Journal of the Nivar Vol. 47, No. 120-121, Spring and Summer 2023, P. 105-126
Homepage: https://nivar.irimo.ir (Research Article)

A systematic review of research on late spring frost and its estimation methods

Abdollahi Fouzi, M.[1] | Bakhtiari, B.[2] ✉ | Qaderi, K.[3]

1. M. Sc. student in Water Resource Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: en.m.abdollahif@gmail.com
2. **Corresponding author,** Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: drbakhtiari@uk.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: kouroshqaderi@uk.ac.ir

(Received: 7 Jan 2023, Revised: 11 Jul 2023, Accepted: 3 Sep 2023, Published online: 3 Sep 2023)

Abstract
Spring frost is considered an important threat to agricultural products in high and middle latitudes. The aim of this study is to find the answers to these questions. "How does a late spring frost affect agricultural crops?" and "What methods have been used in estimating late spring frost?" Several articles were collected from Web of Science, Scopus, Science Direct, Pub Med, Research Gate and Google Scholar search engine, SID, Iran Doc, Magiran, and Si explore the databases until January 2023. In order to find relevant publications, "Frost", "Spring Frost", "Minimum temperature", "Late Frost" and "Late Spring Frost" were used as the keywords. After evaluating the articles, 78 articles were selected. Recent researchs have shown that 53.89% of the articles were related to damage inflicted by late spring frost and 53.89% were related to the estimation of late spring frost. 48% of that were published in Asia. Most articles were published in Iran and other parts of the world in 2014 and 2018, respectively. The words "Frost Damage", "Phenology", "Climate Change" and "Frost Spring" appeared as the most frequent keywords. In addition, the results showed that the damage caused by the LSFs (Late Spring Frosts) significantly affects vulnerable plant organs markedly affects. Late-spring frosts occurring after the germination of herbaceous plants and trees have an important impact on agriculture and forestry in regions of the world. This event has caused more economic losses to agriculture than any other climatic hazard in Asia, North America, and Europe. However, the severity of damage due to LSF may be amplified by climate change. Also, in recent researches, the late spring frost estimation with the new data-driven methods and the investigation of temperature fluctuations on strategic products have been less discussed.

Keywords: Cold estimation, Frost damage, Minimum temperature, Phenology, Spring frost, Systematic review.

Cite this article: Abdollahi Fuzi, M., Bakhtiari, B., & Qaderi, K. (2023). A systematic review of research on late spring frost and its estimation methods. Journal of the Nivar, 47(120-121), 105-126. DOI: https://doi.org/10.30467/nivar.2023.379316.1235

CC BY

Publisher: Iran Meteorological Organization
DOI: https://doi.org/10.30467/nivar.2023.379316.1235
Print ISSN: 1735-0565
Online ISSN: 2645-3347

نیوار
دوره ۴۷، شماره ۱۲۰-۱۲۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحه ۱۰۵-۱۲۶
نشانی اینترنتی مجله:https://nivar.irimo.ir
(مقاله پژوهشی)

مرور سیستماتیک تحقیقات مرتبط با سرمای دیررس بهاره و روش های برآورد آن

مبینا عبدالهی فوزی [۱] | بهرام بختیاری [۲] ✉ | کورش قادری [۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: en.m.abdollahif@gmail.com
۲. **نویسنده مسئول**، دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: drbakhtiari@uk.ac.ir
۳. دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: kouroshqaderi@uk.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲)

چکیده

سرمازدگی بهاره تهدید مهمی برای محصولات کشاورزی در عرض‌های جغرافیایی بالا و میانه محسوب می‌شود. هدف از این مطالعه، یافتن پاسخ به این سؤالات است."یخبندان دیررس بهاره چه تأثیری بر محصولات کشاورزی دارد؟" و "چه روش‌هایی در برآورد سرمای دیررس بهاره استفاده شده است؟" مقالات متعددی تا ژانویه ۲۰۲۳ از پایگاه‌های اطلاعاتی Web of Science، Scopus، Science Direct، Pub Med، Research Gate و Google Scholar search engine، SID، Iran Doc، Magiran و Si explore جمع‌آوری شد. جهت دستیابی به نشریات مربوطه از کلیدواژه‌های "Frost Spring"، "Minimum temperature"، " Late Frost " و "Late Spring Frost" استفاده شد. پس از ارزیابی مقالات، ۷۸ مقاله انتخاب شد. تحقیقات اخیر نشان داده است که ۵۳/۸۹ درصد از مقالات مربوط به خسارت ناشی از سرمازدگی دیررس بهاره و ۵۳/۸۹ درصد مربوط به برآورد سرمای دیررس بهاره بوده است. ۴۸ درصد از مقالات در آسیا منتشر شده است. بیشترین تعداد مقاله در ایران در سال ۱۳۹۳ و در سایر نقاط جهان در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است. واژه‌های"Frost Damage"، "Phenology"، "Climate Change" و" Frost Spring" به‌عنوان متداول‌ترین کلیدواژه‌ها ظاهر شدند. به‌علاوه، نتایج نشان داد که آسیب ناشی ازسرماهای دیررس بهاره بر اندام‌های آسیب پذیر گیاه به طور قابل توجهی تأثیر می‌گذارد. سرماهای دیررس بهاره که پس از جوانه زنی گیاهان علفی و درختان رخ می‌دهد تأثیر مهمی بر کشاورزی و جنگل‌داری در مناطق مختلف جهان دارد. این رویداد در آسیا، آمریکای شمالی و اروپا بیش از سایر مخاطرات مرتبط با آب و هوا باعث زیان اقتصادی به کشاورزی شده است. با این حال شدت آسیب ناشی از سرمای دیررس بهاره ممکن است با تغییرات اقلیمی تشدید شود. همچنین در تحقیقات اخیر کمتر به برآورد سرمای دیررس بهاره با روش‌های جدید داده‌محور و بررسی نوسانات دمایی بر روی محصولات استراتژیک پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: برآورد سرما، خسارت سرمازدگی، دمای کمینه، سرمازدگی بهاره، فنولوژی، مرور سیستماتیک.

۱. مقدمه

سرمازدگی بهاره زمانی رخ می‌دهد که گیاه در دمای کمتر از دمای بحرانی به مدت زیادی قرارگیرد و رشد آن متوقف شود. در این حالت به بافت و اندام‌های گیاهی آسیب جدی وارد می‌شود. سرمازدگی علاوه بر کاهش محصول در شرایط حاد باعث از بین رفتن گیاه می‌شود (میراندا و همکاران، ۲۰۱۹). آسیب حاصل از سرما و دمای پایین زمانی اتفاق می‌افتد که یخ در داخل بافت گیاه شکل می‌گیرد و به سلول‌های گیاهی آسیب می‌رساند و ممکن است منجر به مرگ سلولی شود (چن و لی، ۲۰۰۲). اندام‌های حساس گیاهان مانند برگ و گل بیشتر در معرض خطر سرمازدگی بهاره قرار می‌گیرند (زونر و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر آن درختان نیز در هنگام جوانه‌زنی و پیدایش برگ نسبت به سرمای دیررس بهاره حساس هستند (بایگلر و باگمن، ۲۰۱۸؛

استناد: عبدالهی فوزی، مبینا؛ بختیاری، بهرام؛ قادری، کوروش (۱۴۰۲)، مرور سیستماتیک تحقیقات مرتبط با سرمای دیررس بهاره و روش های برآورد آن، مجله نیوار، ۴۷ (۱۲۰-۱۲۱)، ۱۰۵- ۱۲۶. DOI: https://doi.org/10.30467/nivar.2023.379316.1235

ناشر: سازمان هواشناسی کشور.
DOI: https://doi.org/10.30467/nivar.2023.379316.1235

ویترا و همکاران، ۲۰۱۷). بالاترین سطح خسارت سرما و یخبندان از نظر فنولوژی در مرحله رشد و نمو جوانه‌های گل در درختان میوه رخ می‌دهد (رودریگو، ۲۰۰۰). بنابراین دمای پایین از حد بحرانی می‌تواند مشکلات مهمی در بخش کشاورزی ایجاد کند (شین و براوز، ۲۰۰۰). سرمازدگی و یخبندان را براساس زمان وقوع، تدام و شدت آنها می‌توان تقسیم‌بندی کرد (حجازی زاده و ناصرزاده، ۱۳۸۴).

سرمازدگی و یخبندان بر اساس زمان وقوع شامل سه گروه سرماهای زودرس پاییزه، سرمای زمستانه و سرمای‌دیررس‌بهاره است (میان آبادی و همکاران، ۱۳۸۸). در فصول زمستان سرما با شدت بیشتر ولی تأثیر کمتر بر روی گیاهان رخ می‌دهد. در پایان فصل سرما با توجه به تغییر فصل، نوسانات دمایی شدیدی اتفاق می‌افتد. برخی سال‌ها دمای هوا طی چند روز متوالی افزایش می‌یابد. این عمل باعث تحرک گیاهان چندساله و بیداری آنها از خواب زمستانی می‌شود. وقوع سرما و یخبندان بعد از این دوره باعث نابودی بافت‌های نورس گیاهان، جوانه و شکوفه درختان میوه می‌شود. این نوع سرما و یخبندان که معمولاً در فصل‌بهار و اواخرزمستان رخ می‌دهد به آخرین یخبندان و سرمای‌بهاره شهرت دارد و بیشترین خسارت را به بخش کشاورزی وارد می‌کند (قربانی و ولی‌زاده،۱۳۹۳). به عنوان مثال، خسارت ناشی از سرمازدگی‌بهاره در سال ۱۳۸۴ در باغات میوه حدود ۶۹۳۲۰ هکتار برآورد شده است که معادل از بین رفتن ۱۰۷۷۱۷۰ تن میوه می‌باشد (حسین نیا و همکاران، ۱۳۸۴). سرمای‌دیررس‌بهاره از مهم‌ترین علل کاهش عملکرد در باغات میوه می‌باشد (اشنایدر و دملو آبرو، ۲۰۰۵). سابقه تحقیق شامل تحقیقات انجام شده در ایران و سایر نقاط دنیا می‌باشد که در ادامه به آن پرداخته شده است.

