

## مدلسازی توپو-اقلیم شناسی و پهنگ‌بندی شاخص‌های آماری یخ‌بندان‌های استان کردستان

ابراهیم مسگری<sup>۱</sup>

تقی طاووسی<sup>۲</sup>

پیمان محمودی<sup>۳</sup>

### چکیده

یخ‌بندان یکی از پدیده‌های مهم مورد مطالعه در اقلیم شناسی است که وقوع ناگهانی آن در ابتدا و انتهای فصل سرما، می‌تواند بسیار خطرزا برای بخش کشاورزی باشد. لذا برای مدل سازی و پهنگ‌بندی شاخص‌های آماری یخ‌بندان‌ها در استان کردستان، داده‌های مربوط به دمای حداقل روزانه ۶ ایستگاه همدید برای یک دوره ۱۶ ساله (۲۰۰۱ - ۲۰۱۶) از سازمان هواشناسی ایران اخذ گردیدند. در ادامه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چند متغیره رابطه بین پنج شاخص آماری یخ‌بندان‌ها یعنی متوسط تاریخ آغاز یخ‌بندان، متوسط تاریخ خاتمه یخ‌بندان، متوسط تعداد سالانه روزهای یخ‌بندان، متوسط طول فصل یخ‌بندان و متوسط طول فصل رشد با سه عامل ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی مدل سازی گردید. در ادامه بر اساس مدل‌های رگرسیونی به دست آمده برای هر شاخص، نقشه‌های پهنگ‌بندی آنها برای استان کردستان تهیه شدند.

۱-دانشجوی دکتری دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۲- استاد دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان (نویسنده مسئول)

Email: t.tavousi@gep.usb.ac.ir-Tel: 09133085106

۳- استادیار دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

نتایج حاصل از مدلسازی رگرسیونی بین شاخص‌های مختلف یخ‌بندان با سه عامل ارتفاع، عرض و طول جغرافیایی در استان کردستان نشان داد که این سه عامل به ترتیب می‌توانند ۹۵، ۹۰، ۸۸ و ۷۲ درصد تغییرات مربوط به طول دوره رشد، موقعه اولین روز یخ‌بندان، طول دوره یخ‌بندان، فراوانی وقوع روزهای یخ‌بندان و موقعه آخرین روز یخ‌بندان را تبیین کنند. آرایش فضایی شاخص‌های مختلف یخ‌بندان در استان کردستان نیز نشان از یک آرایش غربی به شرقی در مقادیر شاخص‌های مختلف یخ‌بندان دارد. یعنی هر چه از جانب غرب به سمت شرق حرکت می‌کنیم تعداد فراوانی روزهای یخ‌بندان و همچنین طول دوره یخ‌بندان کاهش پیدا می‌کند و متعاقب آن فصل رشد افزایش پیدا می‌کند. متناسب با این تغییرات موقعه اولین روز و آخرین روز یخ‌بندان نیز با تاخیرهای زیادی در بین نیمه شرقی و غربی این استان قابل مشاهده است.

**واژگان کلیدی:** یخ‌بندان، رگرسیون چندمتغیره، استان کردستان، پهنه‌بندی، مدل سازی

## مقدمه

یخ‌بندان یکی از پدیده‌های مهم مورد مطالعه در اقلیم شناسی است که از تغییر دما در طول زمان ناشی می‌شود. موقعه ناگهانی این پدیده در ابتدا و انتهای فصل سرما، می‌تواند بسیار خطرزا برای بخش کشاورزی باشد. بنابراین از دیرباز اطلاع از این تاریخ‌ها مورد توجه بسیاری از محققین بخش هواشناسی و اقلیم شناسی بوده است (تام و شاو، ۱۹۵۸؛ ۲۵۱؛ روزنبرگ و مایرز، ۱۹۶۲؛ ۴۷۱؛ اشمیدلین، ۱۹۸۶؛ ۱۴۲؛ ویلن، ۱۹۸۸؛ ۶۰۷؛ واتکینز، ۱۹۹۱؛ ۸۸۹). برای مدیریت کاهش اثرات این پدیده مخرب اقلیمی بر بخش کشاورزی و بهره مندی اندیشمندانه از توان‌های محیطی یک منطقه وسیع، توجه جدی به مطالعه دقیق این پدیده و ویژگی‌های آن در همه سطح زمین لازم به نظر می‌رسد و این امر قاعده‌تاً مستلزم هزینه گزارف و صرف وقت طولانی خواهد بود. لذا جهت پرهیز از این دو و در عین حال در راستای رسیدن به اهداف مدیریتی، پهنه‌بندی و شناخت دقیق تجانس و عدم تجانس بین نواحی مختلف در یک منطقه بزرگ ضروری به نظر می‌رسد. در مطالعات اقلیم شناسی برای پهنه‌بندی شاخص‌های مختلف متغیرهای اقلیمی به ناچار اقلیم شناس با مکان‌هایی سروکار دارد که دیده بانی‌های مستقیم در آنجاها انجام نمی‌گیرد، بنابراین جهت رفع این



مشکل در مکان هایی که فاقد ایستگاه هستند از روش های مختلف درون یابی استفاده می شود. درون یابی شاخص های آماری یخندان ها، به دلیل وابستگی که این ویژگی ها به عوامل مختلفی همچون ارتفاع زمین (بوئر و همکاران، ۱۹۹۳: ۱۷۳۱)، وضعیت توپوگرافی (لیندکوئیست و همکاران، ۲۰۰۰: ۵۱)، طول و عرض جغرافیایی (مدلین و بلتراند، ۲۰۰۵: ۵۱)، دوری و نزدیکی به دریاها (زینونی و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۰۹۱)، وضعیت خاک (آویسار و ماهرر، ۱۹۸۸ الف: ۴۰۰ و ب: ۴۱۴؛ فیگورولا و ماترو، ۱۹۹۷: ۲۲۹)، پوشش گیاهی (آویسار و ماهرر، الف: ۴۰۰ و ب: ۴۱۴)، ابرناکی و باد (لاگلین، ۱۹۸۲: ۱۴۱؛ لاگلین و کالما، ۱۹۸۷: ۱؛ لاگلین و کالما، ۱۹۹۰: ۴۱)، در مقایسه با دیگر متغیر ها، مقداری مشکل تر به نظر می رسد. لذا با کمی کردن روابط بین این ویژگی ها و برخی عوامل زمین-اقلیم می توان نقشه های دقیق تری از شاخص های آماری یخندان تهیه نمود. نقشه های پهنه بندی یخندان عموماً با استفاده از بررسی های توپو-اقلیم شناسی صورت می گیرد (گایگر، ۱۹۶۶؛ هوگ ۱۹۶۶: ۲۹۰ و ۱۹۶۸ و گات، ۱۹۷۱؛ سوزوکی و همکاران، ۱۹۸۲: ۸۱۳؛ ریچاردز، ۲۰۰۰: جارویس و استوارت، ۲۰۰۰ الف: ۱۰۶۰، ۲۰۰۰ ب: ۱۰۷۵؛ زینونی و همکاران، ۱۹۸۱: ۱۰۹۱؛ ریچاردز و بومگارتن، ۲۰۰۳؛ محمودی، ۲۰۱۴، ۱۷۵)، هرچند از اواخر دهه ۱۹۶۰ دمانگاری با استفاده از تصاویر مادون قرمز به دست آمده از سنجنده های ماهواره ای در مطالعات توپو-اقلیم شناسی نیز معمول شده است (نیکسون و هالز، ۱۹۷۵: ۴۹۸؛ ساترلند و بارتولیج، ۱۹۷۴: ۶۵؛ ساترلند و همکاران، ۱۹۸۱: ۸۱۳). کاربرد این روش را برای اولین بار در بررسی دماهای شبانه در باغات تشریح نموده اند. از آن زمان به بعد با قابلیت دسترسی بیشتر به این نوع تصاویر، مطالعه دماهای شبانه سطح زمین بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است (چن و همکاران، ۱۹۸۲: ۹۹۲؛ دالریوس و لاوری دیادو، ۱۹۹۵: ۱۲۳؛ کردیلس و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۵۷؛ یورگنس، ۱۹۹۷: ۳۵۸۳؛ فرانسویس و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۱۳).

