Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال نهم- شماره ۲۸- بهار ۱۳۹۴ Vol. 9, No. 28, Spring 2015

پیش‌بینی توزیع مکانی عمق برف با استفاده از روش رگرسیون کریجینگ و عوارض زمین در منطقه سخوید یزد

روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی[1*]، سمانه قرائی‌منش[2]، علی فتح‌زاده[3]

تاریخ دریافت : ۱۳۹۲/۰۹/۱٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۵

چکیده

عمق برف از جمله معمول‌ترین عواملی است که برای ارزیابی منابع آب در حوزه‌های کوهستانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به چالش‌های موجود در اندازه‌گیری داده‌های برف‌سنجی نظیر صعب‌العبور بودن و عدم دسترسی به تمامی نقاط حوزه همواره بخش قابل توجهی از حوزه فاقد داده‌های برف‌سنجی می‌باشد. این در حالی است که اطلاع از توزیع مکانی عمق برف یکی از اساسی‌ترین نیازهای حوضه‌های آبخیز جهت تعیین بیلان آبی به شمار می‌رود. در این تحقیق کاربرد روش رگرسیون کریجینگ بر مبنای الگوریتم M5 درخت تصمیم برای برآورد توزیع مکانی عمق برف مورد سنجش قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا با استفاده از نمونه‌بردار مدل مونت – رز و به طور سیستماتیک به برداشت ۲۰٦ داده عمق برف در ارتفاعات سخوید یزد اقدام گردید. همچنین ۳۰ پارامتر ژئومرفومتری از مدل رقومی ارتفاع و با استفاده از نرم‌افزار SAGA استخراج شدند. نتایج نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای معرفی شده در الگوریتم M5 درخت تصمیم شامل سطح اساس شبکه زهکشی، قدرت آبراهه، شاخص رطوبتی و ارتفاع از دریا می‌باشد. نتایج ارزیابی مدل رگرسیون کریجینگ بر اساس معیار ضریب همبستگی (۹۰ درصد) نشان از کارایی بالای مدل می‌باشد. همچنین روش رگرسیون کریجینگ با توجه به ساده بودن محاسبات و کم هزینه بودن جهت تخمین عمق برف مناسب تشخیص داده شده است.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون درختی، الگوریتم M5، عمق برف، مدل رقومی ارتفاع، پارامترهای سرزمین.

مقدمه

عمق برف و توزیع مکانی آن یک پارامتر کلیدی در رژیم هیدرولوژیکی مناطق سردسیر کوهستانی است که در پدیده‌هایی نظیر تشکیل و دینامیک بهمن، اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی برف از جایگاه ممتازی برخوردار است. به ویژه آنکه با اطلاع از عمق و چگالی برف و نیز وسعت مناطق برف‌گیر در فصول سرد سال می‌توان نظارت و ارزیابی پیوسته‌ای بر مدیریت منابع آب حوزه داشت [٦]. برف بر روی چرخه آب تاثیر زیادی دارد و قادر است به مدت طولانی آب موجود در خود را نگه‌داری کند. همچنین برف می‌تواند بر روی ویژگی‌های خاک و نیز بر روی توزیع، پراکنش و ترکیب جوامع گیاهی اثرات فراوانی داشته باشد [۵]. یکی از نیازهای اساسی برای مدیریت برف، آگاهی از تغییرات مکانی عمق و چگالی برف است. همان‌گونه که افزایش تقاضای آب مدیریت منابع آب را پیچیده‌تر نموده است، ارتقا روش‌های پیش‌بینی و برآورد توزیع مکانی منابع آب نیز بیش از پیش ضروری شده است [۹]. برآورد دقیق رواناب حاصل از برف، نیاز به دانستن توزیع مکانی ذخایر برفی دارد. اما دستیابی به توزیع مکانی عمق برف باید از راه اطلاعات مشاهده‌ای و در مقیاس فشرده صورت گیرد که با توجه به محدودیت‌های عملی در جمع‌آوری اطلاعات، دشوار و گاهی غیرممکن می‌باشد [٤] و [۷]. بنابراین یکی از راه‌حل‌های موجود در رابطه با این موضوع، داشتن تعداد محدودی اطلاعات نقطه‌ای و استفاده از روش‌های درون‌یابی برای برآورد عمق برف در نقاطی است که فاقد آمار مشاهده‌ای برای آن منطقه می‌باشند [۱]. از این رو برای پایش مکانی سطوح پوشیده از برف و عمق برف از روش‌های متفاوتی استفاده شده است که از میان کسانی که از این روش در زمینه‌های کاری دیگر استفاده نموده‌اند می‌توان به مطالعات نوترز و همکاران [۱۱] اشاره کرد که از سه روش میان‌یابی کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ برای اندازه‌گیری ضخامت افق‌های خاک به کمک یک متغیر کمکی، استفاده نمودند و روش رگرسیون کریجینگ بهترین تخمین را حاصل کرده است. در سال‌های اخیر تاکید زیادی بر روش‌های رگرسیون کریجینگ شده است زیرا که در این روش از داده‌های کمکی زیادی استفاده می‌شود. استفاده از داده‌های کمکی از جمله عوارض زمین که دارای همبستگی مناسبی با خصوصیات عمق برف بوده و از طرفی با سهولت و تراکم بالایی فراهم می‌گردد در قالب روش‌های مختلف می‌تواند گزینه مناسبی برای برآورد و تهیه نقشه‌های دقیق عمق برف باشد. پیچیدگی عوارض زمین به دلیل

۱- نویسنده مسئول و استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان،
پست الکترونیک: rh_taghizade @yahoo.com
٤- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد .
٤- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان .