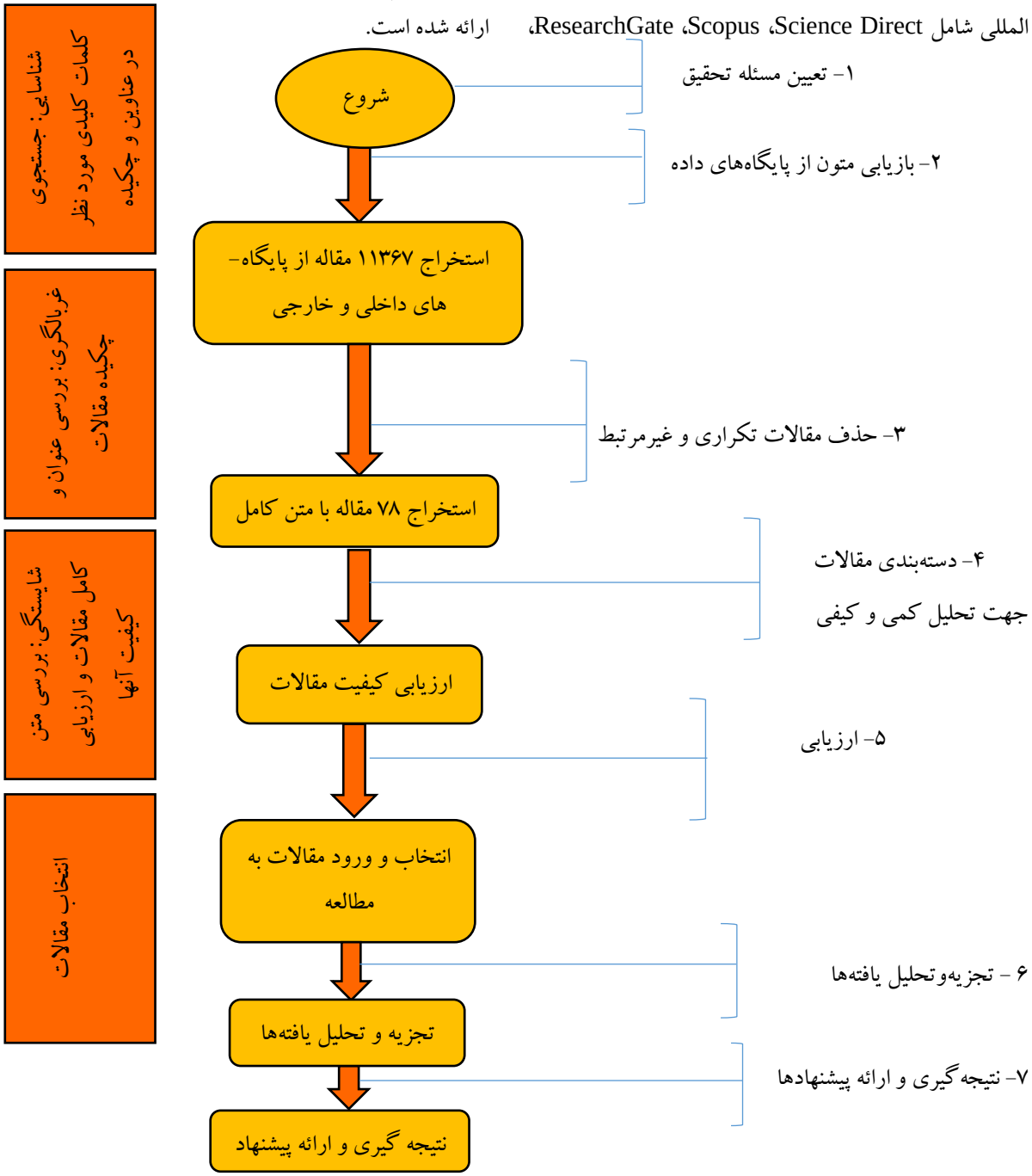
سمیعی و همکاران (۱۳۶۷) تاریخ شروع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره را با استفاده از داده‌های کمینه دما در ایران تخمین زدند. مجرد قره‌باغ (۱۳۷۶) در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های آماری مدل‌هایی برای پیش‌بینی یخبندان در آذربایجان ارائه کردند. خلجی (۱۳۸۰) با توزیع آماری به برآورد سرمای‌دیررس‌بهاره در تعدادی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهارمحال و بختیاری پرداخت. نتایج نشان داد روند تغییرات زمان وقوع آستانه مضر حرارتی با احتمال زیاد برای سرماهای‌دیررس‌بهاره در اوائل بهار و قبل از آن اتفاق می‌افتد. کمالی (۱۳۸۰) به بررسی سرماهای زیان‌بخش به کشاورزی در استان تهران در قالب معیارهای احتمالاتی پرداخت. نتایج نشان داد که تغییرات تاریخ وقوع اولین سرماهای پاییزه و آخرین سرماهای بهاره نسبت به احتمالات مختلف خطی است. مالکی- فرد و بیدختی (۱۳۸۲) با بررسی اثر انتشار امواج فروسرخ لایه سطحی و سرمایش شبانه در منطقه کویری جنوب خراسان به پیش‌بینی دمای کمینه جهت جلوگیری از سرمازدگی محصولات کشاورزی با دو مدل برونت و گروین پرداختند. نتایج آنها نشان داد مدل گروین عملکرد بالاتری نسبت به مدل برونت دارد. نوحی و همکاران (۱۳۸۷) به تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان‌های فرارفتی و تابشی در سه ایستگاه زنجان، قزوین و تهران پرداختند. نتایج نشان داد که سری‌های زمانی تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی تصادفی است و از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کند. محمدی و گزل‌خو (۱۳۸۹) به بررسی یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره با توابع توزیع احتمال برکشت غلات در کرج پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سرمای دیررس بهاره بر عملکرد محصولات تاثیر زیادی می‌گذارد اما سرمای زودرس پاییزه با وجود ایجاد تاخیر در رشد گیاه تاثیر چندانی بر عملکرد گیاه ندارد. میرموسوی و بابایی (۱۳۹۰) به مطالعه توزیع مکانی و زمانی احتمال وقوع یخبندان با توزیع‌های آماری در استان زنجان پرداختند. نتایج نشان داد که اولین یخبندان منطقه در فصل پاییز در مهرماه و آخرین یخبندان در بهار از فروردین تا اردیبهشت می‌باشد. انصاری و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی یخبندان‌های تابشی در مشهد با استفاده از داده‌های هواشناسی شامل دمای نقطه شبنم، دمای خشک دو ساعت بعد از غروب خورشید و دمای کمینه روز بعد با مدل رگرسیونی ساده پرداختند. نتایج آنها نشان داد مدل رگرسیونی دقت بالایی در پیش‌بینی یخبندان داشته است. اکبری مقدم و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی مدل تابشی فرارفتی در برآورد سرمایش شبانه در حوضه رفسنجان به این نتیجه رسیدند که در بیشتر روزهایی که عصر آنها دمای زیر ۹/۵ درجه سلسیوس دارد دمای هوای روز بعد به صفر درجه سلسیوس می‌رسد. میچالسکا (۱۹۸۶) با بررسی احتمال وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره در لهستان، تاریخ

کاشت ذرت در بهار را تعیین کرد. کوتر و لیدوک (۱۹۹۵) به بررسی سری‌های زمانی تاریخ وقوع یخبندان‌های بهاره و روند آنها در ایالات متحده آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد روند خطی منفی معنادار در آغاز وقوع یخبندان‌های بهاره وجود دارد. مادلین و بلتراندو (۲۰۰۵) پراکندگی مکانی یخبندان‌های دیررس بهاره و عوامل موثر بر آنها را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که طول و عرض جغرافیایی و توپوگرافی از عوامل موثر بر پراکندگی یخبندان‌های دیررس بهاره است. ریگبای و پورپوراتو (۲۰۰۸) به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر ریسک یخبندان بهاره یک مدل احتمالاتی ارائه کردند. نتایج نشان داد که ریسک وقوع یخبندان متاثر از افزایش دمای روزانه است. اکسل و همکاران (۲۰۰۹) ریسک یخبندان بهاره را برروی تولید سیب درختی تحت شرایط تغییراقلیم و سناریوهای انتشار در ایتالیا پرداختند. نتایج نشان داد در اثر افزایش گرمای جهانی، گلدهی زود هنگام در درختان میوه رخ می‌دهد. این شرایط باعث آسیب بیشتر به درختان در اثر سرما و یخبندان دیررس بهاره می‌شود. جیاردینا و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اثر شدت سرما بر جوانه‌زنی نهال نیشکر در آرژانتین پرداختند. نتایج نشان داد که سرمای شدید به گونه‌های مختلف نیشکر آسیب می‌زند و موجب از بین رفتن جوانه‌های آنها می‌شود. الوود و همکاران (۲۰۱۴) زمان گلدهی میوه را تحت شرایط تغییر اقلیم در ماساچوست بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش دما تا ۱ درجه سلسیوس در اثر تغییرات اقلیمی زمان گلدهی درختان میوه ۲ روز جلوتر رخ می‌دهد. پوتاپ و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی رخداد یخبندان‌های بهاره در جمهوری چک پرداختند. نتایج نشان داد این یخبندان‌ها در دوره مطالعاتی ۲ روز زودتر از موعد در هر دهه رخ می‌دهد. لی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود به مدلسازی آماری با روش رگرسیون لجستیک و درخت تصمیم پرداختند. نتایج آنها نشان داد که دقت روش درخت تصمیم بالاتر از روش رگرسیون لجستیک در مدلسازی بوده است. داماتا و رامالهو (۲۰۰۶) در تحقیقی به بررسی مزارع آسیب دیده از سرمازدگی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که حدود سه سال طول می‌کشد تا ضرور و زیان آن بازیابی شود و این خسارت بزرگی برای کشاورزان خواهد بود. آسیب‌پذیری ناشی از امواج سرد برای گیاهانی که پس از یک دوره گرم به سرعت رشد کردند در حال افزایش است و پیش‌بینی یخبندان مشکل است. بنابراین باید تلاش‌ها در این زمینه افزایش پیدا کند (کیم و همکاران، ۲۰۲۲). وقوع سرمای دیررس بهاره در طی سال‌های اخیر و خسارات قابل توجه ناشی از آن در محصولات باغی، زراعی، درختان جنگلی و اهمیت این موضوع در بخش‌های مختلف نظیرکشاورزی، حمل و نقل جاده‌ای و شهری نیازمند مرور منظم و بررسی خلاء موجود در تحقیقات اخیر می‌باشد. علاوه بر آن مطالعه سرمای دیررس بهاره از آن جهت حائز اهمیت است که بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی از جمله زمان گل‌دهی درختان میوه مصاف با زمان وقوع سرمای دیررس بهاره می‌باشد. از این‌رو هر گونه مطالعه در این زمینه جهت کاهش خسارت ناشی از سرمای دیررس بهاره به محصولات کشاورزی مفید می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف مرور سیستماتیک به بررسی تاثیر سرمای دیررس بهاره بر عملکرد محصولات باغی و زراعی و بررسی روش‌های برآورد دمای کمینه جهت تعیین سرما و یخبندان و یافتن شکاف‌های تحقیقاتی می‌پردازد.