در ایران نیز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برخی شاخص های آماری یخندان ها همچون اولین یخندان زودرس پاییزه، آخرین یخندان دیررس بهاره، طول فصل رشد، فراوانی یخندان و ... در مقیاس های خرد و کلان پهنه بندی شده است. به طوریکه اطلس احتمال وقوع دماهای حداقل استان فارس توسط خیابی و همکاران در سال ۲۰۱۰ تهیه گردیده است. مجرد قره باغ (۱۳۷۶) بر اساس تئوری تقاطع ویژگی های آماری یخندان-

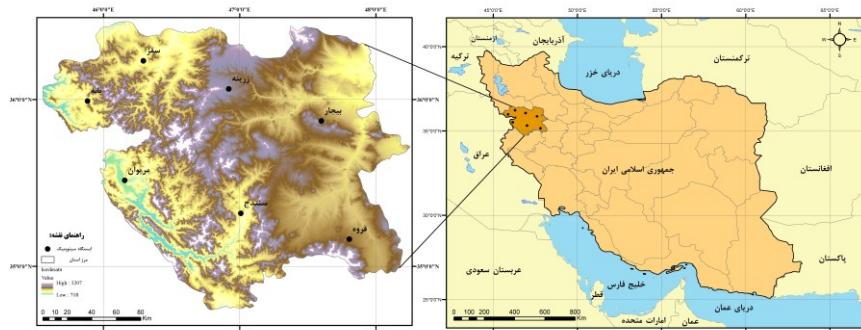
های آذربایجان را به صورت نظام وار مورد مطالعه قرار داد. خسروی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام به پنهان بندی خطر سرمازدگی بر روی محصولات باغی در شهرستان مه ولات در استان خراسان رضوی نمودند. آنها با همپوشانی نقشه‌های وقوع مکانی – زمانی آخرین سرمازدگی‌های دیررس بهاره و نقشه‌های گونه-های غالب باگی، سه منطقه پرخطر، خطر و کم خطر را در این شهرستان شناسایی نمودند. تداوم‌های دو، سه و چهار روزه یخبدان‌های ایران نیز توسط علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) برای ۵۸ ایستگاه سینوپتیک در سطح ایران استخراج و وابستگی روزهای یخبدان به یکدیگر توسط مدل زنجیره مارکوف مدل بندی گردید و در نهایت نقشه‌های پنهان بندی روزهای تداوم یخبدان برای کل ایران تهیه شد. محمودی و همکاران (۱۳۹۴) نیز ۵ شاخص آماری یخبدان‌ها یعنی: متوسط تاریخ آغاز یخبدان، متوسط تاریخ خاتمه یخبدان، متوسط طول فصل یخبدان، متوسط فراوانی تعداد روزهای یخبدان و متوسط طول فصل رشد را برای ۶۲ ایستگاه سینوپتیک در سطح ایران استخراج و سپس با استفاده از تحلیل خوش‌ای، ایران را به ۶ پنهانه متمایز دسته بندی و نقشه‌های آن را تهیه نمودند علیجانی و همکاران (۱۳۹۵) با هدف استخراج فراوانی روزهای ذوب-انجماد، توزیع زمانی و مکانی این ویژگی از یخبدان را در مقیاس‌های سالانه و ماهانه در ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که در مقیاس سالانه حداکثر فراوانی روزهای ذوب-انجماد با بیش از ۷۰ روز در غرب و شمال غرب ایران مشاهده شده و در مقیاس ماهانه نیز ماه ژانویه دارای بیشترین فراوانی روزهای ذوب-انجماد بوده است. علیجانی و همکاران (۱۳۹۲) با توجه به افزایش رو به رشدی که در دقت و صحت پیش‌بینی‌های کوتاه مدت مشاهده می‌شود رهیافتی جدید جهت تعیین طول دوره رشد بالقوه در ایران ارائه کرده و در پژوهش خود به استخراج سه شاخص: طول دوره رشد، طول دوره رشد بالقوه و طول دوره مدیریت ریسک اقدام نمودند. دارائی و همکاران (۱۳۹۷) در راستای استخراج تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبدان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره در سطوح احتمالاتی مختلف برای ۴۴ ایستگاه همدید از توزیع‌های احتمالاتی مختلفی بهره برند. آنها پس از برآش توزیع‌های احتمالاتی مختلف بر روی سری‌های زمانی تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبدان‌های ۴۴ ایستگاه مورد مطالعه و با استفاده از آزمون نکوئی برآش آندرسن-دارلینگ، بهترین توزیع احتمالاتی را

برای این ایستگاه‌ها توزیع احتمالاتی ویکی دانستند. سپس آنها بر اساس این توزیع احتمالاتی نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی شاخص‌های آماری یخبدان‌های ایران را تهیه کردند. علاوه بر این، لشکری و کیخسروی (۱۳۹۶) روند تغییرات دمایی و پهنه‌بندی آغاز و پایان یخبدان‌های شهر تهران و بشیریان و همکاران (۱۳۹۶) نیز تجزیه و تحلیل آماری یخبدان‌های کشاورزی شهر کاشان را مورد توجه قرار داده‌اند.

استان کردستان به دلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی ایران و برخورداری از اقلیم سرد، در غالب سال‌ها شاهد وقوع یخبدان‌های شدید و وارد آمدن خسارت‌های سنگین بر محصولات زراعی است که نتیجه آن رنج و سختی بیشتر بر روی معیشت و زندگی مردم استان است. لذا با توجه به انتکای اقتصاد استان به کشاورزی و ضرورت خودکفایی کشور در این بخش، لزوم مطالعات دقیق روی این پدیده و پیش‌بینی آن به منظور یاری دادن مدیران و محققان بخش‌های مختلف مطالعاتی و اجرائی در جهت تحقیق اهداف برنامه‌ریزی، پیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین اولین قدم در جهت مدیریت صحیح این پدیده و کاهش اثرات آن در استان، شناسائی و پهنه‌بندی یخبدان به عنوان یک مخاطره اقلیمی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد و همچنین اولین قدم در جهت مدیریت آن که اولین مرحله از مراحل چهار گانه مدیریت بحران یعنی مرحله شناسائی مخاطرات نیز می‌باشد برداشته می‌شود. لذا با توجه به ادبیات تحقیقاتی این موضوع که در بالا به بسیاری از آنها نیز اشاره شد مشاهده گردید که بیشتر پهنه‌بندی‌های انجام شده به خصوص پهنه‌بندی‌هایی که در ایران انجام شده است متکی بر درون‌بابی شاخص‌های مختلف یخبدان‌ها در یک مقیاس ایستگاهی بوده است و کمتر به مدلسازی‌های توپو-اقلیم شناسی و پهنه‌بندی خروجی‌های حاصل از آنها توجه شده است. بنابراین با توجه به این خلاء مطالعاتی، در این مطالعه قصد بر این است که در یک مطالعه جامع ابتدا شاخص‌های آماری یخبدان‌های ایستگاه‌های موجود در استان کردستان استخراج و سپس با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره با سه عامل ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی مدلسازی شوند و در نهایت خروجی حاصل از این مدل سازی در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی در اختیار محققین قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

برای مدل بندی و پنهانه بندی شاخص‌های آماری یخ‌بندان‌ها در استان کردستان، داده‌های مربوط به دمای حداقل روزانه یک دوره ۱۶ ساله (۲۰۰۱ - ۲۰۱۶) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. مشخصات جغرافیایی و طول دوره آماری هر کدام از ایستگاه‌ها در جدول شماره ۱ و پراکنش ایستگاه‌ها در سطح استان نیز در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱) نقشه موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول (۱): مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض	طول	ارتفاع	تاریخ
بیجار	۳۵°۵۳'	۴۷°۳۷'	۱۸۸۳/۴	۱۹۸۷-۲۰۱۶
مریوان	۳۵°۳۱'	۴۶°۱۲'	۱۲۶۸/۸	۱۹۸۷-۲۰۱۶
سقز	۳۶°۱۵'	۴۶°۱۶'	۱۵۲۲/۸	۱۹۸۷-۲۰۱۶
زرینه	۳۶°۰۴'	۴۶°۵۵'	۲۱۴۲/۶	۱۹۸۷-۲۰۱۶
سنندج	۳۵°۲۳'	۴۷°۰۰'	۱۳۷۳	۱۹۸۷-۲۰۱۶
قروه	۳۵°۱۷'	۴۷°۴۸'	۱۹۰۶	۱۹۸۷-۲۰۱۶
یانه	۳۶°۰۰..	۴۵°۵۴	۱۶۰۰	۱۹۸۷-۲۰۱۶

بعد از اخذ داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی آن، مشاهده گردید که در برخی از ایستگاه‌های استان در ماه اکتبر (ماه مهر) اولین یخ‌بندان‌ها شروع می‌شوند، به همین علت تاریخ اول اکتبر (۹ مهر) به عنوان تاریخ مبدأ انتخاب و مابقی روزها به ترتیب، نسبت به این مبدأ



