بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه یـــــــزد
دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی
گروه مرتع و آبخیزداری

پایان‌نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی منابع طبیعی– آبخیزداری

برآورد توزیع مکانی عمق برف با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سخوید)

استاد راهنما

دکتر علی فتح‌زاده

اساتید مشاور

مهندس جواد محجوبی

دکتر روح‌الله تقی‌زاده

پژوهش و نگارش

سمانه قرایی‌منش

اسفند ماه ۱۳۹۲

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آن ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم .

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

تشکر و قدردانی

و من معبودا با باطن نادیدنی خود و پیوست‌های جریان نور دیده‌ام و رخنه‌های نفسم و آن چه بچسبد و بر هم آید بر آن دو لبم و حرکات تلفظ زبانم و آن چه درون سیه چال سینه‌ام است و آویزه‌ی پرده‌ی دلم و حرکات اعضایم و سکونم، تو را بسی شاکرم و در مقابل عظمتت رخ بر خاک می نهم.

همچو گرد این تن خاکی نتواند برخاست از سر کوی تو زانرو که عظیم افتادست

صمیمانه‌ترین سپاس‌ها تقدیم پدرم و مادرم که دستان گرمشان و دعای خیرشان همواره بدرقه‌ی راهم بوده است و سپاس دو خواهر و دو برادرم را که در عرصه‌ی پرفراز و نشیب زندگی پیوسته هدایت گر و راه‌گشای من بودند.

بی‌کران‌ترین تقدیرها را نثار استاد فرزانه، باکمالات و دلسوزم جناب آقای دکتر علی فتح‌زاده، به پاس گرمای امیدبخش وجودش و به پاس محبت‌های بی‌دریغش، می‌دارم.

زلال‌ترین سپاس‌ها را نثار اساتید فرهیخته و شایسته‌ام جناب آقای دکتر روح الله تقی‌زاده و آقای مهندس جواد محجوبی می‌نمایم.

پروردگارا همواره جواب‌دهنده‌ی دعای این عزیزان باش و به ندایشان التفات کن و صدایشان را بشنو و رشته‌ی امیدشان را از خودت قطع مکن و دستاویز آنان را از خود جدا مساز.

در پایان نیز یادی از تمام هم اتاقی‌ها، دوستان و همکلاسی‌هایم که در طول دوره‌ی تحصیل افتخار همراهی با آن‌ها را داشتم و پرخاطره‌ترین لحظاتم را در کنار آن‌ها گذراندم، می‌کنم و صمیمانه از همه‌ی آن‌ها تشکر می‌نمایم.

سمانه قربانی منش، اسفند ۱۳۹۲

چکیده

در بسیاری از مناطق کوهستانی بخش قابل توجهی از بارش به صورت برف می‌باشد که منبع مهم جریان رودخانه‌ای محسوب می‌گردد. بارش برف و انباشت آن در حوزه‌های آبخیز منبع با ارزشی است که بررسی کمیت و کیفیت آن از اهمیت زیاد برخوردار است. برآورد دقیق رواناب حاصل از برف، نیاز به توزیع مکانی ذخایر برفی دارد. اما دستیابی به توزیع مکانی عمق برف می-بایست از راه اطلاعات مشاهده‌ای و در مقیاس فشرده صورت گیرد که با توجه به محدودیت‌های عملی در جمع‌آوری اطلاعات، دشوار و گاهی غیرممکن می‌باشد. لذا با توجه به مشکلات ذکر شده و ناکافی بودن ایستگاه‌های برف‌سنجی در مناطق مرتفع، استفاده از روش‌های غیرمستقیم ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش محدوده‌ای به وسعت ۱۶ هکتار در ارتفاعات سخوید تفت انتخاب و با استفاده از نمونه‌بردار مونت - رز داده‌های عمق برف در ۲۰۶ نقطه اندازه گیری شد. سپس با استفاده از ۳۰ پارامتر ژئومرفومتری، به ارزیابی کارآیی چهار روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم M5 مدل درختی، رگرسیون خطی چند متغیره و رگرسیون کریجینگ در برآورد توزیع مکانی عمق برف پرداخته شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که روش الگوریتم M5 مدل درختی با ضریب نش سات کلیف ۰/۸ و مجذور میانگین مربعات خطای با میزان ۸/۵ سانتی‌متر، مناسب‌ترین روش مورد استفاده می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که از بین پارامترهای ژئومرفومتری به‌کار رفته در الگوریتم M5 مدل درختی، سطح اساس شبکه زهکشی(به میزان ۱۰۰ درصد)، قدرت آبراهه (به میزان ۷۵ درصد)، شاخص رطوبتی (۶۸ درصد)، ارتفاع از سطح دریا، سایه اندازی، ارتفاع بالای شبکه زهکشی، شکل دامنه، اثر باد، شیب، انحنا به ترتیب جزء موثرترین عوامل می‌باشند.