روش‌شناسی

مطالعه حاضر به روش مرور سیستماتیک، از فرآیند پیشنهادشده در دستنامه کوکران انجام شده است (هیگینز و گرین، ۲۰۱۱). این مرور جستجوی یافته‌هایی است که براساس قوانین از پیش‌تعیین‌شده انجام می‌شود (خسروی و پورنقی، ۱۳۹۸). همچنین این روش با یافتن پژوهش‌های مرتبط با مسئله موردنظر، ترکیب آنها، خلاصه‌سازی مطالعات و به‌روزرسانی اطلاعات امکان ایجاد مقایسه و تحلیل کمی و کیفی نتایج را فراهم می‌کند (پورنقی، ۱۳۹۶). مرور سیستماتیک روشی برای یافتن پاسخ به سوال پژوهش است و به موضوعات مبهم خاتمه می‌دهد (استرچ و همکاران، ۲۰۱۲). این پژوهش بر اساس رویکرد هفت مرحله‌ای شامل تعیین مسئله مورد نظر، تعیین معیارهای ورود، جستجوی مطالعات، غربالگری و انتخاب مطالعات، ارزیابی و کیفیت مطالعات، استخراج داده‌ها و تجزیه و تحلیل آنها استفاده شده‌است (هندرسان و همکاران، ۲۰۱۰). مسئله مورد نظر این پژوهش تاثیر سرمای دیررس بهاره بر عملکرد محصولات باغی و زراعی، بررسی روش‌های برآورد آن و یافتن خلاءهای موجود در مطالعات انجام شده در این زمینه است. معیارهای ورود

مقالات به این مطالعه، مقالاتی بودند که به متن کامل آنها دسترسی داشته و مرتبط با موضوع سرمای دیررس بهاره، روش-های برآورد دمای کمینه و یخبندان بوده است. علاوه بر آن مقالات انتخاب شده در همایش‌ها و مجلات علمی پژوهشی معتبر چاپ شده بودند. در این مطالعه مقالات منتشر شده از ابتدای ژانویه سال ۱۹۵۴ تا ۳۰ ژانویه سال ۲۰۲۳ در پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی شامل Magiran, Si Explore، IranDoc ، SID و موتور جستجوی گوگل و پایگاه‌های اطلاعاتی بین-المللی شامل Science Direct، Scopus، ResearchGate، Pub Med، Web of Science و موتور جستجوی Google Scholar جستجو شد. به‌منظور جامع بودن اطلاعات دریافتی از کلمات کلیدی دمای کمینه، سرمازدگی بهاره، یخبندان دیررس و سرمای دیررس بهاره استفاده شد. جستجو از طریق اینترنت با بررسی پژوهش‌های انجام شده در ایران و سایر نقاط دنیا با استفاده از عملگرهای AND و OR به‌صورت ترکیبی صورت گرفت. مراحل انتخاب مقالات طبق نمودار جریانی پریزما و مراحل انجام مرور سیستماتیک به صورت ترکیبی در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- فلوچارت روند انتخاب مقالات (PRISMA) و روش انجام کار مرور سیستماتیک طبق دستنامه کوکران

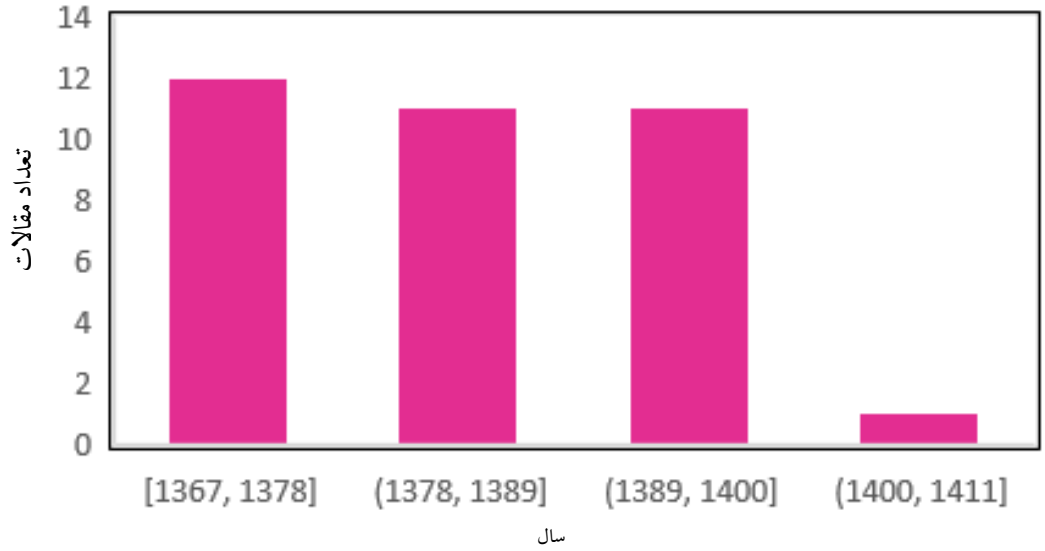
در ابتدا ۱۱۳۶۷ مورد مقاله از پایگاه‌های مختلف داده جمع‌آوری شد. در مرحله بعد مقالات تکراری و غیرمرتبط با موضوع موردمطالعه حذف شدند. پس از بررسی و ارزیابی کیفیت مقالات دریافتی و مطالعه متن مقالات، ۷۸ مقاله انتخاب و وارد مطالعه شد. پس از بررسی مقالات و غربالگری آنها به شرح نتایج حاصل از مطالعات پرداخته شد. غربالگری به روش هندرسان و سیمونز انجام شده است. فرآیند غربالگری شامل مطالعه متن کامل مقاله، بررسی محور اصلی آن (محور اصلی مقاله باید مرتبط با موضوع مطالعه باشد.)، بررسی کیفیت روش کار جهت کاربردی‌بودن و تعمیم‌پذیری نتایج مطالعه به‌منظور استفاده در تحقیقات آتی بوده است (هندرسان، ۲۰۱۰ ; سیمونز، ۲۰۱۱). برای تجزیه و تحلیل یافته‌ها و نتایج حاصل از خلاصه‌سازی پژوهش‌های جمع‌آوری شده در یک مرور سیستماتیک از روش‌های آماری نظیر متاآنالیز(فراتحلیل) استفاده می‌شود. متاآنالیز با بهره‌گیری از روش‌های آماری در قالب یک مرور سیستماتیک با ترکیب و تلفیق نتایج حاصل از مطالعات مختلف صورت می‌گیرد. این روش در پیشبرد اهداف و تعیین روند کلی مطالعه بسیار موثر است (جیپریانی و همکاران، ۲۰۱۲). در این مطالعه جهت انجام متاآنالیز و تحلیل کمی و کیفی از نرم افزارهای Word (2016)، Excel (2016)، MindMapper 16 Arena، VOSviewer 1.6.18 و Graphpadprism8 استفاده شده است.

یافته‌ها

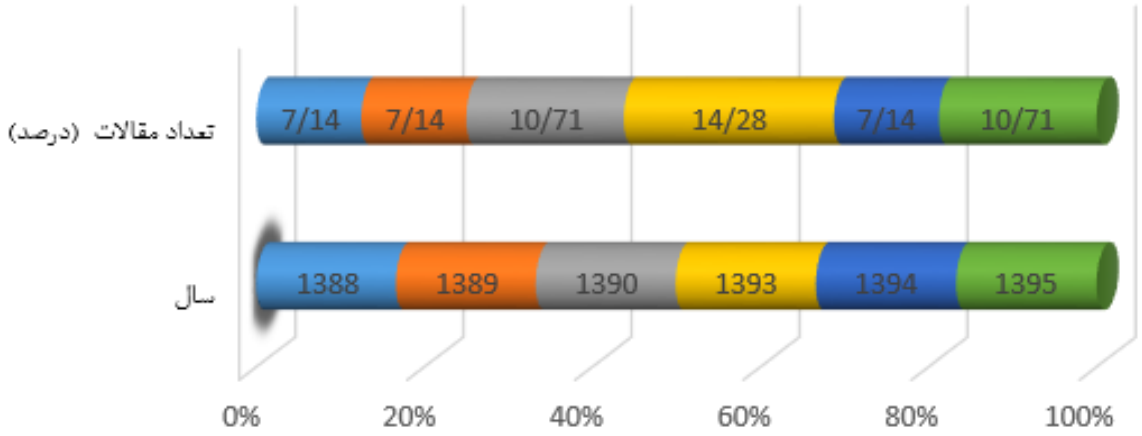
مقالات مورد بررسی در این مطالعه در شکل ۲ در چهار دسته کلی طبقه‌بندی شده است. ۳۵/۸۹ درصد از مقالات مورد بررسی به بحث خسارت و برآورد ریسک ناشی از سرمای دیررس بهاره و تأثیر آن بر عملکرد محصولات کشاورزی، ۳۵/۸۹ درصد از مقالات به برآورد و پایش سرمای دیررس بهاره با روش‌های مختلف، ۱۵/۳۸ درصد به بررسی روند و احتمال رخداد یخبندان دیررس بهاره و ۱۲/۸۲ درصد به تحلیل‌های سینوپتیکی و آماری سرمای دیررس بهاره اختصاص دارد.

شکل شماره ۲- نمودار Treemap جهت دسته‌بندی مقالات منتشر شده در زمینه سرمای دیررس بهاره (ترسیم توسط پژوهشگر)

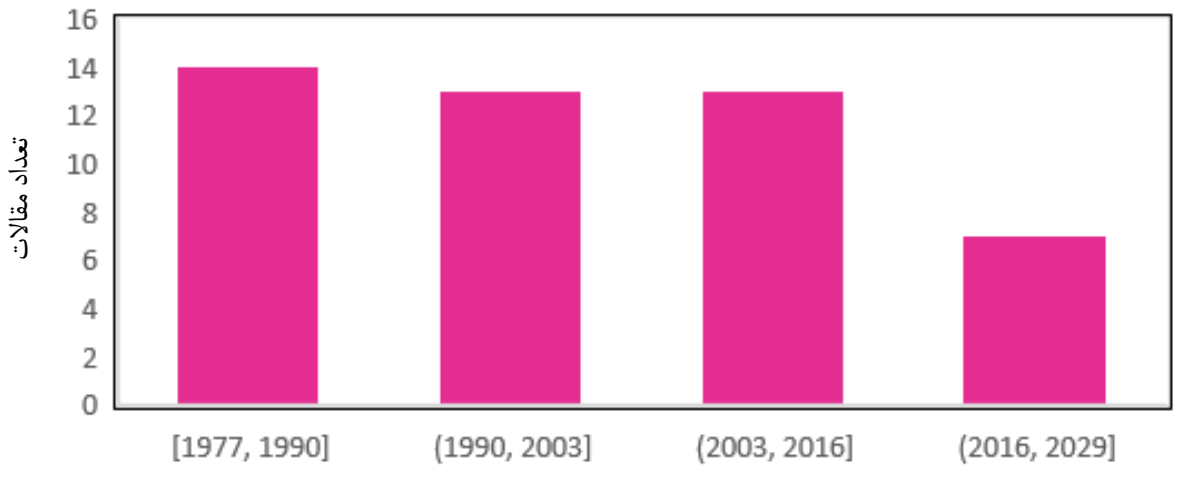
تحقیقات مورد بررسی در این مطالعه شامل ۷۶ مقاله علمی‌پژوهشی و ۲ مقاله مروری بودند. تعداد مقالات چاپ شده در طی سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۲۳ در شکل ۳ نشان داده شده است.