شمارش شدند، برای مثال اگر در یک ایستگاه اولین دمای صفر درجه سانتی گراد در روز ۶۳ رخ داده باشد با توجه به مبنای ما که روز اول اکتبر (۹ مهر) است معادل با ۲ دسامبر (۱۱ آذر) خواهد بود و به همین ترتیب اگر آخرین دمای زیر صفر درجه سانتی گراد در روز ۲۰۲ رخ داده باشد برابر ۲۰ آوریل (۳۱ فروردین) است. بعد از تنظیم داده‌ها بر اساس روز ژولیوسی، پنج شاخص یخنده‌ها شامل: متوسط روز آغاز یخنده‌دان، متوسط روز خاتمه یخنده‌دان، متوسط تعداد سالانه روزهای یخنده‌دان، متوسط طول فصل یخنده‌دان و متوسط طول فصل رشد برای هر ایستگاه به صورت جداگانه مستخرج گردیدند. تعریف دقیق هر کدام از پنج شاخص مورد مطالعه به تفکیک آمده است: **رخداد اولین تاریخ یخنده‌دان**: عبارت است از تاریخ رخداد اولین یخنده‌دان در پاییز در آستانه حرارتی صفر درجه سانتی گراد. **رخداد آخرین تاریخ یخنده‌دان**: عبارت از تاریخ رخداد آخرین یخنده‌دان در بهار در آستانه حرارتی صفر درجه سانتی گراد. **طول فصل رشد**: عبارت است از فاصله زمانی بین پایان یخنده‌دان در بهار و آغاز یخنده‌دان در پاییز در آستانه صفر درجه سانتی گراد. **فراوانی روزهای یخنده‌دان**: عبارت از مجموع روزهایی که در آنها دمای حداقل روزانه معادل صفر یا پایین تر از صفر درجه سانتی گراد است. **طول دوره یخنده‌دان**: عبارت است از فاصله زمانی بین آخرین روز غیر یخنده‌دان در پاییز یا اوایل زمستان و اولین روز غیر یخنده‌دان در اوخر زمستان یا اوایل بهار.

در گام دوم، پنج شاخص آماری یخنده‌های ایستگاه‌ها که در مرحله اول مستخرج شده بودند به طور جداگانه با سه عامل زمین-اقلیم یعنی ارتفاع، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چند متغیره مدلسازی گردیدند. مدل-های رگرسیونی مدل‌هایی هستند که جهت مطالعه روابط بین متغیرها به ویژه نحوه وابستگی یک متغیر با متغیرهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل‌های آماری فرض بر این است که رابطه بین متغیرهای مستقل (ارتفاع، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی) و متغیرهای وابسته (پنج شاخص آماری یخنده‌دان) به صورت معادله (۱) است:

$$y = b_0 + b_1(x_1) + b_2(x_2) + \dots + b_p(x_p) \quad (1)$$

که در این معادله پارامترهای  $b_0$ ،  $b_p$ ، ضرایب رگرسیون جزیی و  $b_1, b_2, \dots, b_p$  مقدار عرض از مبدأ است که مقدار ثابت رگرسیون نیز نامیده می‌شود. روشنی هم که برای ورود متغیرها به مدل انتخاب شده است روش همزمان<sup>۱</sup> ورود متغیرهای است. در این روش کلیه متغیرهای جمع آوری شده، بدون هیچگونه تقدم و تأخیری به طور همزمان وارد مدل شده و مدل محاسبه می‌گردد. برای اندازه گیری دقت مدل‌های بدست آمده نیز چهار فرض بنیادی مورد بررسی قرار گرفت. این چهار فرض عبارتند از ( محمودی و علیجانی، ۱۳۹۲: ۹۸-۹۹):

- ۱- فرض وجود رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، ۲- فرض نرمال بودن خطاهای، ۳- فرض ثابت بودن واریانس خطاهای، ۴- فرض ناهمبسته بودن خطاهای

در مرحله سوم برای تهیه نقشه‌های پهنه بندی شاخص‌های آماری یخ‌بندان‌های استان کردستان نیاز به یک مدل رقومی ارتفاع با مقیاس مناسب بود. برای تهیه این مدل رقومی ارتفاع از داده‌های مربوط به ماموریت توپوگرافی رادار شاتل<sup>۲</sup> که به صورت مخفف (SRTM) خوانده می‌شود استفاده شد. این مدل رقومی ارتفاعی جهانی که تقریباً دارای یک پوشش جهانی از ۵۶ درجه جنوبی تا ۶۰ درجه شمالی است و با استفاده از تکنیک تداخل سنجی رادار دهانه ترکیبی<sup>۳</sup> (InSAR) تهیه شده است، نتیجه یک کار مشترک بین سازمان ملی علوم فضایی و هوانوردی ایالات متحده آمریکا<sup>۴</sup> (NASA)، آژانس ملی نقشه برداری و تهیه نقشه ایالات متحده آمریکا<sup>۵</sup> (NIMA)، آژانس فضایی آلمان<sup>۶</sup> (DLR) و آژانس فضایی ایتالیا<sup>۷</sup> (ASI) است. این مدل رقومی ارتفاعی بصورت قطعات یک در یک درجه ذخیره و از پایگاه <http://dds.cr.usgs.gov/srtm> می‌تواند به صورت رایگان برگرفته شود. نام هر فایل

<sup>۱</sup>. Enter method

<sup>۲</sup>. The Shuttle Radar Topography Mission

<sup>۳</sup>. synthetic aperture radar interferometry

<sup>۴</sup>. National Aeronautics and Space Administration

<sup>۵</sup>. National Imagery and Mapping Agency

<sup>۶</sup>. German Space Agency

<sup>۷</sup>. Italian Space Agency

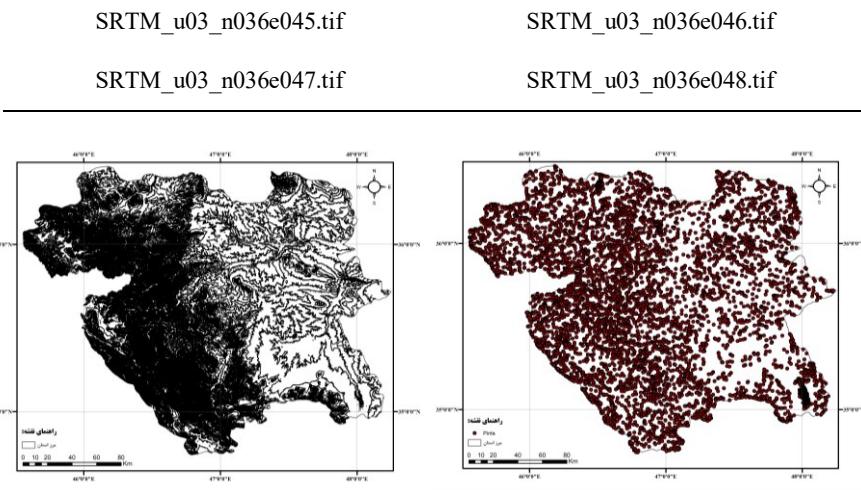


در این پایگاه بر اساس گوشه جنوب غربی هر فایل تعیین شده است یعنی n45e006 فایلی است که پوششی از ۴۵ درجه شمالی و ۶ درجه شرقی تا ۴۶ درجه شمالی و ۷ درجه شرقی را در بر می گیرد. دقت هر سلول یک آرك ثانیه (حدود ۳۰ متر) است ولی این دقت فقط برای ایالات متحده در دسترس قرار می گیرد و برای بقیه جهان به صورت دو آرك ثانیه (حدود ۹۰ متر) ارائه شده است (بامler، ۱۹۹۹). با توجه به توضیحات بالا، نقشه های مورد نیاز برای چهارچوب جغرافیایی استان کردستان از بانک اطلاعاتی این نقشه ها به آدرس اینترنتی که در بالا بدان اشاره شده است اخذ شد. این نقشه ها به صورت زیپ شده بوده و شمار آنها برای کل استان کردستان به ۱۲ عدد رسید که در محیط نرم افزاری Global Mapper تمامی آنها باز و پوشش کاملی از استان فراهم شد (جدول ۲). در این محیط نرم افزاری فواصل خطوط منحنی میزان ۱۰۰ متری برای استان تعریف و به صورت Shape file ذخیره و سپس برای ادامه کار به محیط نرم افزاری Arc/GIS انتقال داده شدند (شکل ۲).