کلید واژه: عمق برف، شبکه عصبی مصنوعی، مدل درختی، الگوریتم M5، پارامتر ژئومرفومتری، آنالیز حساسیت

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه و کلیات ۲

۱-۱-۱- مقدمه ۲

۱-۱-۲- بیان مسئله ۶

۱-۱-۳- فرضیات ۷

۱-۱-۴- اهداف و ضرورت انجام تحقیق ۸

۱-۲- مبانی نظری ۹

۱-۲-۱- خواص فیزیکی برف ۹

۱-۲-۲- عمق برف ۹

۱-۲-۳- آب معادل برف (SWE) ۱۰

۱-۲-۴- چگالی برف ۱۰

۱-۲-۵- ضریب برف ۱۰

۱-۲-۶- کیفیت برف ۱۱

۱-۲-۷- سطح پوشیده از برف (SCA) ۱۱

۱-۲-۸- اندازه‌گیری برف ۱۱

۱-۲-۹- باران‌سنج‌ها و باران‌نگارها ۱۲

۱-۲-۱۰- اندازه‌گیری روی میز ۱۳

۱-۲-۱۱- لوله اندازه‌گیری برف ۱۳

۱-۲-۱۲- اندازه‌گیری توسط اشعه گاما ۱۴

۱-۲-۱۳- بالشتک برفی ۱۵

۱-۲-۱۴- ایستگاه دورسنجی (تله متری) ۱۶

۱-۲-۱۵- برآورد عمق برف در یک حوضه از طریق خط هم‌دمای صفر ۱۶

۱-۲-۱۶- عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ۱۶

۱-۳- استخراج پارامترهای ژئومرفومتری ۱۶

۱-۳-۱- ارتفاع ۱۷
۱-۳-۲- جهت ۱۷
۱-۳-۳- شیب ۱۷
۱-۳-۴- انحنای سطح زمین ۱۸
۱-۳-۵- شاخص خیسی ۱۸
۱-۳-۶- شاخص قدرت جریان ۱۸
۱-۳-۷- اثر باد ۱۸
۱-۳-۸- جهت جریان ۱۸
۱-۳-۹- سطح ویژه حوضه ۱۹
۱-۳-۱۰- نمایه همگرایی ۱۹
۱-۳-۱۱- فاکتور شیب - طول شیب ۱۹
فصل۲: پیشینه پژوهش ۲۱
فصل۳: مواد و روش‌ها ۴۱
۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۴۱
۳-۲- ویژگی‌های فیزیکی حوزه ۴۳
۳-۲-۱- ارتفاع متوسط حوزه ۴۳
۳-۲-۲- نما و مد ارتفاعی ۴۳
۳-۲-۳- بررسی شیب ۴۴
۳-۲-۴- جهت شیب ۴۵
۳-۲-۵- ویژگی‌های آب و هوایی ۴۶
۳-۲-۶- ویژگی‌های زمین‌شناسی ۴۶
۳-۳- روش تحقیق ۴۷
۳-۴- تهیه اطلاعات مورد نیاز ۴۹
۳-۴-۱- اندازه‌گیری توسط نمونه‌بردار برف ۴۹
۳-۴-۲- انجام عملیات میدانی ۴۹
۳-۵- بررسی نرمال بودن داده‌ها ۵۰

۳-۶- استخراج پارامترهای ژئومرفومتری (زمین‌نما) ۵۰
۳-۷- مدل‌سازی عمق برف ۵۲
۳-۷-۱- داده کاوی ۵۲
۳-۷-۲- شبکه عصبی مصنوعی ۵۳
۳-۷-۲-۱-ساختار شبکه عصبی مصنوعی ۵۴
۳-۷-۲-۲-نحوه عمل شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۵
۳-۷-۲-۳-قاعده پس انتشار خطا ۵۶
۳-۷-۲-۴-روش شبکه عصبی مصنوعی ۵۸
۳-۷-۲-۵-آنالیز حساسیت ۵۸
۳-۷-۳- الگوریتم M5 مدل درختی ۵۹
۳-۷-۳-۱-درخت تصمیم ۵۹
۳-۷-۳-۲-مفاهیم اصلی در درخت‌های تصمیم ۵۹
۳-۷-۳-۳-مزایای درخت تصمیم ۵۹
۳-۷-۳-۴-نقاط ضعف در درخت تصمیم ۶۰
۳-۷-۳-۵-درخت تصمیم چگونه کار می‌کند؟ ۶۰
۳-۷-۳-۶-ایجاد درخت ۶۱
۳-۷-۳-۷-انواع درختان تصمیم ۶۱
۳-۷-۳-۸-الگوریتم M5 ..... ۶۱
۳-۷-۳-۹- تعیین موثرترین عوامل بر عمق برف با استفاده از الگوریتم M5 ..... ۶۵
۳-۷-۴- اجرای رگرسیون خطی چند متغیره ۶۵
۳-۷-۴-۱-انتخاب موثرترین پارامترها ۶۷
۳-۷-۵- اجرای رگرسیون کریجینگ ۶۷
۳-۸- بررسی اعتبار مدل ۶۹
فصل۴: نتایج و بحث ۷۱
۴-۱- خلاصه آماری داده‌ها ۷۲
۴-۲- مناسب‌ترین مدل رقومی ارتفاع ۷۴