www.SID.ir

Archive of SID

ماهیت مکانی سه بعدی و حتی گاه چهار بعدی (به دلیل وابستگی به زمان) باعث شده است تا سنجش و پایش عوارض زمین با شیوه سنتی که محدود به یک یا دو بعد است جای خود را به نمایش‌های سه بعدی و مشتقات مختلف آن با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع بدهد. فناوری‌های سامانه موقعیت‌یاب جهانی ظرفیت پردازش تجزیه و تحلیل عوارض زمین را ارتقاء بخشیده‌اند و باعث به وجود آمدن اطلاعات مبنایی شده که امکان تهیه مدل رقومی ارتفاع دقیق و استخراج متغیرهای کمکی به صورت مجموعه متراکمی از داده‌ها در مقیاس‌های مناسب را برای محققین فراهم نموده است [۲۱]. به طوری که تجزیه و تحلیل عوارض زمین و مطالعه تغییرات پستی و بلندی به عنوان وسیله‌ای جهت درک پیچیدگی‌های مکانی و زمانی فرایندهای سطحی زمین نگریسته می‌شود [۱۵].

کارایی تجزیه و تحلیل عوارض زمین به عوامل مختلفی از جمله پیچیدگی تغییرات سطح زمین، قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع مورد استفاده و کیفیت داده‌ها به ویژه صحت آن‌ها بستگی دارد [۲۱]. برآورد مناسب از خصوصیات عمق برف نیز نیازمند نمونه‌های کافی، استفاده از متغیرهای کمکی متناسب مانند شیب، جهت، ارتفاع، انحنا و اثر باد و همچنین روش‌های تخمین مناسب می‌باشد.

در همین راستا لاپن و مارتز [۱۲] در پژوهش خود به بررسی ارتباط مکانی بین عمق برف و توپوگرافی در یک چشم‌انداز کشاورزی با استفاده از تجزیه و تحلیل زمین در دشت‌های کانادا به مساحت ۱/۵ کیلومتر مربع پرداختند. مشاهدات نقطه‌ای از عمق برف در مکان، در نزدیکی زمان اوج تجمع برف و در طول ذوب آن به دست آمد. تجزیه و تحلیل اولیه از پلات‌های پراکنده و ارتباط بین عمق برف و متغیرهای فردی توپوگرافی ساخته شده، دارای همبستگی ضعیفی بود اما نشان داد که در مقیاس محلی، الگوهای عمق برف نمی تواند به اندازه کافی مدل‌سازی از طریق روابط ساده دو متغیره با متغیرهای توپوگرافی را انجام دهد. همچنین این همبستگی نشان می‌دهد که عمق برف ارتباط بسیار زیادتری با موقعیت متغیرهای نسبی، نسبت به مورفولوژی محلی سطح دارد. ارکسلبن و همکاران [۹] نیز در مناطق کوهستانی کلورادو به بررسی توزیع مکانی عمق برف پرداختند. آن‌ها در این مطالعه، کارایی چهار روش درون‌یابی در سه منطقه یک کیلومتر مربعی را ارزیابی کردند. سپس پارامترهای اولیه مورد نظر موثر بر توزیع برف را شیب، جهت، ارتفاع، تابش خورشیدی، نوع پوشش گیاهی و تراکم آن معرفی کردند و ارتفاع را به عنوان مهم‌ترین پارامتر موثر بر آب معادل برف در نظر گرفتند. سپس با استفاده از روش‌های درخت تصمیم مضاعف و روش‌های زمین‌آمار عمق برف را برآورد نمودند. نتایج نشان داد مدل‌هایی که درخت مبنا هستند و درخت تصمیم با آن‌ها ترکیب شده است نسبت به سایر روش‌ها از دقت بیشتری برخوردار هستند و همچنین در مرحله بعد، از مقایسه این روش‌های ترکیبی نتیجه گرفتند که مدل ترکیبی کریجینگ بهبودی در مدل ایجاد نکرد، کوکریجینگ نیز دقت کمی داشته است نسبت به زمانی که با مدل درخت مبنا تنها مقایسه می‌شود و بهترین نتیجه را روش درخت تصمیم دوتایی داشته است. در منطقه دیگری به نام دشت فنگشان واقع در جنوب شرقی شهر پکن، ژانگ و همکاران [۲۳] به درون‌یابی مکانی بافت خاک با استفاده از کریجینگ ترکیبی و رگرسیون کریجینگ با در نظر گرفتن ویژگی‌های ترکیبی داده‌ها و متغیرهای زیست محیطی پرداختند. هدف آن‌ها مقایسه عملکرد روش مکانی پیش‌بینی بافت خاک با توجه به ویژگی‌های داده‌های ترکیبی و متغیرهای کمکی بودند. روش‌های مورد استفاده شامل کریجینگ معمولی، رگرسیون کریجینگ و کریجینگ ترکیبی می‌باشد. دقت پیش‌بینی و اثر مدل با استفاده از روش ترکیبی کریجینگ بهتر جواب می‌دهد و این روش به طور مستقیم بر روی بافت خاک درون‌یابی را انجام داده و و این برآورد را بی‌طرفانه انجام می‌دهد. به طور مشابه نادی و همکاران [۱۷] به ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی برای محاسبه بارندگی ماهانه و سالانه در استان خوزستان پرداختند. روش‌های استفاده شده شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون کریجینگ، عکس فاصله وزنی، اسپلاین و گرادیان خطی سه بعدی می‌باشد. تحلیل نتایج نشان داد که تمامی روش‌ها به جز روش رگرسیون کریجینگ، در برآورد مقادیر زیاد بارندگی دچار خطای کم‌برآوردی هستند. با مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد استفاده، روش رگرسیون کریجینگ، به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه تشخیص داده شد. همچنین با روش منتخب، میانگین بارندگی سالانه منطقه ۳۹۱ میلی‌متر به دست آمده که این مقدار به اندازه ٤١ میلی‌متر بیشتر از مقدار ارائه شده از سوی سازمان هواشناسی کشور است که دلیل آن استفاده از ارتفاع به عنوان متغیر کمکی است که تا حدودی می‌تواند مشکل کمبود ایستگاه‌های مرتفع در منطقه را رفع کند. بوئر و همکاران [۳] در منطقه شمال غربی مکزیک از چهار روش مختلف کریجینگ و سه روش اسپلاین، برای پیش‌بینی دمای حداکثر ماهانه و متوسط بارش ماهانه استفاده نمودند و نشان دادند که روش رگرسیون کریجینگ سه متغیره بهترین روش برآورد است.