در مرحله بعد تمامی خطوط منحنی میزانی که در محدوده سیاسی استان بودند به نقطه تبدیل شدند. دلیل تبدیل خطوط منحنی میزان به نقطه در این نکته نهفته بود که نمی توان معادلات رگرسیونی به نقطه تبدیل شوند تا هر نقطه دارای سه ویژگی ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی گردد که بتوان نتیجه معادلات را به این نقاط اختصاص داد. بنابراین با استفاده از مدل های رگرسیونی بدست آمده می توان برای تمام نقاط استان شاخص های آماری یخندان ها را محاسبه و به نقاط فاقد ایستگاه تعمیم داد. در نهایت با استفاده از روش کریجینگ هر کدام از پنج شاخص یخندان های استان کردستان پهنه بندی گردید.

جدول (۲)- مشخصات نقشه های SRTM برای محدوده استان کردستان

SRTM_u03_n034e045.tif	SRTM_u03_n034e046.tif
SRTM_u03_n034e047.tif	SRTM_u03_n034e048.tif
SRTM_u03_n035e045.tif	SRTM_u03_n035e046.tif
SRTM_u03_n035e047.tif	SRTM_u03_n035e048.tif



شکل (۲): نقشه توپوگرافی استان کردستان با خطوط منحنی میزان ۱۰۰ متر (سمت چپ) و نقشه تبدیل خطوط منحنی میزان به نقشه نقطه‌ای (سمت راست)

## نتایج و بحث

### متوسط تاریخ وقوع اولین روز یخندهان

با وارد نمودن همزمان سه متغیر ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی به مدل رگرسیونی مشاهده گردید که میزان ضریب همبستگی این سه متغیر با تاریخ وقوع اولین روز یخندهان در استان کردستان ۰/۹۵ و ضریب تبیین آن ۰/۹۰ است یعنی حدود ۹۰ درصد تغییرات مکانی این ویژگی یخندهان در استان کردستان توسط این سه متغیر می‌تواند تبیین شود (جدول ۳).

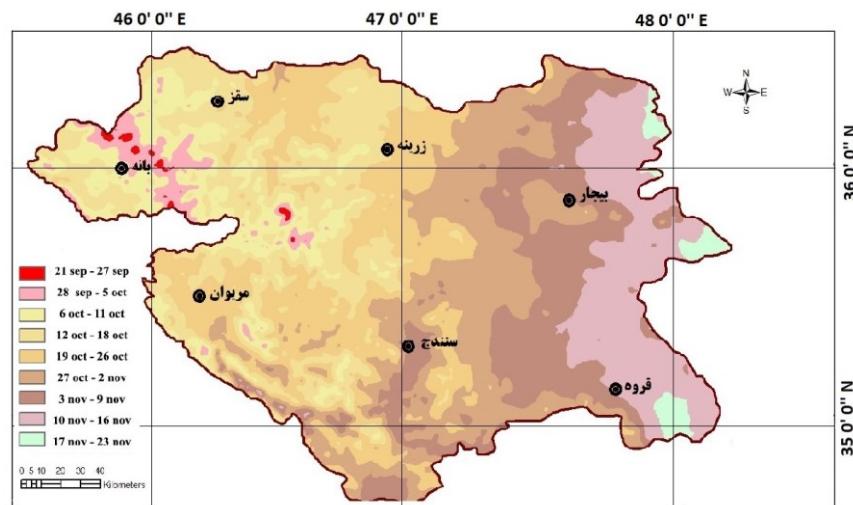
خطی بودن رابطه بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته نیز با استفاده از آماره F آزمون شد و مشخص گردید که F محاسباتی (۶/۱۰۶) بزرگتر از F (۵/۴۶۲) جدول بوده و در نتیجه فرض خطی بودن رابطه بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته در این مدل تائید می‌شود. ناهمبسته بودن خطاهای نیز توسط شاخص دوربین-واتسون مورد آزمون قرار گرفت. مقدار



این شاخص برای مدل وقوع اولین روز یخنдан ۱/۴۲۹ است و چون تقریباً نزدیک به حد فاصل ۱/۵ تا ۲/۵ قرار می‌گیرد، پس ناهمبسته بودن خطاهای نیز تائید می‌گردد (جدول ۳). نرمال بودن خطاهایم با استفاده از نمودار P-P Plot (شکل ۸) آزمون شد. در این نمودار چون مختصات نقاط مشاهده شده در حول و حوش خط نرمال قرار گرفته اند پس می‌توان گفت که مانده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. اما ثابت بودن واریانس خطاهای توسط نموداری که محور افقی آن مقادیر استاندارد شده پیش‌بینی و محور عمودی آن مقادیر استاندارد شده باقیمانده هاست آزمون می‌شود. بر اساس شکل ۸ مشاهده می‌شود که روند خاصی در این نمودار مشاهده نمی‌شود پس ثابت بودن واریانس خطاهای نیز تایید می‌شود. پس با توجه به نتایج آزمون فرضیات می‌توان مدل رگرسیونی سه متغیره میانگین تاریخ اولین روز یخندان با سه عامل ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی را به صورت معادله (۲) ارایه داد:

$$\text{First Frost} = 560.266 + (16.416 \times \text{longitude}) + (-4.076 \times \text{latitude}) + (-0.021 \times \text{elevation}) \quad (2)$$

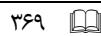
در ادامه با استفاده از مدل به دست آمده در بالا، نقشه پهنه بندی میانگین اولین روز یخنдан برای استان کردستان بدست آمد (شکل ۳). بر اساس این نقشه مشاهده می‌شود که زودترین وقوع اولین روز یخندان در استان کردستان در حد فاصل ۲۱ سپتامبر (۳۰ شهریور) تا ۲۷ اکتبر (۵ مهر) و در ارتفاعات شمال غرب استان به خصوص ارتفاعات چهل چشمۀ روی می‌دهد. دیرترین وقوع اولین روز یخندان نیز در نواحی پست شرق استان و در حد فاصل ۱۷ اکتبر (۲۶ آبان) تا ۲۳ نوامبر (۲ آذر) اتفاق می‌افتد (شکل ۳).



شکل (۳) نقشه پهنه‌بندی میانگین وقوع اولین روز یخ بندان در استان کردستان

#### متوسط تاریخ وقوع آخرین روز یخ بندان

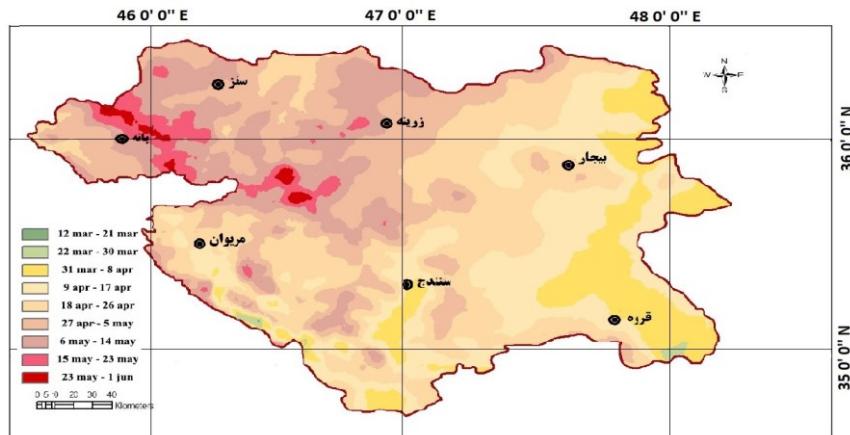
میزان ضریب همبستگی این ویژگی از یخ بندان با سه عامل مطالعه  $0.854$  با ضریب تبیین  $0.730$  است بنابراین می‌توان حدود ۷۳ درصد تغییرات مکانی این ویژگی یخ بندان را با این مدل سه متغیره تبیین کرد (جدول ۳). از میان چهار فرض مورد نظر جهت صحت دقت مدل سه فرض ناهمبسته بودن خطاها مدل، نرمال بودن باقیمانده ها و ثابت بودن واریانس باقیمانده ها به طور نسبی دقت مدل را تایید می کنند. مقدار F محاسباتی ( $7/800$ ) نیز که حاکی از وجود رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته است بیشتر از F جدول ( $5/462$ ) است بنابراین وجود رابطه خطی بین متغیرها تایید می گردد. مقدار شاخص دوربین- واتسون نیز  $1/240$  است (جدول ۳). نمودار P-P Plot بین نرمال بودن باقیمانده ها را اطراف خط نرمال نشان می دهد (شکل ۸) در نهایت نمودار پراکنش مقادیر باقیمانده ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده نیز هیچ روند خاصی را نشان نمی دهد (شکل ۸).