۴-۳- همبستگی بین پارامترها ۷۴
۴-۴- روش شبکه عصبی مصنوعی ۷۸
۴-۴-۱- اجرای شبکه عصبی مصنوعی ۷۸
۴-۴-۲- نتایج آنالیز حساسیت ۸۰
۴-۵- مدل درختی ۸۱
۴-۵-۱- اجرای الگوریتم M5 مدل درختی ۸۱
۴-۵-۲- مهم‌ترین پارامترهای تعیین شده ۸۵
۴-۶- رگرسیون خطی چند متغیره ۸۶
۴-۶-۱- اجرای رگرسیون خطی چند متغیره ۸۶
۴-۶-۲- نتایج آنالیز حساسیت ۸۸
۴-۷- رگرسیون کریجینگ ۸۹
۴-۷-۱- اجرای رگرسیون کریجینگ ۸۹
۴-۸- ارزیابی مدل‌ها ۹۰
فصل۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۳
۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۴
۵-۲- پیشنهادات ۹۷
منابع و مآخذ ۹۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: مشخصات طبقات ارتفاعی حوزه آبخیز سخوید ۴۳

جدول ۳-۲: طبقات مختلف شیب و مساحت متعلق به هر یک از آن‌ها ۴۵

جدول ۳-۳: نحوه توزیع جهت‌های مختلف و درصد مساحت متعلق به آن‌ها ۴۵

جدول ۳-۴: پارامترهای ورودی برای مدل‌ها ۵۱

جدول ۴-۱: مقادیر برخی از آماره‌های مربوط به عمق برف (cm) ۷۲

جدول ۴-۲: مقادیر مربوط به نرمال بودن پارامترهای کمکی ۷۳

جدول ۴-۳: خطای مدل‌های رقومی ارتفاع برای پارامتر عمق برف با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ۷۴

جدول ۴-۴: همبستگی پارامترهای سرزمین ۷۶

جدول ۴-۵: جزئیات ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی عمق برف ۷۹

جدول ۴-۶: معیارهای آماری صحت‌سنجی شبکه عصبی مصنوعی ۸۰

جدول ۴-۷: معیارهای آماری صحت‌سنجی مدل درختی ۸۴

جدول ۴-۸: معیارهای آماری صحت‌سنجی رگرسیون خطی چند متغیره ۸۷

جدول ۴-۹: معیارهای آماری صحت‌سنجی رگرسیون کریجینگ ۹۰

جدول ۴-۱۰: مقایسه تمامی مدل‌های استفاده شده ۹۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: اندازه‌گیری عمق برف با استفاده از امواج اولتراسونیک ۱۰

شکل ۱-۲: برف‌سنج مدل نیفر (فتحزاده ۱۳۸۷) ۱۲

شکل ۱-۳: اندازه‌گیری برف با استفاده از خط کش و میز چوبی (فتح‌زاده ۱۳۸۷) ۱۳

شکل ۱-۴: لوله اندازه گیری برف ۱۴

شکل ۱-۵: اندازه‌گیری برف توسط اشعه گاما ۱۴

شکل ۱-۶: اندازه‌گیری آب معادل برف با استفاده از بالشتک برفی (بهرام اردبیلی، ۲۰۱۰) ... ۱۵

شکل ۳-۱: نقشه پایه و موقعیت عمومی حوزه آبخیز سخوید ۴۲

شکل ۳-۲: نمودار فراوانی طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه ۴۴

شکل ۳-۳: نقشه طبقات ارتفاعی حوزه آبخیز سخوید ۴۴

شکل ۳-۴: نمایش سازند گرانودیوریت در حوزه آبخیز سخوید ۴۷

شکل ۳-۵: فلوچارت مراحل انجام کار ۴۸

شکل ۳-۶: نحوه نمونه برداری از عمق برف در محدوده مطالعاتی سخوید ۴۹

شکل ۳-۷: ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی ۵۴

شکل ۳-۸: روش انجام الگوریتم M5 مدل درختی ۶۳

شکل ۳-۹: نمایش شماتیکی از مدل درختی ۶۴

شکل ۴-۱: هیستوگرام و منحنی نرمال عمق برف ۷۲

شکل ۴-۲: نحوه پراکنش داده‌های اندازه‌گیری شده ۷۳

شکل ۴-۳: تغییرات RMSE برای تعداد نرون متفاوت در پیش‌بینی پارامتر عمق برف ۷۸

شکل ۴-۴: همبستگی مقادیر مشاهده شده شبکه عصبی مصنوعی و برآوردی عمق برف ۷۹

شکل ۴-۵: نقشه پهنه‌بندی عمق برف با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ۸۰