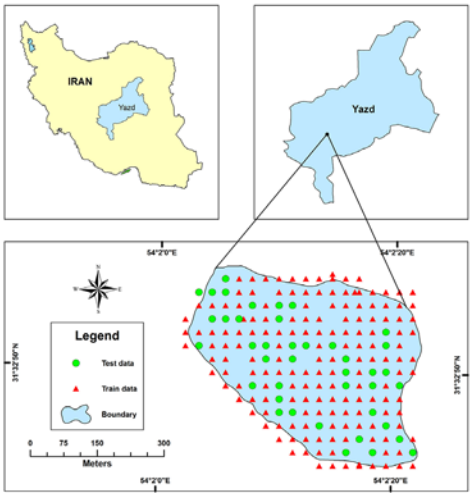
با توجه به این‌که مطالعات کمی بر روی پهنه‌بندی عمق برف به ویژه با استفاده از روش رگرسیون کریجینگ در ایران انجام شده، هدف تحقیق حاضر بر این اساس قرار داده شده است. همچنین در این پژوهش از انواع پارامترهای کمکی مستخرج از مدل رقومی ارتفاع نیز بهره گرفته شده که خود از مزایای برتر این تحقیق برشمرده می‌شود.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز سخوید در محدوده، ٥٤ درجه و ٠٢ دقیقه و ١٤ ثانیه طول جغرافیای و ٣١ درجه و ٣٢ دقیقه و ٥١ ثانیه عرض جغرافیایی در شرق شهرستان تفت، استان یزد واقع گردیده است. این حوزه آبخیز از نظر تقسیم بندی کل حوزه‌های آبخیز کشور به عنوان زیر حوزه‌ای از حوزه آبخیز سانیج محسوب می‌گردد. مساحت حوزه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه و موقعیت قرار گرفتن نقاط آموزش وتست

Figure 1. Study area and spatial distribution of traning and validation data sets

آبخیز سخوید برابر با ۱۶ هکتار و محیط آن ۱/۶۲ کیلومتر می‌باشد. بخش عمده این حوضه کوهستانی بوده و میانگین ارتفاع منطقه ۲۹۰۰ متر می‌باشد. موقعیت جغرافیایی این حوضه و پراکنش نقاط اندازه‌گیری عمق برف در شکل (۱) نشان داده شده است. بدین منظور عملیات میدانی در طی سه روز در بهمن ماه سال ۹۰ انجام شد. برای این کار از نمونه‌بردار مدل مونت-رز استفاده شده و نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک در ۲۰۶ نقطه در حوزه آبخیز سخوید انجام گرفت. نمونه‌ها در شبکه‌ای با فواصل ۳۰ متری اندازه‌گیری شده و در تمامی این نقاط عمق برف اندازه‌گیری شد.

استخراج پارامترهای سرزمین

در تحقیق حاضر برای محاسبه پارامترهای ورودی از مدل رقومی ارتفاع (قدرت تفکیک ۲۰ متر) استفاده گردید. بعد از آماده کردن مدل رقومی ارتفاع، از آن برای استخراج مشخصه‌های عارضه‌ای استفاده شد. پارامترهای سرزمین به صورت زیر می‌باشند که در محیط سامانه جغرافیایی ساگا محاسبه و استخراج شدند. در جدول (۱) مشخصه‌های مورد نظر معرفی شده است.

به دست آوردن میزان شیب از معمول‌ترین کاربردهای ژئومورفومتری عمومی است. در واقع شیب برداری است که دارای اندازه و جهت می‌باشد. اندازه این بردار همان زاویه افقی آن می‌باشد و جهت آن با آزیموت تعیین می‌شود. یک روش معمول برای محاسبه شیب استخراج اندازه و جهت این بردار از بردار نرمال بر صفحه می باشد؛ انحنای سطح زمین: شامل انحنای مسطح و قائم است که انحنای مسطح میزان تغییر منظر در امتداد یک کنتور و مشخصه‌ای از همگرایی توپوگرافی است و انحنای قائم میزان تغییر شیب به سمت پایین خط جریان و تغییرات سرعت جریان را بیان می‌کند؛ شاخص خیسی: شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول زمین‌نما می‌باشد؛ شاخص قدرت آبراهه: نمایشی از قدرت فرسایندگی جریان‌های سطحی است که با استفاده از سطح ویژه حوضه و درجه شیب محاسبه می‌شود؛ نمایه همگرایی: از خصوصیات مورفومتری و هندسی حوضه است که میزان تقرب و همگرایی را نشان می‌دهد؛ موقعیت میانی شیب: میزان شیب متوسط را نشان می‌دهد؛ سایه‌اندازی: در این نحوه نمایش میزان روشنایی که با توجه به یک منبع نور به هر پیکسل می‌رسد برای نمایش آن پیکسل استفاده می‌شود. یعنی با در نظر گرفتن منبع نوری مثل