بنابراین با توجه به نتایج آزمون فرضیات، مدل رگرسیونی تاریخ وقوع آخرین روز یخ‌بندان با سه متغیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع به صورت معادله (۳) خواهد بود.

$$Frost\ Late = 320.49 + (-12.298 \times longitude) + (11.242 \times latitude) + (0.032 \times elevation) \quad (3)$$

براساس مدل بدست آمده برای این ویژگی یخ‌بندان، نقشه پهنه بندی وقوع آخرین روز یخ‌بندان برای استان کردستان تهیه شد (شکل ۴). براساس این نقشه مشاهده می‌شود که زودترین وقوع آخرین یخ‌بندان در استان کردستان در حد فاصل ۲۲ مارس (۲ فروردین) تا ۳۰ مارس (۱۰ فروردین) در نواحی پست جنوب شرق و جنوب غربی استان و دیرترین آن در حد فاصل ۲۴ مه (۳ خرداد) تا ۱ ژوئن (۱۱ خرداد) در نوک قلل مرتفع غرب و شمال غرب استان همچون ارتفاعات چهل چشمه با ارتفاعی در حدود ۳۱۷۳ متر، کوه کترش با ارتفاع ۲۵۹۲ متر و کوه وازن با ارتفاع ۲۶۹۷ متر رخ می‌دهد.



شکل (۴) نقشه پهنه بندی میانگین وقوع آخرین روز یخ‌بندان در استان کردستان

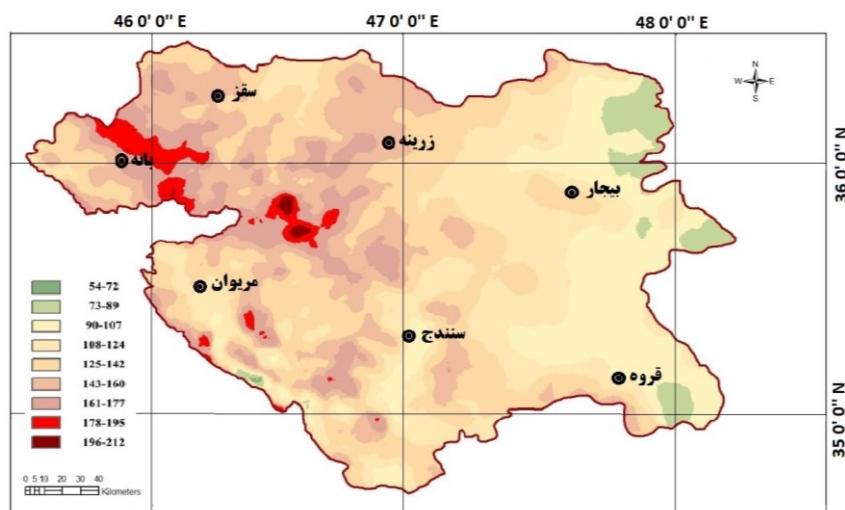
#### میانگین فراوانی تعداد روزهای یخ‌بندان

فراوانی تعداد روزهای یخبندان سومین شاخصی بود که برای کل استان کردستان استخراج گردید. سه عامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع با ضریب تبیین ۰/۹۵۲ (ضریب همبستگی ۰/۹۷۶) نزدیک به ۹۵ درصد تغییرات مکانی این ویژگی از یخبندان را توجیه می‌کند. نتایج آزمون فرضیات نشان می‌دهد که F محاسباتی (۱۳/۳۰۱) جهت آزمون خطی بودن رابطه متغیرها بسیار بیشتر از F جدول است. لذا فرضیه خطی بودن این مدل تصدیق می‌شود. شاخص دوربین-واتسون نیز (۰/۹۸۸) چون در حد فاصل ۱/۵ تا ۲/۵ قرار نگرفته است پس ناهمبسته بودن خطای مدل هم تایید نمی‌شود (جدول ۳). نرمال بودن خطاهای نیز در شکل ۸ تایید می‌گردد. در این نمودار مشاهده می‌شود که تمامی نقاط حول خط نرمال تجمع یافته اند. فرضیه ثابت بودن واریانس خطاهای نیز که از طریق نمودار پراکنش مقادیر استاندارد شده پیش‌بینی علیه مقادیر باقیمانده‌های استاندارد شده آزمون می‌شود نشان از خطی بودن مدل و فرض ثابت بودن واریانس خطاهای می‌باشد. بنابراین نشانه هایی از غیر عادی بودن وجود ندارد (شکل ۸). لذا این فرض هم مورد پذیرش قرار می‌گیرد.

با توجه به نتایج جمیع فرضیات تایید شده، مدل رگرسیونی فراوانی تعداد روزهای یخبندان با عوامل زمین-اقلیم به صورت معادله (۴) ارایه می‌شود:

$$\text{freqfrost} = 1639.25 + (0.294 \times \text{longitude}) + (-35.77 \times \text{latitude}) + (0.077 \times \text{elevation}) \quad (4)$$

اکنون با استفاده از مدل رگرسیونی بدست آمده، می‌توان این ویژگی از یخبندان را برای استان کردستان پهنه بندی نمود. با توجه به نقشه پهنه بندی فراوانی وقوع یخبندان مشاهده می‌شود که بیشترین فراوانی متعلق به ارتفاعات منطقه با بیش از ۱۹۶ روز و کمترین فراوانی را کرانه‌های شرقی استان با کمتر از ۷۲ روز تجربه کرده اند (شکل ۵).



شکل (۵) نقشه پهنه بندی فراوانی وقوع یخبندان در استان کردستان

#### میانگین طول دوره یخبندان

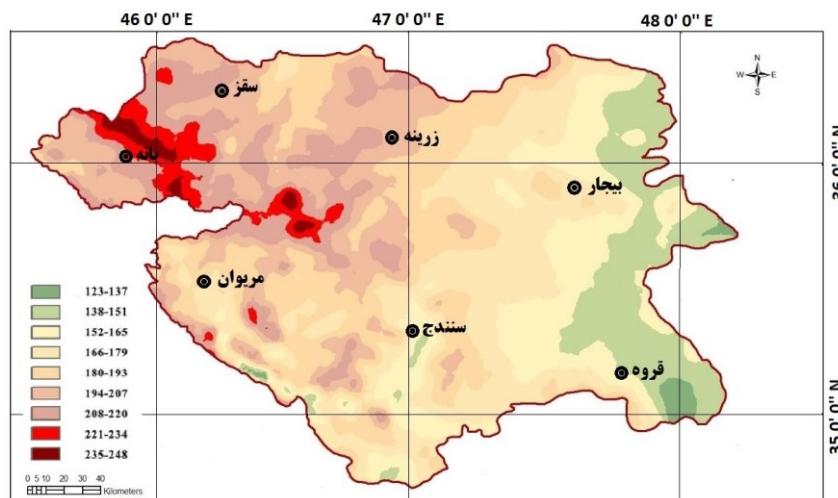
با وارد کردن همزمان متغیرهای مورد مطالعه به مدل رگرسیونی مشاهده گردید که میزان ضریب همبستگی این مدل ۰/۹۴۱ با ضریب تبیین ۶۸/۰۰ است بنابراین می توان حدود ۸۸ درصد تغییرات مکانی این ویژگی از یخبندان را با این مدل سه متغیره تبیین کرد (جدول ۳).

انجام چهار آزمون مورد نظر جهت صحت دقت مدل در برآورده مکانی طول دوره یخبندان به ترتیب نشان از غیر خطی بودن رابطه، ناهمبسته بودن خطاها مدل، نرمال بودن باقیمانده ها و ثابت بودن واریانس باقیمانده ها دارد. به طوریکه مقدار F محاسباتی (۵/۲۰۱) کمتر از F جدول (۵/۴۶۲) است و مقدار شاخص دوربین-واتسون نیز ۱/۵۵۸ است (جدول ۳). نمودار P-P Plot هم نرمال بودن باقیمانده ها را اطراف خط نرمال نشان می دهد (شکل ۸). و در نهایت نمودار پراکنش مقادیر باقیمانده ها در مقابل مقادیر پیش بینی

شده نیز هیچ روند خاصی را نشان نمی دهد (شکل ۸). بنابراین با توجه به نتایج آزمون فرضیات و براساس جدول ضرایب مدل (جدول ۳)، مدل رگرسیونی میانگین طول دوره یخ‌بندان با سه متغیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع به شکل معادله (۵) خواهد بود.

$$\text{longfrost} = 924.34 + (12.292 \times \text{longitude}) + (-26.847 \times \text{latitude}) + (0.039 \times \text{elevation}) (\Delta)$$

با توجه به نقشه (شکل ۶) مشاهده می شود در ارتفاعات شمال غرب استان با ۲۳۵ تا ۲۴۸ روز بیشترین و شرق و جنوب شرق استان نیز دارای کمترین طول فصل یخ‌بندان را با ۱۲۳ تا ۱۳۷ روز دارا می باشند.