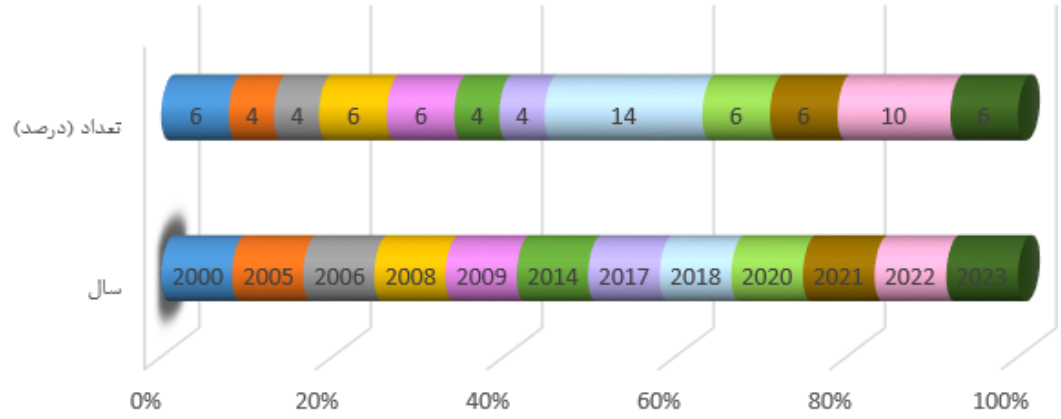
(الف)- نمایش تعداد مقالات چاپ شده در ایران



(ب)- نمایش تعداد مقالات چاپ شده در ایران



(پ)- نمایش تعداد مقالات چاپ شده در سایر نقاط دنیا

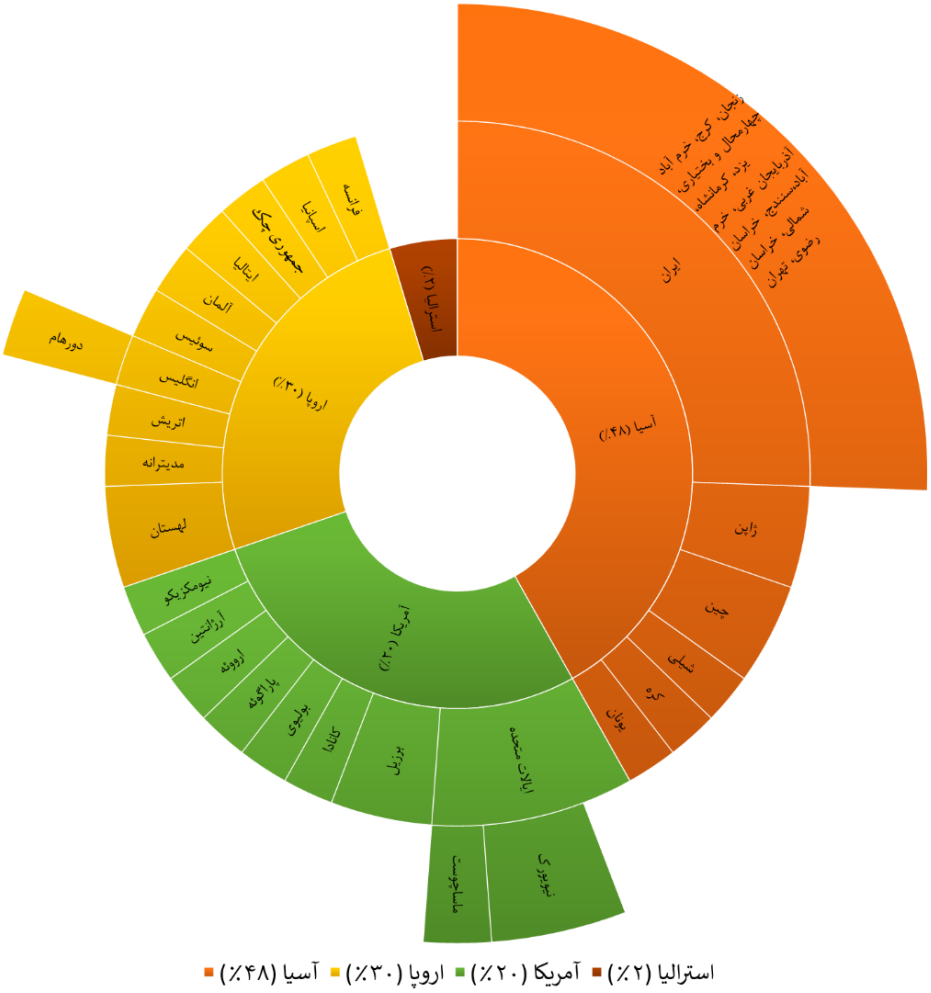


(ت)- نمایش تعداد مقالات چاپ شده در سایر نقاط دنیا

شکل ۳- نمایش تعداد مقالات چاپ شده طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۴۰۱ در ایران (الف)، نمایش انتشار بالاترین درصد چاپ مقاله در ایران در طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۴۰۱(ب)، نمایش تعداد مقالات چاپ شده طی سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۲۳ در سایر نقاط دنیا (پ)، نمایش انتشار بالاترین درصد چاپ مقاله در سایر نقاط دنیا در طی سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۲۳ (ت)، (ترسیم توسط پژوهشگر)

در شکل ۳ تعداد مقالات چاپ شده در زمینه سرمای دیررس بهاره و روش‌های برآورد آن در ایران و سایر نقاط دنیا نشان داده شده است. در شکل (الف) تعداد مقالات چاپ شده طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۴۰۱ در ایران نشان داده شده است. در شکل (ب) سال‌هایی که بیشترین تعداد چاپ مقالات در ایران را داشته است به‌صورت درصد نمایش داده شده است. هر رنگ مخصوص یک سال است و رنگ درصد انتشار مقالات نشان داده شده با رنگ سال انتشار یکسان است. هر چه اندازه آن رنگ بزرگ‌تر باشد، نشان دهنده‌ی این است که تعداد انتشار بالاتر بوده است. سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ بالاترین تعداد انتشار را در زمینه سرمای دیررس بهاره و روش‌های برآورد آن را به خود اختصاص داده است. در شکل (پ) تعداد مقالات چاپ شده طی سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۲۳ در سایر نقاط دنیا نشان داده شده است. در شکل (ت) بیشترین تعداد چاپ مقالات در سایر نقاط دنیا با رنگ مخصوص هر سال نشان داده شده است. سال ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ به ترتیب با ۱۴ و ۱۰ درصد بالاترین تعداد چاپ را به خود اختصاص داده‌اند. شکل (ب) و (ت) برای تعداد چاپ ۴ درصد به بالا ترسیم شده‌است.

تحقیقات بررسی شده در این مطالعه در سه قاره آسیا، اروپا و آمریکا بوده است که در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین تحقیقات مربوط به قاره آسیا با ۴۸ درصد و قاره اروپا با ۳۰ درصد و قاره آمریکا با ۲۰ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. تعدادی از مطالعات نیز به‌صورت گسترده و مشترک در قاره‌های آسیا، اروپا و آمریکا انجام گرفته است. بیشترین تحقیقات انجام شده در آسیا مربوط به کشور ایران بوده است. تعدادی از این تحقیقات به‌صورت کلی در سراسر ایران یا به‌صورت موردی در شهرهای مختلف انجام شده است. دیگر تحقیقات صورت‌گرفته در آسیا مربوط کشورهای چین، ژاپن و یونان، کره و شیلی بوده است. در قاره آمریکا نیز بیشترین تحقیقات مربوط به ایالات متحده و برزیل بوده است.



شکل ۵. نمایش تحقیقات صورت گرفته در ایران و سایر نقاط دنیا (ترسیم توسط پژوهشگر)

ماتریس سنتز تعدادی از تحقیقات مرتبط با سرمای دیررس بهاره و روش‌های برآورد آن طی سال‌های ۱۹۵۴-۲۰۲۳ (۱۹ مقاله در ایران و ۳۰ مقاله در سایر نقاط دنیا) در جدول ۱ ارائه شده است. از تعداد ۱۹ مقاله بررسی شده در ایران سه مقاله به زبان انگلیسی منتشر شده است. در این مطالعه جهت جامع بودن مطالعات مورد بررسی در زمینه برآورد سرما و یخبندان بهاره، علاوه بر برآورد سرما و یخبندان، روش‌های برآورد دمای کمینه و سرمازدگی بهاره نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۱، نام نویسندگان، سال انتشار مقاله، متغیرهای مورد بررسی، طرح مطالعاتی، منطقه مطالعاتی و نتایج شاخص به‌صورت خلاصه نشان داده شده است. تعداد متغیرهای مورد بررسی، داده‌هایی است که پژوهشگران در طرح مطالعاتی خود استفاده کرده‌اند. این متغیرها در طرح‌های تحلیلی با روش‌های آماری مورد بررسی قرار گرفته و در طرح‌هایی که به‌صورت برآوردی هستند به‌عنوان متغیر پیشگو مورداستفاده قرار گرفته‌اند تا نتایج حاصل از پژوهش مشخص شود. متغیرهای مورد بررسی در این طرح-های مطالعاتی شامل متغیرهای هواشناسی، اطلاعات مربوط به یخبندان و صفات فنولوژیک گیاهان موردمطالعه و در مواردی بررسی خسارت ناشی از سرمازدگی بوده است. بررسی مراحل رشد و صفات فنولوژیک گیاهان با روش‌های آزمایشگاهی یا اندازه‌گیری‌های میدانی به دست آمده است.

جدول ۱. ماتریس سنتز تحقیقات انجام شده در زمینه سرمای دیررس بهاره از سال ۱۹۵۴ تا ۲۰۲۲

ردیف	نویسندگان و سال انتشار	متغیرها	طرح مطالعاتی	منطقه مطالعاتی	نتایج شاخص
۱	خلجی، ۱۳۸۰	دما	تعیین دوره سرما و یخبندان با توزیع آماری	استان چهارمحال و بختیاری	وقوع آستانه‌ی حرارتی مضر در اوایل بهار و قبل از آن و در نیمه دوم پاییز
۲	طالبی، ۱۳۸۵	کمینه دما	طبقه‌بندی الگوهای سینوپتیک مسبب سرمای زودرس پاییزه و دیررس بهاره با استفاده از داده-های فشار سطح زمین و سطح پانصد هکتوپاسکال	استان یزد	تعیین اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره
۳	ورشاویان و همکاران، ۱۳۸۶	تعداد روزهای یخبندان	تعیین روند رخداد یخبندان‌های دیررس بهاره و زودرس پاییزه	ایران	کاهش تعداد روزهای یخبندان در تعدادی از ایستگاه‌ها – رشد و توسعه گیاه در شرایط عدم مواجه با یخبندان
۴	محمدی و گزل‌خو، ۱۳۸۹	دمای کمینه	تاثیر وقوع اولین و اخرین یخبندان در غلات	کرج	تاثیر مخرب یخبندان دیررس بهاره در مرحله خوشه‌دهی یا گلدهی
۵	انتظاری و همکاران، ۱۳۹۰	کمینه دما	استفاده از الگوریتم پس‌انتشار و چند تابع موجود در شبکه عصبی جهت پیش‌بینی یخبندان	استان کرمانشاه	عملکرد بالای شبکه عصبی MLP در تخمین یخبندان دیررس و زودرس
۶	ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۱	اولین روز یخبندان، حداقل مطلق دما، رطوبت نسبی، فشار متوسط آخرین روز یخبندان، فشار متوسط روز ماقبل آخر یخبندان و ابرناکی در آخرین روز یخبندان	تعیین آخرین روز یخبندان برای چند ایستگاه همدید هواشناسی بر اساس داده‌های روزانه یک دوره‌ی آماری بیست ساله با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی	شمال‌غرب و غرب ایران،	دقت بالای شبکه پس‌انتشار در پیش‌بینی آخرین روز یخبندان بهاری - آشکارشدن تأثیر عامل ارتفاع و توپوگرافی با وضوح بالا در طول فصل یخبندان
۷	دژم پور، ۱۳۹۲	بررسی خسارت در محصول زردالو و بادام	بررسی خسارت میوه	ایران	ایجاد خسارت در مرحله گلدهی و مکانیسم باروری در محصول بادام و زردآلو
۸	جامعی و همکاران، ۱۳۹۳	دمای کمینه	استفاده از شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی دمای کمینه و بررسی شاخص‌های عملکرد شبکه	آذربایجان غربی	توانایی قابل توجه مدل در پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان
۹	خلیلی، ۱۳۹۳	کمینه دمای روزانه	تعیین تاریخ آخرین وقوع سرمای بهاره در سال در ۱۳ آستانه دمایی استاندارد	ایران	گسترش نرم افزار AgroClimRisk جهت ارائه آماره‌های کمی ریسک در گستره‌های زراعی و باغی
۱۰	گودرزی و امیدزاده، ۱۳۹۴	دما، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و بارش	استفاده از توابع موجود در نرم-افزار MATLAB جهت پیش‌بینی دمای کمینه	خرم‌آباد	عملکرد خوب شبکه عصبی در پیش‌بینی دمای کمینه و سرمای دیررس بهاره
۱۱	سیدنژادگل‌خطمی و رضایی-پژند، ۱۳۹۴	دمای کمینه	تحلیل احتمال وقوع یخبندان دیررس و ارتباط آن با شاخص دمایی با روش آماری	خراسان رضوی	امکان محاسبه آخرین روز یخبندان بر اساس متوسط دمای کمینه
۱۲	خلیلی و همکاران، ۱۳۹۵	دمای کمینه	کمی‌سازی تغییرات یخبندان دیررس بهاره با مدل‌های گردش عمومی جو و روش ریزمقیاس نمایی آماری	ایران	تعیین معادلات توزیع فضایی ریسک و تاریخ رخداد یخبندان دیررس بهاره و تهیه نقشه آن