جدول ۱: پارامترهای کمکی به کار رفته در مدل‌ها

Table 1. Auxilary variables used in models

شماره	پارامتر	شماره	پارامتر
No.	Parameter	No.	Parameter
1	طول جغرافیایی X	16	درجه‌بندی آبراهه‌ها موجود Strahler Order
2	عرض جغرافیایی Y	17	قدرت آبراهه Stream Power
3	شیب Slope	18	تراکم جریان Flow Accumulation
4	طول شیب Slope length	19	جهت جریان Flow Direction
5	موقعیت میانی شیب Mid-slop position	20	اتصال جریان Flow Connectivity
6	فاکتور طول‌شیب LS Factor	21	سایه‌اندازی Analytical Hill shading
7	شیب حوزه آبخیز Catchment slope	22	جهات جغرافیایی Aspect
8	ارتفاع شیب Slope Height	23	شاخص همگرایی Convergence Index
9	ارتفاع از سطح دریا Height	24	سطح ویژه حوزه Catchment Area
10	ارتفاع نرمال شده Normalized Height	25	مساحت اصلاح شده حوزه آبخیز Modified catchments area
11	انحناء Curvature	26	اثر باد Wind Effect
12	نیمرخ طولی انحناء Plan Curvature	27	شاخص همواری دره Multi resolution index of Valley Bottom Flatness
13	نیمرخ عرضی انحناء Profile Curvature	28	شاخص همواری قله Multi resolution ridge top flatness index
14	عمق دره Valley Depth	29	ارتفاع بالای شبکه زهکشی Altitude above channel network
15	شاخص رطوبتی Wetness Index	30	سطح اساس شبکه زهکشی Channel network base level

www.SID.ir

Archive of SID

خورشید در یک زاویه خاص میزان سایه روشن‌های ایجاد شده، شبیه سازی شده و نمایش داده می‌شود. میزان تیره یا روشن بودن هر نقطه از سطح بستگی به زاویه‌ای دارد که بردار عمود بر سطح در آن نقطه با منبع نور دارد؛ عمق چاله‌ها: از خصوصیات مورفومتریکی حوزه بر حسب متر می‌باشد که موقعیت هر پیکسل را نسبت به عمق دره (کم ارتفاع‌ترین پیکسل‌ها) نشان می‌دهد؛ ارتفاع نرمال شده: ارتفاع پیکسل‌ها می‌باشد که به صورت نرمال شده ارائه شده است؛ مساحت اصلاح شده حوزه آبخیز: این الگوریتم جهت جریان را با توجه به ارتفاع هر یک از پیکسل‌ها محاسبه می‌کند؛ اثر باد: از خصوصیات مورفومتریکی حوزه که با توجه به ارتفاع پیکسل‌ها جهت جریان باد غالب در منطقه را مدل‌سازی می‌کند؛ شاخص همواری دره: میزان همواری و پائین بودن را محاسبه می‌کند؛ شاخص همواری قله: میزان همواری و بالا بودن را محاسبه می‌کند؛ ارتفاع بالای شبکه زهکشی: این الگوریتم سعی در ایجاد نقشه‌ای دارد تا ارزش هر پیکسل در آن برابر با اختلاف ارتفاع آن نقطه با شبکه زهکشی دارد؛ سطح اساس شبکه زهکشی: الگوریتم فاصله عمودی تا شبکه زهکشی را برای هر پیکسل محاسبه می‌کند.

رگرسیون کریجینگ

در روش زمین‌آماری رگرسیون کریجینگ اطلاعات موجود در ارتباط فضایی متغیرها نیز برای درون‌یابی استفاده می‌شود. ضمناً در این روش که از متغیر کمکی نیز استفاده می‌کند، هم از همبستگی بین متغیر اصلی و هم از ارتباط فضایی متغیر اصلی و کمکی برای تخمین استفاده می‌شود [۱۶]. روش رگرسیون کریجینگ روشی ترکیبی از کریجینگ و رگرسیون است که توسط اوده و همکاران، لارک و بکت [۱۳و ۱۸] جهت بررسی تغییرات مکانی متغیرهای پیوسته پیشنهاد شده است. اساس این روش وجود ارتباط رگرسیونی بین دو متغیر است. به عبارتی رابطه بین دو متغیر به صورت یک مدل رگرسیونی بیان شده و سپس مقادیر متغیر اولیه در نقاطی که متغیر ثانویه اندازه‌گیری شده است توسط مدل تخمین زده می‌شود و در نهایت روی داده‌های حاصله مدل تغییرنما به دست می‌آید و سپس عمل میان‌یابی به کمک تکنیک کریجینگ انجام می‌گیرد. بهترین تخمین در نقاط مشاهده نشده تخمینی است که دارای حداقل خطا و کمترین واریانس باشد. در روش رگرسیون کریجینگ نقشه تغییرات باقی مانده‌ها، توسط روش کریجینگ ترسیم شده است.

جهت فرآیند مدل‌سازی بر اساس روش رگرسیون کریجینگ نیاز به داده‌های اصلی (۲۰۶ داده عمق برف) و داده‌های کمکی (۳۰ پارامتر سرزمین) می‌باشد. پس از آماده سازی این لایه‌های اطلاعاتی به صورت پیکسلی، داده‌ها وارد نرم‌افزار Cubist گردید و مدل درختی محاسبه گردید. سپس مقادیر باقیمانده حاصل از الگوریتم M۵ درخت تصمیم به وسیله روش کریجینگ پهنه‌بندی گردید. در نهایت نقشه باقیمانده‌ها و نقشه عمق برف حاصل از مدل M۵ درخت تصمیم تلفیق گردیدند.