شکل (۶) نقشه پهنه‌بندی میانگین طول دوره یخ‌بندان در استان کردستان



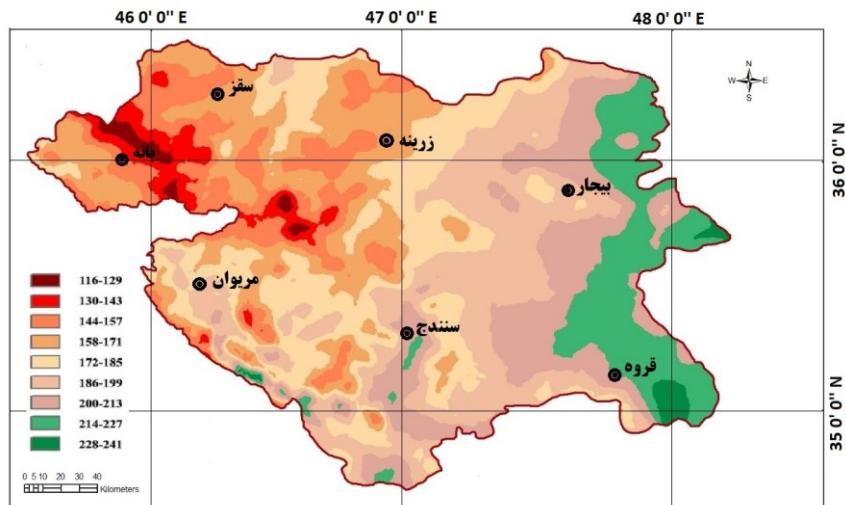
### متوسط طول فصل رشد

طول فصل رشد به عنوان یکی از ویژگی های آماری یخبدان اهمیت زیادی دارد؛ چرا که عمدۀ انرژی مورد نیاز برای رشد گیاه که از عوامل تعیین نوع کشت است در این دوره تامین می شود. ضریب همبستگی و ضریب تبیین این مدل به ترتیب  $0.895$  و  $0.801$  هستند. بنابراین  $80$  درصد تغییرات این شاخص یخبدان با این مدل تبیین می شود. آزمون فرضیات چهارگانه مدل نشان می دهد که آماره F محاسباتی ( $12/684$ ) بیشتر از آماره F جدول ( $5/462$ ) است لذا خطی بودن این رابطه مورد تایید قرار می گیرد. شاخص دوربین-واتسون هم با مقدار  $1/292$  ناهمبسته بودن خطاهای این مدل را تایید می کند (جدول ۳). شکل ۸ نیز نرمال بودن خطاهای را با توجه به قرارگیری نقاط حول خط نرمال تایید می کند. نمودار پراکنش باقیمانده های مدل فصل تابستان (شکل ۸) روند خاصی را نشان نمی دهد لذا آخرین فرضیه یعنی ثابت بودن واریانس خطاهای هم تایید می گردد. پس از تایید تمامی فرضیات مطرح شده می توان مدل رگرسیونی چند متغیره بین متوسط طول فصل رشد و سه عامل انتخاب شده را به صورت معادله (۶) ارایه داد:

(۶)

$$Grow = -517.26 + (28.723 \times longitude) + (-15.32 \times latitude) + (-0.053 \times elevation)$$

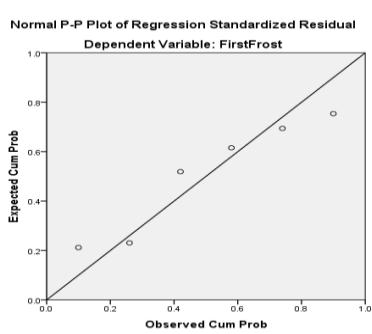
نقشه بدست آمده برای طول فصل رشد در استان کردستان نشان می دهد که طولانی ترین فصل رشد متعلق به نوار شرقی استان می باشد (شکل ۷). طول مدت فصل رشد در این قسمت از استان به طور میانگین بین  $214$  تا  $227$  روز است. هر چند در درون این قسمت، بخش های های کوچکی که از لحاظ ارتفاعی پست تر از دیگر نقاط هستند، طول دوره رشد طولانی تری هم دارند. اما کوتاه ترین طول دوره رشد در این استان نیز متعلق به ارتفاعات غرب و شمال غرب استان است که به طور میانگین  $116$  تا  $129$  روز است.



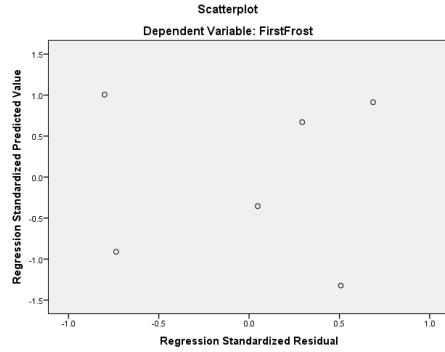
شکل (۷) نقشه پهنه‌بندی میانگین طول دوره رشد در استان کردستان

جدول (۳) خلاصه آمارهای مدل رگرسیونی ویژگی‌های آماری یخبدان در استان کردستان

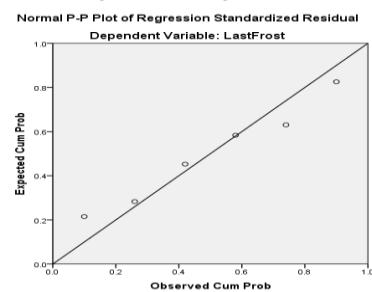
D/W	Sig	Df2	Df1	F (Table)	F	Std	R2	R	مدل
۱/۴۳	.۰۰۱	۲	۳	۵/۴۶	۶/۱۱	۵/۱۹	.۹۰	.۹۵	اولین یخبدان
۱/۲۴	.۰۰۴	۲	۳	۵/۴۶	۷/۸۰	۱۲/۱۰	.۷۳	.۸۵	آخرین یخبدان
۱/۲۹	.۰۰۳	۲	۳	۵/۴۶	۱۲/۶۸	۱۷/۱۲	.۸۰	.۹۰	دوره رشد
۲/۲۷	.۰۱۷	۲	۳	۵/۴۶	۵/۲۰	۱۰/۵۲	.۸۹	.۹۴	دوره یخبدان
.۹۹	.۰۰۸	۲	۳	۵/۴۶	۱۳/۳۲	۷/۸۲	.۹۵	.۹۸	فراوانی



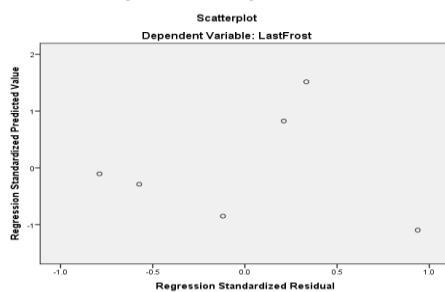
نمودار P-P Plot جهت آزمون نرمال بودن خطاهای برای اولین روز وقوع یخنдан



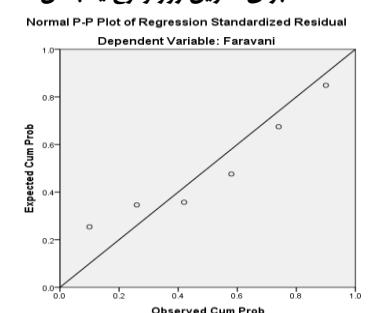
نمودار پراکنش مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای وقوع اولین روز وقوع یخندان



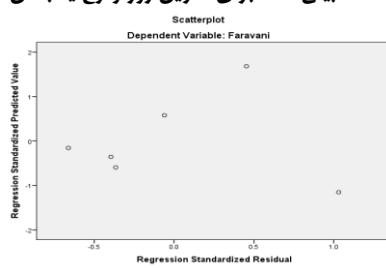
نمودار P-P Plot جهت آزمون نرمال بودن خطاهای برای آخرین روز وقوع یخنдан