ردیف	نویسندگان و سال انتشار	متغیرها	طرح مطالعاتی	نتایج شاخص	نتایج شاخص

۱۳	آقاشریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۵	دمای کمینه	استخراج داده‌های دمای کمینه ۴۰ سال آینده با استفاده از نرم‌افزارSDSM	نیمه‌غربی ایران	تعیین اولین و آخرین یخبندان در سه آستانه دمایی
۱۴	بازگیر و همکاران، ۱۳۹۵	دمای کمینه روزانه	تحلیل مخاطره یخبندان و تداوم آن و سرمازدگی محصولات با روش آماری	آذربایجان‌غربی	تداوم یخبندان در ماه‌های آبان، اسفند و فروردین- آستانه خسارت‌زای یخبندان در دمای ۶- درجه سلسیوس و کمتر برای انگور در زمان برداشت- دمای ۶- درجه سلسیوس و کمتر برای سیب و گردو در زمان گل و برگ
۱۵	دارایی و همکاران، ۱۳۹۶	دما	شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر جابجایی زمان تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره با مدل‌های اقلیمی	ایران	جابه‌جایی اولین یخبندان پاییزه به سمت اوایل زمستان- جابه‌جایی آخرین یخبندان بهاره به سمت اواخر زمستان
۱۶	مسگری و همکاران، ۱۳۹۹	دمای خشک و تر، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد و پوشش ابر	پیش‌بینی دمای کمینه جهت تعیین یخبندانهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره با شبکه عصبی	سنندج	دقت بالای شبکه عصبی مدل MLP در پیش‌بینی دمای کمینه
۱۷	Davis, 1978	دمای کمینه	طبقه‌بندی توپوکلیمی نقشه خطر سرمای بهاره در میوه	کانادا	تعیین نقشه‌های سرمازدگی
۱۸	Scheifinger et al, 2003	دمای کمینه و صفات فنولوژیکی گیاه	بررسی روند رویدادهای یخبندان‌های بهاری در تاریخ- های فنولوژیکی	اروپای مرکزی	در معرض خطربودن گیاهان نسبت به سرمای بهاره در فازهای بعد از گرده‌افشانی
۱۹	Arpaci et al, 2006	دمای کمینه، صفات فنولوژیکی درخت پسته	بررسی مقاومت برخی از ارقام پسته نسبت به سرمای دیررس بهاره	ایران	آسیب به ارقام پسته در مرحله جوانه‌زنی، گلدهی و تشکیل میوه
۲۰	Tsipouridis et al, 2006	دما	تأثیر سیستم آبیاری بارانی بر دمای هوا و استفاده از مواد شیمیایی برای محافظت از درختان گیلاس و هلو در برابر سرمای اوایل بهار	یونان	استفاده از سیستم آبیاری بارانی جهت کاهش خسارتبه درختان در هنگام سرمازدگی – استفاده از برخی مواد شیمایی جهت تاخیر در گلدهی درختان میوه و گذر از سرما
۲۱	Rahimi et al, 2007	دمای کمینه	بررسی وقوع یخبندان دیررس بهاره در سه آستانه دمایی خفیف، متوسط و شدید با روش آماری	البرز	توزیع پیرسون نوع III مناسب‌ترین نوع توزیع بر داده‌های دمای کمینه
۲۲	Rigby and Porporato, 2008	دما و صفات فنولوژیکی گیاه	بررسی خطر سرمای بهاره تحت تاثیر تغییر اقلیم	دورهام- انگلیس	رخ دادن زودتر از موعد مرحله جوانه‌زنی در گیاه با تغییرات اقلیمی – آسیب به جوانه‌ها در هنگام وقوع سرمای دیررس بهاره
۲۳	Sallis et al, 2008	دما	پیش‌بینی یخبندان و طبقه‌بندی آن با استفاده از شبکه عصبی	آلمان	تاثیر زیاد جهت باد در طول دوره یخبندان
۲۴	Awaya et al, 2009	دما	بررسی خسارت در گونه‌ای از درختان	ژاپن	استفاده از سیستم آبیاری بارانی جهت کاهش خسارتبه درختان در هنگام سرمازدگی – استفاده از برخی مواد شیمایی جهت تاخیر در گلدهی درختان میوه و گذر از سرما

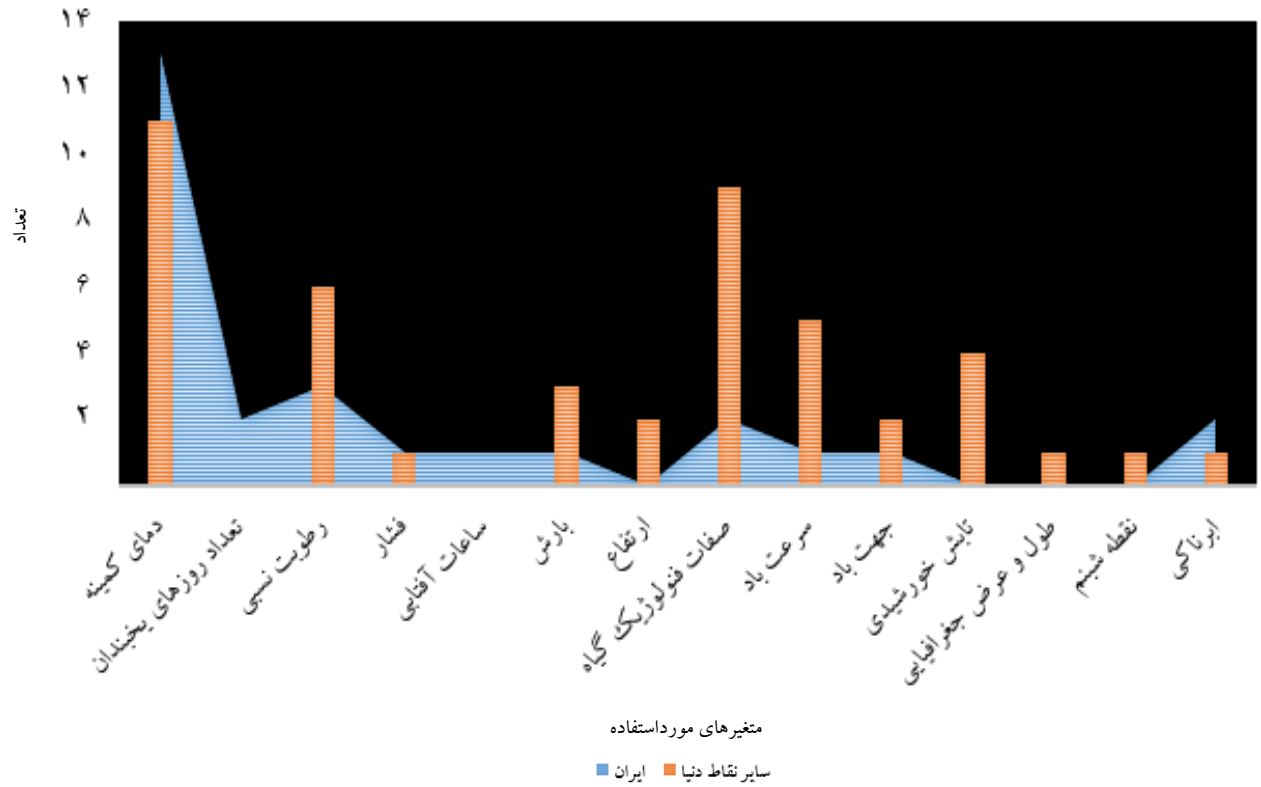
ادامه جدول ۱

ردیف	نویسندگان و سال انتشار	متغیرها	طرح مطالعاتی	نتایج شاخص	نتایج شاخص
۲۵	Hokam Abadi, 2010	-	بررسی خسارت سرمازدگی پسته	ایران	نابودی ۵۰ درصد پسته در چند سال اخیر در اثر سرمای دیررس بهاره
۲۶	Rodrigo , 2000	دما	بررسی تاثیر یخبندان بهاره بر روی درختان میوه	اسپانیا	آسیب غیر قابل برگشت به میوه‌ها در هنگام گلدهی و تشکیل میوه
۲۷	Menzal et al , 2015	عکس دیجیتال	بررسی الگوهای آسیب سرمای دیررس بهاره در درختان راش اروپایی	آلمان	آسیب برگ‌های بازشده در هنگام کاهش دما و از بین رفتن شاخ و برگ جدید
۲۸	Fuentes et al, 2017	دما، رطوبت نسبی، تابش، سرعت و جهت باد	بررسی کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شناسایی سرمازدگی با روش شبکه عصبی	شیلی	دقت بالای مدل ANN در پیش‌بینی پدیده سرمازدگی
۲۹	Vitasse et al, 2018	دما، ارتفاع	بررسی خطر سرمازدگی بهاره در محصولات با افزایش ارتفاع	سوئیس	افزایش سرمازدگی بهاره در درختان جنگلی و درختان میوه با افزایش ارتفاع
۳۰	Ma et al, 2018	دمای کمینه و صفات فنولوژیکی گیاه	بررسی روندهای آسیب سرمای دیررس بهاره به درختان	اروپا	متفاوت بودن درصد آسیب سرمازدگی در گونه‌ها بسته به موقعیت جغرافیایی
۳۱	Unterberger et al, 2018	دمای کمینه	بررسی خطر سرمای دیررس بهاره برای تولید سیب	اتریش	آسیب درختان سیب در مرحله گلدهی در اوایل بهار
۳۲	Xiao et al, 2018	دما و اطلاعات فنولوژیکی گیاه	برآورد سرمای دیررس بهاره و تاثیر آن بر عملکرد گندم	چین	خسارت شدید به محصول گندم در هنگام وقوع سرمای دیررس بهاره
۳۳	Nolè1 et al , 2018	-	بررسی تاثیر سرمای دیررس بهاره بر اکوسیستم جنگلی	منطقه مدیترانه	آسیب و کاهش تاج پوشش درختان در هنگام وقوع سرمای دیررس بهاره
۳۴	Leolini et al, 2018	دما	بررسی تاثیر سرمازدگی دیررس بهاره بر انگور	اروپا	ایجاد استرس به انگور در زمان گلدهی و کاهش کیفیت آن
۳۵	Ding et al, 2019	دما، رطوبت و تابش خورشیدی	بررسی احتمال وقوع یخبندان در آینده با SVM	ژاپن	تاثیر بالای عامل دما و رطوبت در وقوع یخبندان در دوره نسبتا طولانی
۳۶	Zohner et al, 2020	دمای هوا و صفات فنولوژیکی گیاهان	محاسبه مقادیر درجه روز رشد گیاه همراه با تحلیل دما و سرمای دیررس بهاره	اروپا و آسیا	تخمین افزایش خسارت ناشی از سرمازدگی دیررس در آینده در جنگل‌های معتدل اروپا و آسیا و کاهش خسارت در آمریکای شمالی
۳۷	Graczyk and Szwed, 2020	دمای کمینه	بررسی تغییرات وقوع یخبندان بهاری با روش‌های آماری	لهستان	احتمال وقوع یخبندان‌های بهاره زودتر یا دیرتر از موعد
۳۸	Cadenas et al, 2020	دمای کمینه	پیش‌بینی یخبندان در محصولات کشاورزی در چارچوب محاسبات نرم	اسپانیا	عملکرد خوب روش KNN-RegID در پیش‌بینی داده
۳۹	Diniz et al, 2021	طول و عرض جغرافیایی و توپوگرافی منطقه	پیش‌بینی وقوع یخبندان با استفاده از ویژگی‌های مکانی با روش‌های MLP، SVM و RF	برزیل	دقت بالای الگوریتم RF در پیش‌بینی وقوع یخبندان