مدل رگرسیون درختی، یک روش ناپارامتری الگوریتمی است که قادر به پیش‌بینی متغیرهای کمی بر اساس مجموعه‌ای از متغیرهای پیش‌بینی کننده کمی و کیفی است. در این روش، مجموعه‌ای از شرط‌های منطقی به صورت یک الگوریتم با ساختار درختی برای طبقه‌بندی یا پیش‌بینی کمی یک متغیر به کار می‌رود. ایجاد درخت تصمیم شامل دو مرحله است. مرحله اول ایجاد و رشد درخت است. این مرحله شامل پیوند و انشعاب می‌باشد. مرحله دوم، مرحله توقف و هرس است. هدف از این مرحله به حداقل رساندن خطای پیش‌بینی است [۱۰]. در تحقیق حاضر از مدل درختی M۵ برای ساختن درخت تصمیم و در نهایت پیش‌بینی پارامتر برف استفاده شد [۲۲].

داده‌ها به دو بخش آموزش (۸۰ درصد) و اعتبارسنجی (۲۰ درصد) از طریق روش آزمون و خطا و انتخاب بهترین نتیجه تقسیم بندی شدند (شکل ۱) و به منظور ارزیابی کارایی مدل استفاده شده، از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی، ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا، انحراف و میانگین خطای مطلق استفاده گردید.

نتایج

خلاصه آماری و آزمون نرمال بودن داده‌ها

از شرط‌های اساسی در استفاده از روش کریجینگ، نرمال بودن داده‌ها است. در مورد داده‌های عمق هم باید آزمون نرمال بودن انجام شود که نتایج حاکی از نرمال بودن این داده‌ها است و طبق جدول (۲) نیاز به تبدیل ندارد. همچنین این جدول میزان ضریب تغییرات را نشان می‌دهد که هرچه ضریب تغییرات کمتر باشد مدل‌سازی آسان‌تر و با نتایج دقیق‌تری نشان داده می‌شود.

همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است کمترین میزان عمق برف در شمال غربی منطقه دیده می‌شود که نشان می‌دهد دارای ارتفاعات پایین‌تری نسبت به بقیه قسمت‌ها است. بیشترین میزان برف مربوط به مناطق جنوبی و شرقی و شمالی منطقه می‌باشد

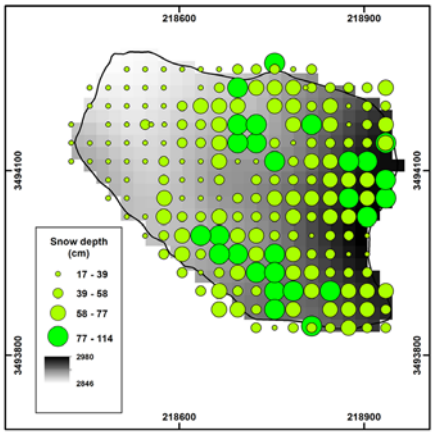
جدول ۲: آماره‌های مربوط به عمق برف (cm)

Table 2. Statistical summary of snow depth (cm)

عامل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	خطای استاندارد	کمینه	بیشینه	دامنه	اسمیرنوف آزمون کلموگراف
	Mean	Standard deviation	Corrolation variation	Standard error	Min	Max	Range	Kolmogorov-Smirnov
عمق برف	53.54	20.90	38.50	3.27	17.00	114.00	97.00	0.61

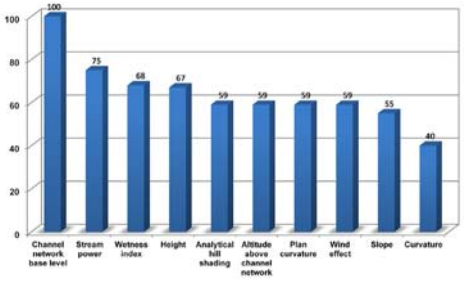
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: موقعیت داده‌های برداشت شده و تلفیق آن با لایه مدل رقومی ارتفاع

Figure 2. Spatial distriution of snow samples droped over the digital elevation model

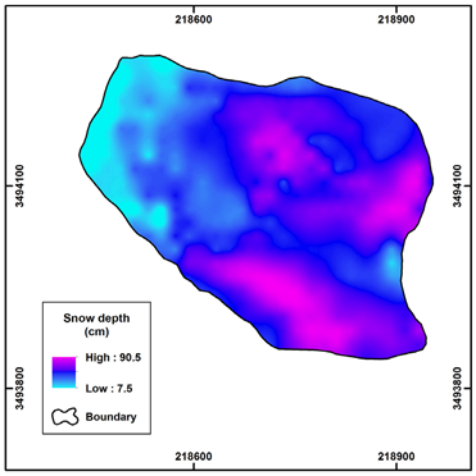


شکل ۳: پارامترهای مهم‌تر در بین ورودی‌ها با استفاده از روش الگوریتم M۵ مدل درختی

Figure 3. The more importance auxilary variables selected by M5 model

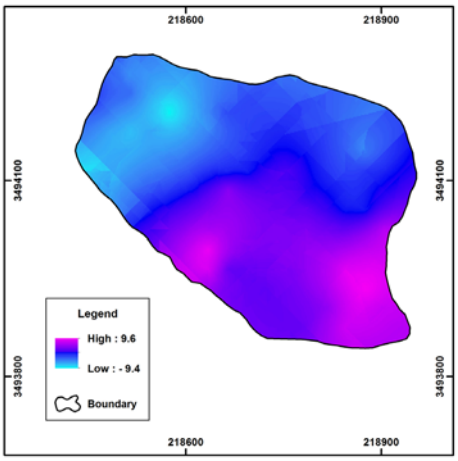
که نشان دهنده بیشترین میزان ارتفاعات است.