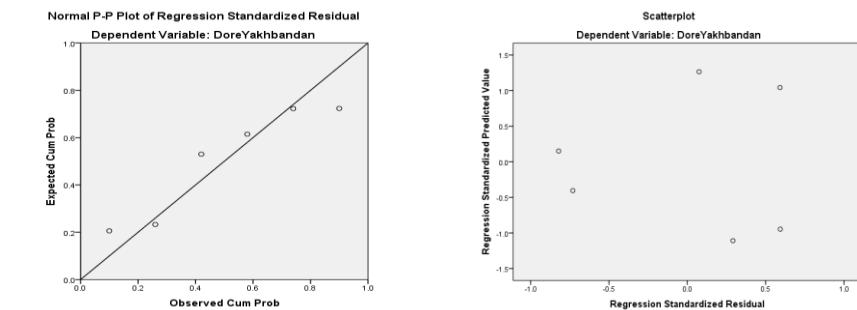
نمودار پراکنش مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای آخرین روز وقوع یخندان



نمودار P-P Plot جهت آزمون نرمال بودن خطاهای برای فراوانی روزهای وقوع یخنдан

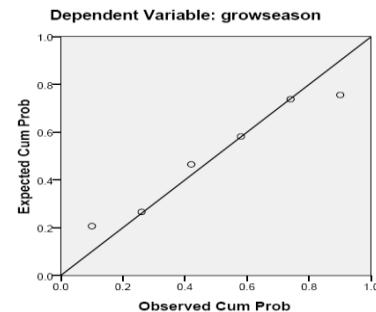


نمودار پراکنش مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای فراوانی تعداد روزهای یخنдан



نمودار P-P Plot جهت آزمون نرمال بودن خطاهای برای میانگین طول دوره یخ‌بندان

نمودار پراکنش مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای میانگین طول دوره یخ‌بندان



نمودار P-P Plot جهت آزمون نرمال بودن خطاهای برای متوسط طول دوره رشد

نمودار پراکنش مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای متوسط طول دوره رشد

شکل (۸) نمودارهای پراکنش مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای پنج ویژگی آماری یخ‌بندان‌های استان کردستان (پانل سمت راست) و نمودارهای P-P Plot جهت آزمون نرمال بودن خطاهای برای پنج ویژگی آماری یخ‌بندان‌های استان کردستان (پانل سمت چپ)

### نتیجه گیری

مطالعه خصوصیات فضایی شاخص‌های مختلف یخ‌بندان علاوه بر اینکه از لحاظ کاربردی در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های کشاورزی، حمل و نقل و انرژی قابل استفاده است، می‌تواند تصویر مناسبی از قابلیت یخ‌بندان در یک منطقه را نیز نشان دهد. نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیونی بین شاخص‌های مختلف یخ‌بندان با سه عامل ارتفاع، عرض و طول جغرافیایی در استان کردستان نشان داد که این سه عامل می‌توانند بین ۹۵ تا ۷۲ درصد

تغییرات شاخص‌های مختلف یخندهان را تبیین کنند. این سه عامل به ترتیب ۹۵، ۹۰ و ۸۸ درصد تغییرات مربوط به طول دوره رشد، موقع اولین روز یخندهان، طول دوره یخندهان، فروانی وقوع روزهای یخندهان و موقع آخرین روز یخندهان را تبیین کنند. اما لازم به یادآوری است که در مقیاس میکروکلیما عوامل بسیار دیگری همچون نوع پوشش گیاهی، نوع جنس خاک، جهت شیب و غیره نیز دخالت دارند که در این مقیاس امکان دخالت دادن آنها در این مدلسازی وجود نداشته است. نکته دیگری که در این مدلسازی بسیار به چشم می‌آید فاصله زیاد ضریب تبیین دو شاخص تاریخ وقوع اولین روز یخندهان و تاریخ وقوع آخرین روز یخندهان است. برای اولین روز یخندهان ضریب تبیین ۹۵ و برای آخرین روز یخندهان ۷۲ درصد است. به نظر می‌رسد که عوامل دیگری به غیر از سه عامل ذکر شده در تغییرپذیری تاریخ وقوع آخرین روز یخندهان‌ها نقش دارند. لذا می‌توان بر اساس مطالعات نوحی و همکاران در سال ۲۰۰۷ و نوحی و همکاران در سال ۲۰۰۹ و علیجانی و همکاران در سال ۲۰۱۴ استنباط نمود که یخندهان‌های انتهایی فصل سرما می‌توانند بیشتر از نوع یخندهان‌های فرارفتی باشند. به عبارت دیگر نقش علل همدیدی در وقوع آخرین روزهای یخندهان و تغییرپذیری‌های آن می‌تواند یک نقش پررنگ تری داشته باشند. اما آرایش فضایی شاخص‌های مختلف یخندهان در استان کردستان نشان از یک آرایش غربی به شرقی در مقادیر شاخص‌های مختلف یخندهان دارد. یعنی هر چه از جانب غرب به سمت شرق حرکت می‌کنیم تعداد فراوانی روزهای یخندهان و همچنین طول دوره یخندهان کاهش پیدا می‌کند و متعاقب آن فصل رشد افزایش پیدا می‌کند. متناسب با این تغییرات وقوع اولین روز و آخرین روز یخندهان نیز با تأخیرهای زیادی در بین نیمه شرقی و غربی این استان قابل مشاهده است. هر چند در این بین استثنایی نیز وجود دارد که این آرایش را می‌تواند بر هم بزند مانند مناطق دره‌های جنوب غرب استان به مرکزیت روستای سلیمان که به دلیل شرایط خاص توپوگرافی منطقه یکی از گرمترین نقاط استان به شمار می‌رود. در نهایت مقایسه نقشه‌های حاصل از این الگوریتم نشان داد که این روش می‌تواند جزئیات بیشتر و دقیق تری از شاخص‌های یخندهان در مقام مقایسه با پهنه‌بندی‌هایی که تنها از داده‌های ایستگاهی استفاده کرده‌اند (میان آبادی و همکاران، ۱۳۸۸، مجرد قره باغ، ۱۳۷۷، ضیائی و همکاران، ۱۳۸۵) ارائه نماید. بنابراین برای تحقیقات آینده پیشنهاد می

گردد که این پهنه بندی در سطوح احتمالاتی مختلف و برای دوره بازگشت‌های مختلف نیز تهیه گردد.



## منابع

- بشیریان، ف.، یزدان پناه، ح.، مجد برزکی، م.، (۱۳۹۶)، تجزیه و تحلیل آماری یخندهان های کشاورزی شهر کاشان. نشریه نیوار، شماره ۹۹، صص ۴۸-۳۷.
- خسروی، م.، جبیبی نوخدان، م.، اسماعیلی، ر.، (۱۳۸۷)، پهنه بندی اثر خطر سرمآذگی دیررس بر روی باغات مطالعه ای موردی: شهرستان مهولات. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، دوره ۶، شماره ۱۲، ۱۴۵-۱۶۲.
- دارائی، م.، محمودی، پ.، ساری صراف، ب.، خورشید دوست، ع. م.، (۱۳۹۷)، تعیین تابع توزیع احتمالاتی یخندهان های ایران طی ۱۹۸۱-۲۰۱۰. *نشریه تحقیقات کاربردی در علوم جغرافیایی*، سال هجدهم، شماره ۵۰، صص ۱۵-۱.
- علیجانی، ب.، محمودی، پ.، ریگی چاهی، ا.، خسروی، پ.، (۱۳۸۹)، بررسی تداوم روزهای یخندهان در ایران، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۲۰، ۷۳.
- علیجانی، ب.، محمودی، پ.، کلیم، د. م.، (۱۳۹۵)، اقلیم شناسی روزهای ذوب-یخندهان ایران. *فضای جغرافیایی*، سال ۱۶، شماره پیاپی ۶، صص ۱۹-۳۲.
- علیجانی، ب.، محمودی، پ.، کلیم دوست، م.، (۱۳۹۲)، رهیافتی جدید جهت تعیین طول دوره رشد بالقوه در ایران. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۷، شماره ۵، ۸۷۱-۸۶۱.
- علیرضا، ض.، کامگار حقیقی، ع.، سپاسخواه، ع.، رنجبر، س.، (۱۳۸۵)، تعیین اطلس احتمال وقوع حداقل دمای استان فارس با استفاده از آمار هواشناسی *مجله علوم آب و خاک*، دوره ۱۰، شماره ۳، ۱۳-۲۷.
- علیزاده، ا.، (۱۳۹۵)، *اصول هیدرولوژی کاربردی*، ویراست هفتم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۶۳۴.
- لشکری، ح.، کیخسروی، ق.، (۱۳۹۶)، روند تغییرات دمایی و پهنه بندی آغاز و پایان یخندهان شهر تهران. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، شماره ۱۴، صص ۸۶-۶۳.