ادامه جدول ۱

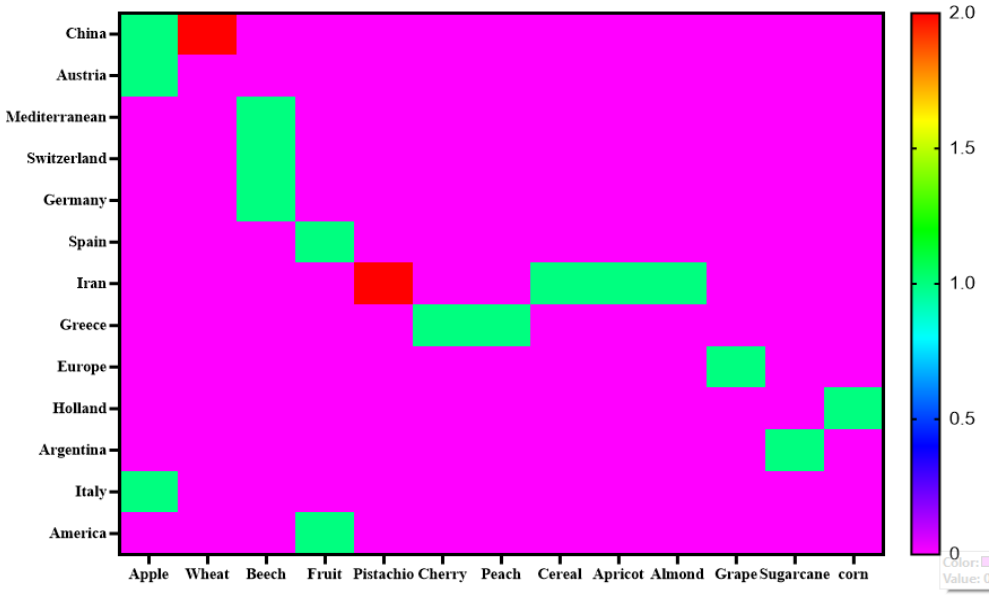
ردیف	نویسندگان و سال انتشار	متغیرها	طرح مطالعاتی	نتایج شاخص	نتایج شاخص
۴۰	Guo et al, 2021	دما	پایش و برآورد سرمازدگی دیررس بهاره و تاثیر آن بر گندم با تصاویر سنجش از دور	چین	کاهش عملکرد و خسارت شدید به گندم در هنگام وقوع یخبندان بهاره
۴۱	Djaman et al, 2021	دمای ساعتی و روزانه و اطلاعات فنولوژیکی درختان	استفاده از مدل‌های دینامیکی برای تخمین انباشت سرما و گرما	نیومکزیکو	آسیب‌پذیری درختان در هنگام جوانه‌زنی، گل‌دهی و تشکیل میوه در زمان وقوع سرمای دیررس بهاره
۴۲	Noh et al, 2021	بارندگی، سرعت باد، رطوبت و دما	پیش‌بینی یخبندان ساعتی با روش یادگیری ماشین (مدل های جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و روش رگرسیون لجستیک) و داده‌های تصویر دستگاه دیجیتال	کره	عملکرد خوب روشهای جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی سرما و یخبندان
۴۳	Drepper et al, 2022	-	بررسی سیستماتیک سرمازدگی بهاره در باغات	اروپا، ایالات متحده و آسیا	مقایس روش‌های موثر بر سرمازدگی
۴۴	Ru et al, 2022	دما و اطلاعات فنولوژیکی گیاه	بررسی خطرات سرمازدگی بهاره در محصول سیب با رویکرد مدلسازی اقلیمی تحت تاثیر تغییرات اقلیمی	چین	خسارت شدید به محصول سیب در فصل بهار در مرحله جوانه-زنی و تشکیل میوه
۴۵	Zhoa et al, 2022	دمای هوا، نقطه شبنم، رطوبت نسبی، سرعت باد، جهت باد	بررسی یخبندان دقیقه‌ای با روش شبکه‌های عصبی مکرر (مدل‌های RNN، LSTM، GRU)	استرالیا	عملکرد بالای مدل GRU در مقایسه با دیگر مدل‌ها
۴۶	Kim et al, 2022	دما، سرعت باد، رطوبت، ابرناکی، بارندگی و تابش خورشیدی	پیش‌بینی یخبندان با روش‌های یادگیری ماشین(الگوریتم XGBoost و Kmean)	کره	عملکرد خوب مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین
۴۷	Talsma et al, 2023	دما، بارش، سرعت باد، تابش خورشیدی، فشاربخار اشباع	پیش‌بینی یخبندان با روش شبکه شبکه عصبی عمیق (DNN)، روش شبکه عصبی کانالوشن (CNN) و مدل جنگل تصادفی (RF)	ایالات متحده	برتری مدل‌های RF و CNN نسبت به روش DNN
۴۸	Bagheri et al, 2023	دمای هوا، رطوبت نسبی هوا و نقطه شبنم	پیش بینی یخبندان تابشی با استفاده از سیستم هشدار برای محیط‌های کشاورزی	ایران	عملکرد خوب سیستم جهت هشدار به‌هنگام یخبندان جهت حفاظت گیاهان
۴۹	Rozante et al, 2023	دمای کمینه	ارائه شاخصی جهت پیش‌بینی سرما و یخبندان	برزیل، اروگوئه، پاراگوئه و بخشی از آرژانتین و بولیوی	عملکرد خوب شاخص جهت پیش‌بینی یخبندان

فراوانی استفاده از داده‌های مورد بررسی در پژوهش‌های انجام شده در ایران و سایر نقاط دنیا در شکل ۶ نشان داده شده است. متغیر دمای کمینه به‌عنوان داده مورد بررسی در ایران با ۱۳ تکرار و در سایر نقاط دنیا نیز با ۱۱ تکرار در رتبه اول و صفات فنولوژیک گیاه در ایران با ۲ تکرار و سایر نقاط دنیا با ۹ تکرار در رتبه بعدی قرار گرفته است. متغیرهای رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی در رتبه بعدی قرار گرفتند. متغیرهای فشار، ساعات آفتابی، بارش، جهت باد، نقطه شبنم، ابرناکی و طول و عرض جغرافیایی کمتر مورداستفاده قرار گرفته است. در آلمان نیز بررسی الگوی آسیب سرمای دیررس بهاره به درختان راش با استفاده از عکس دیجیتال مورد بررسی قرار گرفته است.



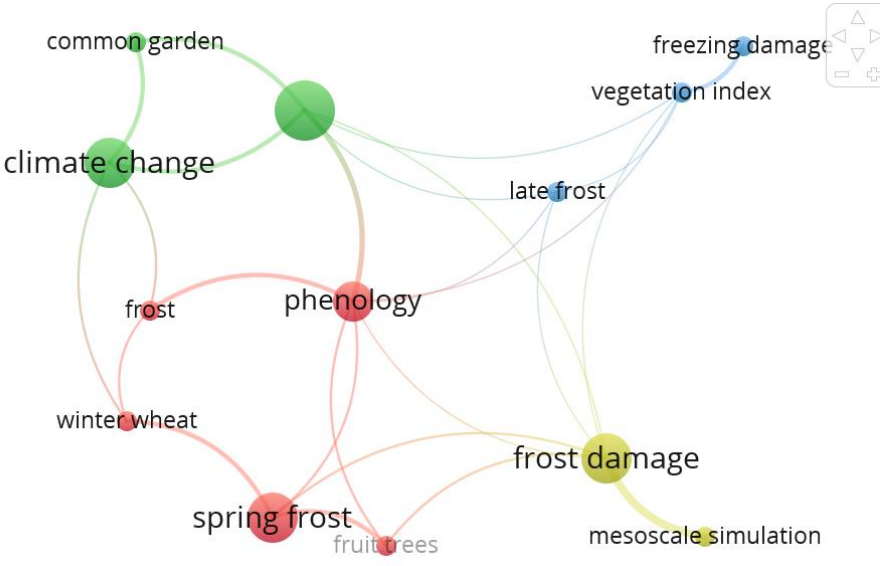
شکل ۶- فراوانی استفاده از متغیرهای مورداستفاده در پژوهش‌های ایران و سایر نقاط دنیا (ترسیم توسط پژوهشگر)

مطالعات انجام‌شده در زمینه خسارت ناشی از سرمای دیررس بهاره در مناطق مطالعاتی به تفکیک کشورها و محصولات باغی و زراعی و درختان جنگلی در شکل ۷ نشان داده شده است. طبق این نقشه رنگ مشخص شده در جلوی هر کشور نشان‌دهنده تعداد پژوهش‌هایی است که در آن کشور بر روی محصول موردنظر انجام گرفته است. رنگ قرمز نشان‌دهنده ۲ پژوهش، رنگ سبز ۱ پژوهش و رنگ بنفش نشان‌دهنده این است که پژوهشی بر روی محصول انجام نشده است. محصولات گندم با دو پژوهش در چین، پسته ۲ پژوهش در ایران، محصول سیب ۱ پژوهش در چین و ۱ پژوهش در اتریش و راش اروپایی با ۱ پژوهش در مدیترانه، ۱ پژوهش در سوئیس و ۱ پژوهش در آلمان بیشتر موردتوجه پژوهشگران داخلی و خارجی بوده‌اند. دیگر محصولات نظیر نیشکر، ذرت، انگور، بادام، غلات، گیلاس، هلو، زردآلو و درختان میوه هر کدام با یک پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