مدل‌سازی مرحله اول مدل‌سازی، ایجاد ارتباط بین متغیرهای ورودی (متغیرهای نام برده در جدول ۱) و خروجی (عمق برف) می‌باشد. برای ایجاد این ارتباط از مدل‌های مختلف می‌توان استفاده نمود که در این پژوهش از رگرسیون درختی با الگوریتم M۵ درخت تصمیم (ضریب همبستگی ۸۹ درصد) استفاده شد. از مزیت‌هایی که درخت‌های تصمیم دارند این است که دیگر نیازی به آنالیز حساسیت ندارند و خود درخت تصمیم مهمترین پارامترها را انتخاب می‌کند و چون در این تحقیق از روش درخت تصمیم استفاده شده به دنبال آن نیز از مهم‌ترین پارامترهای روش درخت تصمیم استفاده می‌شود. این الگوریتم نشان می‌دهد که مهمترین پارامتر ورودی جهت پهنه‌بندی عمق برف، سطح اساس شبکه زهکشی می‌باشد (این لایه اطلاعاتی از تفاضل مدل رقومی ارتفاع و سطح پایه شبکه زهکشی بدست



شکل ٤: نقشه پراکنش عمق برف برآورده شده توسط درخت تصمیم

Figure 4. Spatial distribution of snow depth predicted by decision tree model



شکل ۵: نقشه میزان خطا حاصل از مقایسه مقدار برآوردی و مشاهداتی درخت تصمیم

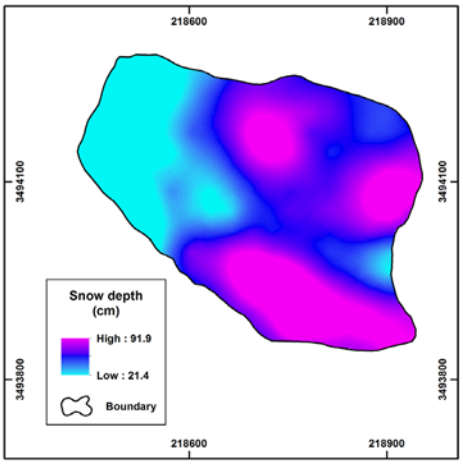
Figure 5. Spatial distribution of error resulted from desion tree model

آمده است). مهمترین پارامترهای مورد نظر این روش به ترتیب شامل: سطح اساس شبکه زهکشی (به میزان ۱۰۰ درصد)، قدرت آبراهه (۷۵ درصد)، شاخص رطوبتی (٦٨ درصد)، ارتفاع از دریا (٦٧ درصد)، سایه اندازی (۵۹ درصد)، ارتفاع بالای شبکه زهکشی، نیمرخ طولی انحناء، اثر باد، شیب، انحناء، شاخص همواری دره، نیمرخ عرضی انحناء، فاکتور طول-شیب، شاخص همگرایی، تراکم جریان، موقعیت میانی شیب، مساحت تعدیل شده حوزه آبخیز و ارتفاع نرمال شده می‌باشند. در شکل (۳) درصد اهمیت هر یک از پارامترها نشان داده شده است.

سپس با استفاده از مدل درخت تصمیم و داده‌های کمکی ذکر شده، اقدام به پهنه‌بندی عمق برف با توجه به شکل (٤) در کل منطقه مورد مطالعه گردید. همان‌گونه که در این شکل نشان می‌دهد بیشترین میزان عمق برف مربوط به شمال و جنوب و شرق می‌باشد

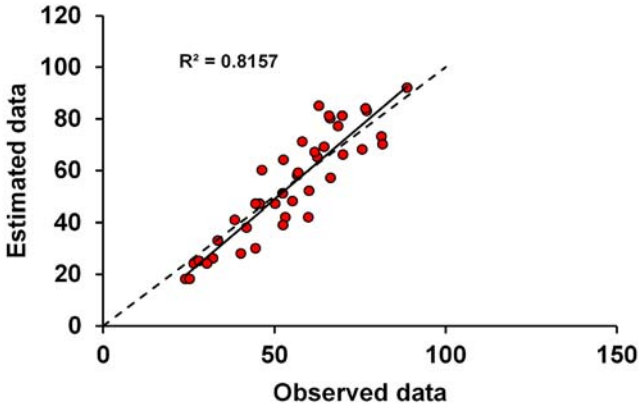
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦: نقشه ترسیم شده نهایی با استفاده از نتایج درخت تصمیم و خطا

Figure 5. Spatial distribution of snow depth using decision tree and error



شکل ۷: نمودار پراکنش مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده داده‌های تست حاصل از روش رگرسیون کریجینگ

Figure 7. Scatter gram between measured and predicted values resulted by regression kriging

جدول ۳: ملاک‌های آماری برای سنجش کارایی رگرسیون کریجینگ

Table 3. Error criteria used to evaluate performance of regression kriging

معیار آماری / عمق برف	ضریب تبیین	ضریب همبستگی	میانگین خطا (سانتی‌متر)	میانگین مطلق خطا	ریشه مربعات خطا (سانتی‌متر)	انحراف (سانتی‌متر)
Snow depth	Coefficent of determination	Corrolation coefficent	Mean error	MAE(cm)	Root mean square error	Bias(cm)
رگرسیون کریجینگ	0.81	90	0.55	7.45	9.04	0.56

که این پراکنش با پراکنش حاصل از شکل (۲) مطابقت دارد و نشان دهنده این موضوع می‌باشد که هرچه ارتفاعات افزایش یافته‌اند میزان عمق برف نیز افزایش یافته است و چون کم‌ترین میزان ارتفاع مربوط به قسمت‌های غرب و شمال غربی هست، عمق برف نیز در این نقاط کاهش چشم‌گیری یافته است.

