....۱۲۰
شکل ۳-۶۶- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی برای سناریو شماره ۴ (داده‌های بازسازی شده).....۱۲۱
شکل ۳-۶۷- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۴ مدل شبکه عصبی مصنوعیMLP (داده‌های بازسازی شده)...۱۲۱

شکل ۳-۶۸- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۴ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده).....۱۲۲
شکل ۳-۶۹- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP برای سناریو شماره ۵ (داده‌های بازسازی شده).....۱۲۳
شکل ۳-۷۰- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۵ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده) ..۱۲۳
شکل ۳-۷۱- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۵ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده).....۱۲۴
شکل ۳-۷۲- بهینه‌ترین ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP برای سناریو شماره ۶ (داده‌های بازسازی شده).....۱۲۵
شکل ۳-۷۳- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۶ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده) ..۱۲۵
شکل ۳-۷۴- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان ورودی اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های متناظر پیش‌بینی‌شده با سناریو شماره ۶ مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP (داده‌های بازسازی شده).....۱۲۶
شکل ۳-۷۵- نمودار مقایسه نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP و مدل درختی M۵ با مقادیر مشاهداتی داده‌های دبی جریان اندازه‌گیری شده در حوضه آبریز سد سبلان برای سناریوی شماره ۶ (داده‌های بازسازی نشده).....۱۲۸
شکل ۳-۷۶- نمودار مقایسه نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP و مدل درختی M۵ با مقادیر مشاهداتی داده‌های دبی جریان اندازه‌گیری شده در حوضه آبریز سد سبلان برای سناریوی شماره ۶ (داده‌های بازسازی شده).....۱۲۸
شکل ۴-۱- مقایسه ارقام حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی ام ۵ با مقادیر مشاهداتی دبی جریان ماهانه در محل ورودی سد سبلان برای داده های آزمون (داده‌های بازسازی شده)-----۱۷۵
شکل ۴-۲- فراوانی داده‌های دبی جریان---------- ۱۷۸
شکل ۴-۳ - نمودار سری زمانی جریان در طول دوره زمانی مطالعاتی ---------- ۱۷۸
شکل ۴-۴- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان مشاهداتی در مقایسه با داده‌های متناظر محاسباتی توسط مدل درختی M۵ ---------- ۱۸۰
شکل ۴-۵- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان مشاهداتی در مقایسه با داده‌های متناظر محاسباتی توسط مدل درختی M۵ ---------- ۱۸۰

شکل ۴-۶- نمودار پراکنش داده‌های دبی جریان مشاهداتی در مقایسه با داده‌های متناظر محاسباتی توسط شبکه عصبی پرسپترون چندلایه----------۱۸۱

شکل ۴-۷- نمودار تغییرات زمانی داده‌های دبی جریان مشاهداتی در مقایسه با داده‌های متناظر محاسباتی توسط شبکه عصبی پرسپترون چندلایه----------۱۸۱

شکل ۴-۸- ساختار شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شده در سناریوی برتر----------۱۸۲

فهرست جداول

جدول ۲-۱- مشخصات ایستگاه های آب سنجی منطقه مورد مطالعه..... ۴۰

جدول ۲-۲ مشخصات ایستگاه های بارانسنجی حوضه آبریز سد سبلان..... ۴۴

جدول ۲-۳- مشخصات ایستگاه های تبخیر سنجی جهت تخمین دمای ماهانه حوضه آبریز سد سبلان.. ۴۶

جدول ۲-۴- مشخصات ایستگاه های تبخیرسنجی جهت تخمین تبخیر ماهانه حوضه آبریز سد سبلان... ۴۸

جدول ۳-۱-نتایج بررسی همگنی داده‌های آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان..... ۵۳

جدول ۳-۲-نتایج بررسی همگنی داده‌های آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان از ماه شماره ۱ تا ۲۶۶.. ۵۵

جدول ۳-۳-نتایج بررسی همگنی داده‌های آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان از ماه شماره ۲۶۷ تا ۴۸۶..... ۵۶

جدول ۳-۴-مقادیر همبستگی و روابط برازش داده شده بین مقادیر بارش و جریان به ازای ماه‌های مختلف..... ۵۸

جدول ۳-۵-نتایج بررسی همگنی داده‌های آبدهی ماهانه حوضه آبریز سد سبلان برای داده‌های بازسازی شده ۵۹

جدول ۳-۶- سناریوهای مختلف برای مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی (MLP) و مدل درختی $M5$ در حوضه آبریز سد سبلان (داده‌های بازسازی نشده)..... ۶۶

جدول ۳-۷- سناریوهای مختلف برای مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی (MLP) و مدل درختی $M5$ در حوضه آبریز سد سبلان (داده‌های بازسازی شده)..... ۶۶

جدول ۳-۸- نتایج تحلیل آماری سناریوهای مختلف مدل درختی $M5$ در پیش‌بینی دبی جریان ورودی در حوضه آبریز سد سبلان در حالت استفاده از داده های بازسازی نشده..... ۷۱
جدول ۳-۹- نتایج تحلیل آماری سناریوهای مختلف مدل درختی $M5$ در پیش‌بینی دبی جریان ورودی در حوضه آبریز سد سبلان در حالت استفاده از داده های بازسازی شده..... ۸۶
جدول ۳-۱۰- نتایج تحلیل آماری سناریوهای مختلف مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP در پیش‌بینی دبی جریان ورودی سد سبلان (داده‌های بازسازی نشده)..... ۱۰۱
جدول ۳-۱۱- نتایج تحلیل آماری سناریوهای مختلف مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP در پیش‌بینی دبی جریان ورودی سد سبلان (داده‌های بازسازی شده)..... ۱۱۴
جدول ۳-۱۲- ویژگی‌های آماری نتایج حاصل از مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی $M5$ در پیش‌بینی دبی جریان ماهانه در حوضه آبریز سد سبلان (داده های بازسازی نشده)..... ۱۲۹
جدول ۳-۱۳- ویژگی‌های آماری نتایج حاصل از مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی $M5$ در پیش‌بینی دبی جریان ماهانه در حوضه آبریز سد سبلان (داده های بازسازی شده)..... ۱۳۰
جدول۴-۱- داده های بازساری نشده و بازسازی شده آبدهی ماهانه حوضه آبریز در محل ورودی سد سبلان..... ۱۴۳
جدول۴-۲- مقایسه ارقام حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی ام ۵ با مقادیر مشاهداتی دبی جریان ماهانه در محل ورودی سد سبلان برای داده های آزمون (داده‌های بازسازی شده)---- ۱۶۷
جدول ۴-۳-مشخصات آماری داده‌های ایستگاه ارباب‌کندی بین سال‌های آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۳---------- ۱۷۷
جدول ۴-۴-نتایج مدل درختی $M5$ و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن سد سبلان با استفاده از داده‌های ایستگاه ارباب‌کندی---------- ۱۷۹
جدول ۴-۵- مقادیر مشاهداتی و محاسباتی جریان توسط روش‌های مدل درختی$M5$ و شبکه عصبی مصنوعی MLP برحسب مترمکعب بر ثانیه---------- ۱۸۴
جدول ۴-۶-مقایسه حجم سالانه مقادیر جریان مشاهداتی و محاسباتی---------- ۱۸۵

فصل اول:

کلیات، مبانی نظری و پیشینه تحقیق