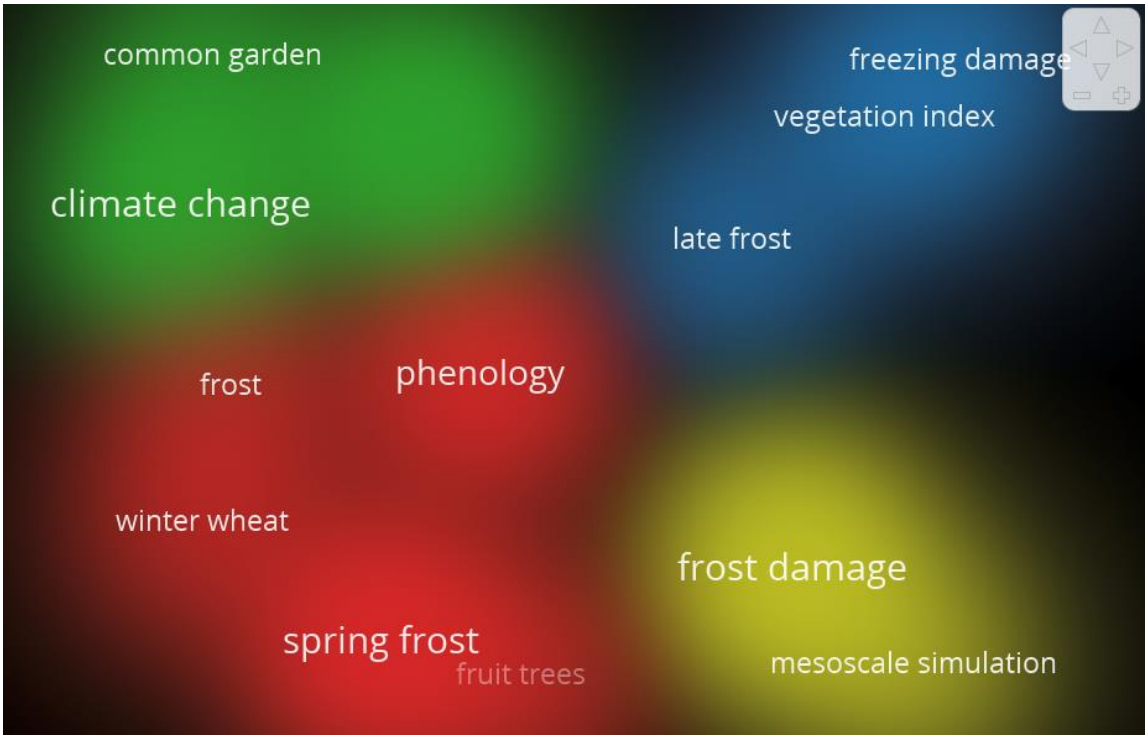


شکل ۷- نمایش Heatmap مطالعات مربوط به خسارت ناشی از سرمای دیررس بهاره بر روی محصولات باغی و زراعی و درختان جنگلی در کشورهای مختلف (ترسیم توسط پژوهشگر)

کلیدواژه‌ها نمای اصلی یک پژوهش هستند و موضوع و متغیر اصلی مقاله را مشخص می‌کنند. در بین مقالات مورد بررسی در این مطالعه نقشه کلیدواژه‌ها با انتخاب ۱۲ واژه پرکاربرد در شکل ۸ نشان داده شده است. هرچه اندازه گره یک واژه بیشتر باشد آن واژه بیشتر تکرار شده است. پیوندهای ترسیم شده در نقشه نشان‌دهنده ارتباط بین کلمات است. واژه‌های Frost ،Damage ،Phenology Climate Change و Frost Spring به ترتیب بیشترین تعداد تکرار و بیشترین پیوند را با دیگر واژگان داشته‌اند.



(الف)- نقشه هم‌پوشانی کلیدواژه‌ها

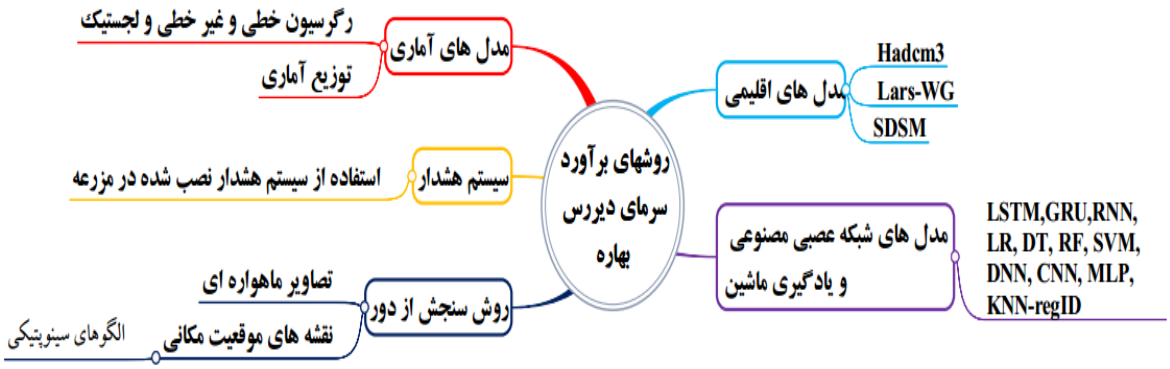


(ب)- نقشه چگالی کلیدواژه‌ها

شکل ۸- نقشه‌های شبکه کلیدواژه‌ها (الف)، نقشه چگالی کلیدواژه‌ها (ب)، بر اساس روابط هم‌زمانی (**co- occurrence**) تألیفات مرتبط با سرمای دیررس بهاره از سال ۱۹۵۴ تا ۲۰۲۲ (ترسیم توسط پژوهشگر)

روش‌های برآورد سرمای دیررس بهاره

جهت برآورد سرمای دیررس بهاره در تحقیقات اخیر از روش‌های مختلفی استفاده شده است. مطالعات مورد بررسی در این مطالعه که به برآورد سرمای دیررس بهاره پرداختند در شکل ۹ نشان داده شده است. بسته به ورودی‌های مدل‌های مورداستفاده در برآورد سرما و یخبندان، روش‌های مختلف عملکردهای متفاوتی داشته‌اند. در بررسی روند و وقوع یخبندان‌های بهاره روش‌های توزیع آماری عملکرد خوبی داشته‌اند. در مقایسه روش‌های آماری مانند رگرسیون خطی و غیرخطی با روش شبکه‌های عصبی روش‌های شبکه عصبی عملکرد بهتری داشته‌اند. در روش‌های داده‌محور مانند روش شبکه عصبی مصنوعی و روش‌های یادگیری ماشین، روش‌های جنگل تصادفی (RF) و روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP)، مدل رگرسیون مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایگی (KNNregID)، الگوریتم Kmean و XGBoost دقت بالایی از بین روش‌های نشان داده شده در شکل ۹ در زمینه برآورد داشته‌اند. جهت طبقه‌بندی یخبندان نیز مدل‌های RF و SVM بهترین مدل تشخیص داده شده است. مدل‌های اقلیمی و مدل‌های گردش عمومی جو نیز جهت برآورد سرما و یخبندان و سرمازدگی استفاده شده است. روش‌های سنجش از دور جهت تهیه الگوهای سینوپتیکی و طبقه‌بندی مناطق مختلف سرمازدگی نیز مورداستفاده قرار گرفته است. استفاده از نصب سیستم هشدار در مزارع نیز در چند مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۹- تقسیم‌بندی مطالعات بررسی شده در زمینه روش‌های برآورد سرمای دیررس بهاره با روش‌های مختلف

نتیجه‌گیری

بیشترین تحقیقات انجام‌شده در زمینه سرمای دیررس بهاره در قاره آسیا بوده است. قاره‌های اروپا و آمریکا نیز در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. پژوهش‌های انجام‌شده در ایران و سایر نقاط دنیا که در زمینه بررسی خسارت ناشی از سرمای دیررس بهاره و تأثیر آن بر عملکرد محصولات با روش‌های مختلفی نظیر اندازه‌گیری میدانی شامل بررسی مراحل رشد و صفات فنولوژیک گیاه، روش‌های آزمایشگاهی شامل بررسی مقاومت گیاهان در دمای پایین و انجماد و تهیه نقشه‌های خطر سرمازدگی بوده است. همه این روش‌ها نشان‌دهنده این است که گیاهان در مراحل گلدهی، جوانه‌زنی و تشکیل میوه اگر در معرض سرمازدگی بهاره قرار بگیرند به شدت آسیب دیده و در موارد حاد نابود می‌شوند. درختان جنگلی نیز در مواجهه با سرمازدگی از ادامه رشد و تشکیل برگ کامل باز می‌مانند. پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه تحلیل روند و رخداد یخبندان با روش‌های آماری و مدل‌های اقلیمی شامل مدل گردش عمومی جو و روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری نشان می‌دهد که وقوع یخبندان‌های بهاری در چند سال گذشته زودتر از موعد رخ داده است. تغییرات اقلیمی ایجاد شده باعث می‌شود که مراحل رشد گیاه نیز زودتر از موعد رخ دهد و درنتیجه این گیاهان و درختان بیشتر در معرض سرمازدگی قرار می‌گیرند و خسارت زیادی به آنها وارد می‌شود. در زمینه برآورد سرمای دیررس بهاره از مدل‌های آماری مانند توزیع‌های آماری بیشتر استفاده شده است. مدل‌های اقلیمی، روش‌های داده‌محور و روش سنجش از دور کمتر موردتوجه قرار گرفته است. همچنین به روش‌های جدید داده‌محور جهت برآورد و الگوریتم‌های فراابتکاری جهت کمینه‌سازی مقدار خطا کمتر پرداخته شده است. متغیرهایی مانند دمای کمینه و صفات فنولوژیک بیشتر موردتوجه بوده است و تأثیر دیگر متغیرهای هواشناسی نظیر ابرناکی، ساعات آفتابی، دمای بیشینه و میانگین، بارش، فشار بخار اشباع و رطوبت نسبی بر روی سرمای دیررس بهاره کمتر موردمطالعه قرار گرفته است. در زمینه برآورد و تعیین ریسک و روند از تحلیل‌های آماری بهره گرفته شده است و روش‌های هوشمند کمتر استفاده شده است. محصولاتی نظیر پسته، گندم، سیب و درخت راش در زمینه بررسی خسارت ناشی از سرمازدگی موردتوجه محققین بوده است؛ اما در برآورد سرمای دیررس بر روی محصولات کشاورزی پربازده مانند پسته، گردو و درختان میوه تحقیقات کمتری انجام شده است. در ادامه پیشنهادهایی جهت استفاده در تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

باتوجه‌به تأثیر مستقیم و غیرمستقیم دیگر متغیرهای هواشناسی در برآورد دمای کمینه و به دنبال آن برآورد سرمای دیررس بهاره لازم است متغیرهایی نظیر دمای بیشینه، دمای میانگین، فشار بخار اشباع، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، ابرناکی، بارش نیز مورد بررسی قرار گیرد. طبق بررسی صورت‌گرفته در این مطالعه روش‌های داده‌محور جهت برآورد دمای کمینه و سرمای دیررس بهاره کمتر موردتوجه قرار گرفته است. این روش‌ها به دلیل سرعت و دقت بالا نسبت به روش‌های آماری و روش‌های کلاسیک می‌توانند نتایج قابل‌قبولی را ارائه دهند. همچنین به دلیل متفاوت‌بودن دمای بحرانی در محصولات مختلف که در معرض سرمازدگی قرار می‌گیرند و متفاوت‌بودن موقعیت مکانی

هر منطقه بهتر است نوسانات دمایی با درنظرگرفتن موقعیت مکانی محصول کشت شده با درنظرگرفتن نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک جهت برآورد دمای کمینه و تحلیل سرمای دیررس بهاره موردتوجه محققین قرار بگیرد.