در مرحله بعد ابتدا باید روند موجود در داده‌ها (قسمتی از تغییرات داده‌ها که تصادفی نیستند) را با یک رابطه محاسبه کرده و از داده‌های اصلی کم کرد. سپس باقی مانده‌ها (جزء بدون روند) را با یک روش زمین‌آماری مناسب درون‌یابی کرد که نقشه رسم شده در شکل (۵) نشان دهنده میزان خطا می‌باشد. در شکل نشان داده شده بیشترین میزان خطا مربوط به قسمت‌های جنوبی هست و کمترین میزان خطا مربوط به قسمت‌ها شمالی و غرب منطقه می‌باشد.

در مرحله سوم مقادیر باقی مانده‌ها (شکل ۵) را باید به مقادیر اصلی دارای روند (شکل ٤) اضافه کرد و نقشه نهایی از حاصل جمع این دو نقشه (شکل ٦) به دست می‌آید. در این نقشه نیز همان گونه که نشان داده شده است بیشترین میزان عمق برف در قسمت‌های شمال و جنوب و شرق می‌باشد که این پراکنش با پراکنش حاصل از شکل (۲) مطابقت دارد. همین‌طور کمترین میزان برف در قسمت‌های غرب منطقه قابل مشاهده هست.

مقایسه مقادیر واقعی با برآورد شده از طریق محاسبه ملاک‌های پراکندگی شامل میانگین خطای مطلق، جذر میانگین مربعات خطا و همبستگی بین آن‌ها صورت می‌گیرد [۲۰]. که میزان ضریب همبستگی بالای مدل (۹۰ درصد) انجام شده و پایین بودن جذر میانگین مربعات خطا (۹/۰٤)، انحراف و میانگین مربع خطا نشان دهنده کارا بودن مدل ایجاد شده می‌باشد و با توجه به جدول (۳) می‌توان به داده‌های حاصل از مدل‌سازی اعتماد کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که در عرصه‌های طبیعی که مشکلات خاص نمونه‌برداری، هزینه‌های تجزیه و آنالیز نمونه‌ها وجود دارد، می‌توان به کمک داده‌های پارامتر سرزمین برای پهنه‌بندی عمق برف استفاده نمود. همچنین روش الگوریتم M۵ درخت تصمیم یکی از بهترین روش‌ها در محاسبه عمق برف می‌باشد و از جمله کسانی که از این روش برای مدل‌سازی استفاده کرده‌اند می‌توان به بتکاریا و سلوماتین [۲] اشاره کرد که از دو روش شبکه عصبی و الگوریتم M۵ درخت تصمیم برای رابطه سطح آب – دبی در یک

www.SID.ir

Archive of SID

رودخانه استفاده نمودند و نتایج حاصل نشان دادند که دقت پیش‌بینی الگوریتم M۵ درخت تصمیم بسیار بالاست. در این پژوهش در روش درخت تصمیم انجام گرفته از ۳۰ پارامتر ورودی برای مدل استفاده شده که اولین و مهمترین پارامتر، سطح اساس شبکه زهکشی است. از مقایسه این تحقیق با تحقیقات صورت گرفته می‌توان به طبری و همکاران [۱۹] اشاره نمود که در پژوهش خود در برآورد توزیع مکانی آب معادل برف و عمق برف در سراب کارون از شش پارامتر ورودی استفاده کردند و موثرترین پارامترها را به ترتیب ارتفاع زمین، شاخص بادپناهی، جهت شیب‌های شمالی – جنوبی معرفی نموده‌اند در صورتی که در این پژوهش پارامتر سطح اساس شبکه زهکشی موثر معرفی گردیده است. همچنین در پژوهشی به بررسی تاثیر باد بر توزیع مکانی برف انباشت در زیرحوضه صمصامی کارون پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که باد تاثیر بسزایی در توزیع مکانی ضخامت برف داشته است [۱٤] که در پژوهش انجام شده نیز باد جزء ۱۰ پارامتر موثر در توزیع مکانی عمق برف معرفی شده است.

در مطالعات اخیر از رگرسیون کریجینگ زیاد استفاده شده است که از دلایل استفاده از این روش، کمک گرفتن از پارامترهای کمکی زیادی می‌باشد. همچنین استفاده از روش رگرسیون کریجینگ با توجه به ساده بودن محاسبات و کم هزینه بودن جهت تخمین عمق برف در مورد منطقه مورد نظر پیشنهاد می‌شود به گونه‌ای که مدل صورت گرفته توانسته ۹۰ درصد از تغییرات عمق برف را توجیه نماید. از جمله کسانی که از این روش استفاده کرده‌اند و می‌توان به نادی و همکاران [۱٦] به ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی برای محاسبه بارندگی ماهانه و سالانه پرداختند. و نشان دادند که از بین روش‌های مورد استفاده بهترین نتایج را از روش رگرسیون کریجینگ گرفته‌اند. همینطور اریکسون و همکاران [۸] به منظور مدل کردن تاثیر عوامل توپوگرافی روی عمق برف از روش معادله همبستگی خطی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که علاوه بر استفاده از ترکیب خطی عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع، زاویه شیب، تابش و نمایه بادپناهی، از اثرات متقابل آن‌ها به صورت ترکیب‌های غیرخطی نیز استفاده شود، توانایی بیشتری در مدل کردن روند موجود در مشاهدات، ایجاد می‌شود.انتظار می‌رود که در مطالعات آتی جهت ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرپذیری بیشتری از عمق برف را پیش‌بینی نماید؛ از مدل رقومی ارتفاعی دقیق‌تر و نمونه‌های متراکم‌تر استفاده نمود.

منابع

1. Balk, B. and Elder, K. 2000. Combining binary decision tree and geostatistical methods to estimate snow distribution in a mountain watershed. Water Resources Research 36(1):13-26.

2. Bhattacharya, B. and Solomatine, D. P. 2005. Neural networks and M5 model trees in modelling water level–discharge relationship. Neurocomputing 63(1): 381-396.