- مجرد قره باغ، ف.، (۱۳۷۶)، تحلیل و پیش‌بینی یخندهان در آذربایجان. رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۶.

- محمودی پ.، علیجانی، ب.، (۱۳۹۲)، مدل بنده رابطه بارش‌های سالانه و فصلی با عوامل زمین اقلیم در کردستان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی دوره ۱۳، شماره ۳۱، ۱۱۲-۹۳.

- محمودی، پ.، خسروی، م.، مسعودیان، س، ا.، علیجانی، ب.، (۱۳۹۲)، اطلس اقلیم شناسی ویژگی‌های آماری یخندهان‌های ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۸، شماره ۴، ۵۵-۶۶.

- میان آبادی، آ.، موسوی بایگی، م.، ثنایی نژاد، ح.، نظامی، ا.، (۱۳۸۸)، بررسی و پنهانه بنده یخندهان‌های زود هنگام پاییزه، دیر هنگام بهاره و زمستانه با استفاده از GIS در استان خراسان رضوی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۳، شماره ۱، ۹۰-۷۹.

- نوحی، ک.، صحرائیان، ف.، پدرام، م.، صداقت کردار، ع.، (۱۳۸۷)، تعیین طول دوره بدون یخندهان با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخندهان فرارفتی و تابشی در نواحی زنجان، قزوین و تهران. مجله علوم آب و خاک، دوره ۱۲، شماره ۴۶، ۴۴۹-۴۶۰.

- Avissar, R., Mahrer, Y. 1988 a. Mapping frost-sensitive areas with a three-dimensional local-scale numerical model: Part I: physical and numerical aspects. Journal of Applied Meteorology, 27: 400-413.

- Avissar, R., Mahrer, Y. 1988 b. Mapping frost-sensitive areas with a three-dimensional local-scale numerical model: Part II: comparison with observation. Journal of Applied Meteorology, 27: 414-42.

- Bamler, R. 1999. The SRTM Mission: A world-wide 30 m resolution DEM from SAR interferometry in 11 days. Photogrammetric week 99. D. Fritsch and R. Spiller, Eds. Wichmann Verlag, Heidelberg.

- Boer, R., Campbell, L. C., Fletcher, D. J. 1993. Characteristics of frost in a major wheat – growing region of Australia. Australian journal of agricultural research, 44(8): 1731-1743.

- Chen, E., Allen, L. H., Bartholich, J. F., Bill, R. G., Sutherland, R. A. 1976. Satellite- sensed winter nocturnal temperature patterns of the Everglades agricultural area. J. Appl. Meteor., 18: 992-1002.



- Dalezios, N. R., Lavrediadou, E. E. 1995. Features of frost – affected areas from digital METEOSAT IR images. *Advances Space Research*, 15(11): 123-126.
- Figuerola, P. I., Mazzeo, N. A. 1997. An analytical model for the prediction of nocturnal and dawn surface temperature under calm, clear sky conditions. *Agricultural and forest meteorology*, 85: 229-237.
- Francois, C., Bosseno, R., Vacher, J. J., Seguin, B. 1999. Frost risk mapping derived from satellite and surface data over the Bolivian Altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology*, 95: 113-1137.
- Geiger, R. 1966. *The climate near the ground*. Harvard University press, Cambridge, MA, 611 pp.
- Habibi Nokhandan, M. 2005. Climate and safety of high mountains of Iran (case study of the roads of Haraz and Firouzkoh), Ph.D., Physical geography - Climatology, Faculty of Geography, University of Tehran. [In Farsi]
- Hogg, W. H. 1966. Air frost in spring at long Ashton. *Rep. Long Ashton Res. Stn.*, 1965: 290-298.
- Hogg, W. H. 1968: The duration of spring frosts on successive nights. *Agric. Mem. No. 208*.
- Jarvis, C. H., Stuart, N. 2000a. A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum daily air temperatures, part I: The selection of “guiding” topographic and land cover variables. *Journal of Applied Meteorology* 40(6): 1060-1074.
- Jarvis, C. H., Stuart, N. 2000b. A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum daily air temperatures, part II: The Interaction between the number of guiding variables and the type of interpolation method. *Journal of Applied Meteorology* 40(6): 1075-1084.
- Jurgens, C. 1997. The modified normalized difference vegetation index (mNDVI) a new index to determine frost damage in agriculture based on Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 18(17): 3583-3594.
- Kerdiles, H., Grodona, M., Rodriguez, R., Seguin, B. 1996. Frost mapping using NOAA AVHHR data in the Pampean region, Argentina. *Agricultural and forest meteorology*, 79: 157-182.

- Laughlin, G. P. 1982. Minimum temperature and lapse rate in complex terrain: influencing factors and prediction. *Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology*, Ser. B, 30: 141-152.
- Laughlin, G. P., Kalma, J. D. 1987. Frost hazard assessment from local weather and terrain data. *Agricultural and forest meteorology*, 40: 1-16.
- Laughlin, G. P., Kalma, J. D. 1990. Frost risk mapping for landscape planning: a methodology. *Theoretical and Applied climatology*, 42: 41-51.
- Lindkvist, L., Gustavsson, T., Bogren, J. 2000. A frost assessment method for mountainous areas. *Agricultural and forest meteorology*, 102: 51-67.
- Lomas, J., Gat, Z. 1971. Methods in agrotopoclimatic surveys low temperatures. *Agron. Rep. No 1*, Israel Meteorological Service, Bet-Dagan.
- Madelin, M., Beltrando, G. 2005. Spatial interpolation – based mapping of the spring frost hazard in the Champagne vineyards. *Meteorological applications*, 12(1): 51-56.
- Mahmoudi, P. 2014. Mapping Statistical Characteristics of Frosts in Iran. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(2): 175-180.
- Nixon, P. R., Hales, T. A. 1975. Observing cold-night temperatures of agriculture landscapes with an airplane-mounted radiation thermometer. *Journal of Applied Climatology*, 14 (4): 498-505.
- Noohi, K., Pedram, M., Sahraian, F., Kamali, G. A. 2007. Analysis of First Fall and Last Spring Advection and Radiation-Advection Frosts in Azerbaijan Provinces. *Pajouhesh and Sazandegi*, 20 (2): 78-85. [In Farsi]
- Richards, K. 2000. The topoclimate south project to map long-term growing degree-days in Southland, New Zealand. Presented at: SIRC 2000 – The 12th annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre. University of Otago, New Zealand.
- Richards, K., Baumgarter, M. 2003. Towards topoclimate maps of frost and frost risk for southland, New Zealand. Presented at: SIRC 2003 – The 15th annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre. University of Otago, New Zealand.
- Rosenberg, N. J., Myers, R. E. 1962. The nature of growing season frosts in and along the Platte Valley of Nebraska. *Monthly weather review*, 90 (11): 471-476.



- Schmidlin, T. W. 1986. Freeze-thaw days in the northeastern United States. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26 (1): 142-155.
- Sutherland, R.A., Bartholic, J. F. 1974. Aircraft-mounted thermal scanner to determine grove temperatures during freeze conditions. *Proc. Florida State Hort. Soc.*, 87: 65-69.
- Sutherland, R.A., Hannah, H. E., Cook, A. F., Martsolf, J. D. 1981. Remote sensing of thermal radiation from an aircraft- An analysis and evaluation of crop-freeze protection methods. *J. Appl. Meteor.*, 20: 813-820.
- Suzuki, Y., Sato, S., Kawajiri, K. 1982. Frost damage and cold damage related to topographic climates in the warm region of Japan. Pt. 1, Distribution of Maximum air temperatures on the slopes of Ube-Ono tea garden, Yamaguchi. *J. Agric. Meteor.* 20: 813-820.
- Thom, H. C. S., Shaw, R. H. 1958. Climatological analysis of freeze data for Iowa. *Monthly weather review*, 86(7): 251-257.
- Watkins, C. 1991. The annual period of freezing temperatures in central England: 1850-1989. *International journal of climatology*, 11(8): 889-896.
- Waylen, P. R. 1988. Statistical analysis of freezing temperatures in central and southern Florida. *International Journal of climatology*, 8 (6): 607-628.
- Zinoni, F., Antolini, G., Campisi, T., Marleto, V., Rossi, F. 2002. Characterizations of Emilia-Romagna region in relation with late frost risk. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27: 1091-1101.