شکل ۴-۶: موثرترین عوامل در پیش‌بینی عمق برف ۸۰

شکل ۴-۷: نتایج اهمیت متغیرهای محیطی در پیش‌بینی عمق برف بر حسب درصد ۸۱

شکل ۴-۸: همبستگی مقادیر مشاهده شده مدل درختی و برآوردی عمق برف ۸۱

شکل ۴-۹: نقشه پهنه‌بندی عمق برف با استفاده از مدل درختی ۸۵

شکل ۴-۱۰: پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل درختی ۸۵
شکل ۴-۱۱: نتایج اهمیت متغیرهای محیطی در پیش‌بینی عمق برف بر حسب درصد..... ۸۶
شکل ۴-۱۲: همبستگی مقادیر مشاهده شده رگرسیون خطی چند متغیره و برآوردی عمق برف ۸۶
شکل ۴-۱۳: نقشه پهنه‌بندی عمق برف با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره ۸۷
شکل ۴-۱۴: موثرترین عوامل در پیش‌بینی عمق برف ۸۸
شکل ۴-۱۵: نتایج اهمیت متغیرهای محیطی در پیش‌بینی عمق برف بر حسب درصد..... ۸۸
شکل ۴-۱۶: همبستگی مقادیر مشاهده شده رگرسیون کریجینگ و برآوردی عمق برف ۸۹
شکل ۴-۱۷: نقشه پهنه‌بندی عمق برف با استفاده از رگرسیون کریجینگ ۹۰
شکل ۴-۱۸: مقایسه بین چهار روش استفاده شده ۹۱

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه و کلیات

۱-۱-۱- مقدمه

برف به عنوان یکی از مهم‌ترین مسایل مطرح در هواشناسی و هیدرولوژی می‌باشد که دخالت عوامل گوناگون مانند اقلیمی و توپوگرافی باعث پیچیده‌تر شدن آن می‌شود. غالبا برف از نظر نوع بارش و عوامل موثر در ریزش آن در حیطه علم هواشناسی و اقلیم‌شناسی و میزان ذوب آن و اثرات آن در سیکل هیدرولوژی در حیطه علم هیدرولوژی قرار دارد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱). برف یکی از انواع مختلف بارش است که از چگالش توده‌های هوایی مرطوب در طی صعود و در شرایطی که درجه حرارت هوا کم‌تر از نقطه انجماد باشد ایجاد می‌گردد. در این وضعیت به جای قطرات آب، کریستال‌های شش وجهی یخ به وجود آمده که به تدریج در اثر برخورد و پیوستن به یکدیگر دانه‌های برف با اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون تشکیل می‌گردد (غیور و همکاران، ۱۳۸۳).

Gray and Male (1981) برف را چنین تعریف نموده‌اند: برف شکل جامدی از آب است که در هوای آزاد در حال شناور شکل گرفته و با بالا و پایین رفتن رشد می‌کند.

بارش برف و انباشت آن در حوزه‌های آبخیز منبعی با ارزش است که بررسی کمیت و کیفیت آن از اهمیت زیاد برخوردار است. تجمع، جابجایی، ذوب، تبخیر، تصعید و رواناب ناشی از برف در بهره‌برداری مناسب و به موقع مورد توجه خاص هیدرولوژیست‌ها و کارشناسان منابع طبیعی تجدید پذیر می‌باشد. برخلاف باران، ذخایر برف از منابعی محسوب می‌شود که برای فصول بعد از زمستان نیز می‌توان با اطمینان بیش‌تر برای بهره‌برداری، برنامه‌ریزی و محل مصرف ضروری آن اقدام کرد. ریزش جوی به صورت برف برای تغذیه منابع سطحی و زیرزمینی کشورها می‌تواند منبعی پایدار و ثابت محسوب شود که با ذوب تدریجی جریان مداوم آب را در رودخانه‌ها، دریاچه-ها، چشمه‌ها، قنات‌ها و سفره‌های زیرزمینی تامین کند به ویژه این که در فصول خشک نیز مورد استفاده باشد. محاسبات و برآورد ذخایر برفی جهت منابع آب و برنامه‌ریزی صحیح آن در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران که دارای ریزش‌های فصلی برف می‌باشند، از اهمیت زیاد