3. Boer, EPJ. Beurs, KMD. and Dewi-Hartkamp, A. 2001. Kriging and Thin Plate Splines for Mapping Climate Variables. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 3)2(:146-154 .

4. Cline, DW. Bales, RC. and Dozier, J. 1998. Estimating the spatial distribution of snow in mountain basins using remote sensing and energy balance modeling. Water Resources Research 34(5): 1275-1285.

5. Darmody, RG. Thorn, CE. Schlyter, P. and Dixon, JC. 2004. Relationships of Vegetation distribution to soil properties in Karkevagge, Swedish Lapland. Arctic, Antarctic and Alpine Research 36(1):21-32.

6. Egli, L. Griessinger, N. and Jonas, T. 2011. Seasonal development of spatial snow-depth variability across different scales in the Swiss Alps. Annals of Glaciology 52(58): 216-222.

7. Erikson, TA. Williams, MW. and Winstral, A. 2005. Persistence of topographic controls on the spatial distribution of snow in rugged mountain, Colorado, United States. Water Resources Research 41(4): 1-17.

8. Erxleben, J. Elder, K. and Davis, R. 2002. Comparison of spatial interpolation methods for estimating snow stribution in Colorado Rocky Mountains. Hydrological Processes 16(18): 3627-3649.

9. Ghazanfari, M. Alizade, S. and Teymourpour, P. 2008. Data Mining and Knowledge Discovery (1th Ed.). University of Science and Technology Center Press, Tehran, 458 p. (In Persian)

10. Knotters, M. Brus, DJ. and Oude-Voshaar, JH. 1995. A comparison of kriging, co-kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. Geoderma 67(3): 227-246.

11. Lapena, DR. and Martz, LW. 1996. An investigation of the spatial association between snow depth and topography in a Prairie agricultural landscape using digital terrain analysis. Journal of Hydrology 184(3): 277-298.

www.SID.ir

Archive of SID

12. Lark, RM. and Beckett, PHT. 1998. A geostastistical descriptor of the spatial distribution of soil classes and its use in predicting the purity of possible soil map units. Geoderma 83(3): 243-267.

13. Marofi, S., Tabari, H., Zare-Abyaneh, H. and Sharifi, MR. 2011. Investigating the influence of wind on spatial distribution of snow accumulation in one of Karoon sub-basins (case study: Samsami basin). Journal of Irrigation and Water Engineering 12(2),12-24. (In Persian)

14. McBratney, AB. Odeh, IOA. Bishop, TFA. Dunbar, MS. and Shatar, TM. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. Geoderma 97(1):293–327.

15. McBratney, AB. Santos, MLM. and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma 117(2): 3-52.

16. Nadi, M., Jamei, M., Bazrafshan, J. and Janat-Rostami, S. 2012. Evaluation of different methods for monthly and annual rainfall of interpolated data (case study: Khuzestan province). Natural Geographical Research 44(4), 117-130. (In Persian)

17. Odeh, IOA. Mc Bratney, AB. and Chittleborough, DJ. 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes. Hetrotropic co-kriging and regression-kriging. Geoderma 67(3): 215-226.

18. Tabari, H. Marofi, S. Zare-Abyaneh, H. Amiri Chayjan, R. Sharifi, MR. and Akhoondali, AM. 2008. Predicting Spatial Distribution of Snow Water Equivalent Using Multivariate Non-linear Regression and Computational Intelligence Methods. Water and Soil Sciences 13(5), 23-38. (In Persian)

19. Webster, R. and Oliver, MA. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists (1th Ed.). John Wiley and Sons Press, New York, 586p.

20. Wilson, JP. and Gallant, JC. 2000. Train analysis, principle and applications (1th Ed.). John Wiley and Sons Press, New York, 523p.

21. Zhang, D. and Tsai, JJP. 2007. Advances in Machine Learning Applications in Software Engineering (1th Ed.). John Wiley and Sons Press, New York, 126p.

22. Zhang, SW. Shen, CY. Chen, XY. Ye, HC. Huang, YF. and Lai, S. 2013. Spatial Interpolation of Soil Texture Using Compositional Kriging and Regression Kriging with Consideration of the Characteristics of Compositional Data and Environment Variables. Journal of Integrative Agriculture 12(9): 1673-1683.

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران

Iran-Watershed Management Science & Engineering

Vol. 9, No. 28, Spring 2015

سال نهم- شماره ۲۸- بهار ۱۳۹۴

Abstract

Spatial Prediction of Snow Depth Using Regression Kriging and Terrain Parameters in Sakhvid Region

R. Taghizadeh-Mehrjardi[1], S. Gharaei[2] and A. Fathzadeh[3]

Received: 2013. 12. 05 Accepted: 2015. 02. 24

Snow depth is the most common parameter used for the assessment of water resources in the mountainous areas. Therefore, knowledge about spatial distribution of snow depth is the substantial knowledge of watershed characteristics. At present research, it was tried to estimate the spatial distribution of snow depth using regression kriging based on M5 model tree. Therefore, location of 216 points was selected systematically, and then snow depth was measured with a Monte - Rose sampler in Yazd-Sakhvid region. Then, 30 terrain parameters were derived from a digital elevation model using SAGA software. Our results indicated that channel network base level, stream power and wetness index were the most important parameters in decision-tree model. The correlation coefficient of 90% confirmed the strong performance of regression kriging model. Moreover, this method is very simple, so it is recommended the regression kriging model is being used to estimate spatial distribution of snow depth in other regions.

Keywords: Regression Tree, M5 Algorithm, Snow Depth, DEM, Terrain Parameters

1-Assistance Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan Corresponding Author Email: rh_taghizade@yahoo.com

2- M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources, University of Yazd

3- Assistance Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan

www.SID.ir