منابع

۱. آقاشریعتمداری، ز.، بذرافشان، ج.،صفایی، س.ا. ۱۳۹۵. چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM در چند ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران. نشریه هواشناسی کشاورزی. ۴: ۳۱-۲۲.

۲. انصاری، ح.، کوهی، م.، صالح نیا، ن.۱۳۹۱. پیش بینی وقوع یخبندان های تابشی با استفاده از حداقل داده های هواشناسی. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶ (۱): ۱۱۴-۱۲۶.

۳. اکبری‌مقدم، ن.، علی‌اکبری بیدختی، ع.، ایران‌نژاد، پ. ۱۳۹۲. به‌کارگیری مدل تابشی-فرارفتی برای برآورد سرمایش شبانه در یک حوضه محصور به توپوگرافی (حوضه رفسنجان). فیزیک زمین و فضا. ۳۹(۲): ۱۱۱-۱۲۶.

۴. انتظاری، ع.، حدادنیا، ج.، جعفرزاده، م.، کورونـدی، ا.، ۱۳۹۰. ارائه یک شبکه عصبی MLP به منظور پیش‌بینی یخبندان در استان کرمانشاه. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۲(۳): ۵۹-۷۱.

۵. پورنقی، ر. ۱۳۹۶. سرقت علمی در میان دانشجویان دانشگاه‌ها: مطالعه مرور سیستماتیک و متاآنالیز. گزارش طرح پژوهشی. پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک).

۶. بازگیر، س.، محمدی، ح.، شریفی، ل.، سلیمانی، ن. ۱۳۹۵. تحلیل مخاطره یخبندان و سرمازدگی محصولات باغی آذربایجان غربی. مدیریت مخاطرات محیطی. ۳ (۴): ۳۶۵-۳۷۸.

۷. تقوی‌گودرزی، س.، امیدزاده، ه. ۱۳۹۴. پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره با استفاده از شبکه ی عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) و تاثیر آن در حمل و نقل شهر خرم آباد. فصل نامه آمایش محیط. شماره ۲۸: ۱۱۱- ۱۲۴.

۸. جامعی، ج.، مسگری، ا.، عاشری، ا. ۱۳۹۳. پیش‌بینی سرما و یخبندان‌های دیررس بهاره حوضه زاب با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه. نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ۱۲ (۲): ۱۵۷.

۹. حجازی زاده، ز.، ناصرزاده، م. ۱۳۸۴. محاسبه و تحلیل یخبندان ها توسط برنامه دلفی در استان لرستان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی بهار. ۱۳۹-۱۵۰.

۱۰. حسین نیا، م.، راحمی، ع.، شهامتی‌فرد، ج. ۱۳۸۴. بررسی درجه حرارت‌های بحرانی از لحاظ سرمازدگی در مراحل مختلف گلدهی درختان میوه مناطق معتدله. مجموعه مقالات همایشی علمی کاربردی راه‌های مقابله با سرمازدگی.

۱۱. خلجی، م.۱۳۸۰. پیش بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان زودرس پاییزه برای تعدادی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهار محال و بختیاری. نهال و بذر. ۱۷(۲): ۱۳۹-۱۲۶.

۱۲. خلیلی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی کمی و مدل‌سازی ریسک سرمازدگی بهاره محصولات زراعی و باغی در ایران. نشریه هواشناسی کشاورزی. ۲ (۱): ۱۷-۳۱.

۱۳. خلیلی، ع.، رحیمی، ج.، بذرافشان، ج. ۱۳۹۵. پیش‌نگری کمّی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر تاریخ و ریسک خسارت رخداد یخبندان دیررس بهاره طی قرن بیست و یکم در ایران. هواشناسی کشاورزی. ۴ (۲).

۱۴. خسروی، م.، پورنقی، رویا. ۱۳۹۸. ابعاد اثرگذاری پژوهش: مطالعه مرور سیستماتیک. پژوهش نامه علم سنجی. ۵ (۹): ۲.

۱۵. دژم‌پور، جلیل. ۱۳۹۲. ارزیابی خسارت سرمای بهاره در تیپ‌های مختلف ارقام بادام و زردآلو. علوم باغبانی. ۲۷ (۳): ۳۰۹-۳۰۱.

۱۶. دارایی، م.، ساری صراف، ب.،خورشیددوست، ع.م.، محمودی، پ. ۱۳۹۶. شبیه سازی اثر تغییر اقلیم بر جابه جایی زمانی تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان های پاییزه و بهاره ایران. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۶(۲۴):۹۶-۸۱

۱۷. ذوالفقاری، ح.، زاهدی، غ.، سجادی فر، ط. ۱۳۹۱. پیش‌بینی تاریخ آخرین یخبندان‌های بهاری در غرب و شمال غرب ایران. جغرافیا و پایداری محیط. ۲ (۳): ۵۹-۷۴.

۱۸. سیدنژاد گل خطمی، ن.، و رضایی پژند، ح. ۱۳۹۴. تحلیل احتمالی یخبندان دیررس و رابطه آن با شاخص های دمایی مطالعه موردی: ایستگاه های همدید خراسان رضوی. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹(۴): ۸۳۸-۸۴۹.

۱۹. طالبی، م. ۱۳۸۵. تحلیل سینوپتیکی سرمای زودرس پاییزه و دیررس بهاره در استان یزد. جغرافیایی سرزمین. ۱(۳): ۹۰-۹۷.

۲۰. قربانی، خ.، ولی‌زاده، ا. ۱۳۹۳. بررسی تاریخ یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر در کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مشهد، تبریز و قزوین). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۱ (۴): ۲۱۴-۱۹۷.

۲۱. کمالی، غ.ع. ۱۳۸۰. سرماهای زیانبخش به کشاورزی در قالب معیارهای احتمالاتی، مطالعه‌ی موردی: تهران. فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی. ۶۳ : ۱۴۹-۱۶۵.

۲۲. مالکی‌فرد، ف.، علی اکبری بیدختی، ع. ۱۳۸۳. اثر انتشار امواج فروسرخ در سرمایش شبانه لایه سطحی و پیش بینی دمای حداقل در منطقه کویری جنوب خراسان. ۱۳(۹): ص ۳۳۱.

۲۳. مجرد قره‌باغ، فیروز. ۱۳۷۶. تحلیل و پیش‌بینی یخبندان در آذربایجان. دانشگاه تربیت مدرس تهران. رساله دکتری. گروه جغرافیا.

۲۴. میان‌آبادی، آ.، موسوی بایگی، م.، ثنایی نژاد، ح.، نظامی، ا. ۱۳۸۸. بررسی و پهنه‌بندی یخبندان‌های زودهنگام پاییزه، دیرهنگام بهاره و زمستانه با استفاده از GIS در استان خراسان رضوی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۳ (۱): ۷۹-۹۰.

۲۵. محمدی، ح.، گزل‌خو، مجید. ۱۳۸۹. تأثیر یخبندانهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره برکشت غلات در شهرستان کرج. جغرافیایی سرزمین، ۳ (۲۷) : ۹۳-۱۱۰.

۲۶. میرموسوی، س.ح.، حسین‌بابایی. م. ۱۳۹۰. مطالعه توزیع زمانی - مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ۲۲(۳): ۱۶۷-۱۸۴.

۲۷. مسگری، ا.، طاوسی، ت.، محمودی، پ.، امیرجهانشاهی، س.م. ۱۳۹۹. ارزیابی برخی توابع انتقال در شبکه های عصبی مصنوعی جهت پیش بینی کوتاه مدت دمای کمینه (مطالعه موردی: ایستگاه همدیدی سنندج). نشریه هواشناسی کشاورزی. ۸ (۱): ۴۰-۵۰.

۲۸. نوحی، کیوان.، صحرائیان، فاطمه.، پدرام، مژده.، صداقت کردار، ع. ۱۳۸۷. تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرا رفتی و تابشی در نواحی زنجان، قزوین و تهران، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.۴۶ :۴۴۹-۴۶۰.

۲۹. ورشاویان، و.، قهرمان، ن.، خلیلی، ع.، حجام، س. ۱۳۸۶. مطالعه روند رخ داد یخبندان دیررس بهاره، زودرس پاییزه، طول دوره بدون یخبندان و تعداد روزهای یخبندان به منظور کاهش خسارت‌های کشاورزی در چند نمونه اقلیمی ایران. پژوهش کشاورزی (آب، خاک و گیاه در کشاورزی). ۷ (۴): ۳۹-۴۸.

30. Arpaci, S., Atli, H.S., Tekin, H., Burak, M. 2006. Studies on spring frost resistance of some pistachio (pistasia vera) cultivars. Acta Horticulture. 726:391-396.
31. Awaya, Y., Tanaka, K., Kodani, E., and Nishizono, T. 2009. Responses of a beech (Fagus crenata 517 Blume) stand to late spring frost damage in Morioka, Japan. Forest Ecology and Management 518 (257): 2359-2369.
32. Bigler, C., Bugmann, H. 2018. Climate-induced shifts in leaf unfolding and frost risk of European trees and shrubs. Scientific Reports. 8:9865.
33. Bagheri, N., and Sepahvand, M. 2023. An intelligent radiation frost forecasting and warning system for agricultural environments.
34. Cooter, E. J., & Leduc, S. K.1995. Recent frost date trends in the north-eastern USA. International Journal of Climatology, 15(1), 65-75.
35. Chen, P.W., Li, P.H. 2002. Membrane stabilization by abscisic acid under cold aids proline in chilling temperatures. Postharvest Biology and Technology. 26: 295-304.

36. Cipriani, A., Barbui, C., Rizzo, C., Salanti, G. 2012. What is a multiple treatments meta-analysis? Epidemiology and Psychiatric Sciences. 21(2):151-3.
37. Castañeda-Miranda, A. and Castaño, V.M. 2017. Smart frost control in greenhouses by neural networks models. Computers and Electronics in Agriculture. 137: 102–114.
38. Davis, R.L. 1978. A topoclimatic classification to map spring frost risk for six deciduous tree fruit varieties. Atmosphere-Ocean. 16 (2): 169-176.
39. DaMatta, F. M. and Ramalho, J. D. C. 2006. Impacts of drought and temperature stress on coffee
physiology and production: a review. Brazilian Journal of Plant Physiology. 18(1): 55–81.
40. Ding, L., Noborio, K., Shibuya, K. 2019. Frost forecast using machine learning-from association to causality. Procedia Computer Science. 159. 1001–1010.
41. Diniz, E. S., Lorenzon, A. S., de Castro N. L. M. et al. 2021. Forecasting frost risk in forest plantations by the combination of spatial data and machine learning algorithms. Agricultural and Forest Meteorology. 306.
42. Djaman, K., Koudahe, K., Darapuneni, M., & Irmak, S. 2021. Chilling and Heat Accumulation of Fruit and Nut Trees and Flower Bud Vulnerability to Early Spring Low Temperatures in New Mexico: Meteorological Approach. Sustainability, MDPI. 13(5): 1-23.
43. Drepper, B., Bamps, B., Gobin, A. et al. 2022. Strategies for managing spring frost risks in orchards: effectiveness and conditionality-a systematic review. Environmental Evidence.11 (1): 29.
44. Eccel, E., Rea, R., Caffarra, A., Crisci, A. 2009. Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation. International Journal of Biometeorology. 53(3): 273-286.
45. Ellwood, E., Playfair, S., Polgar, C., Primack, R. 2013. Cranberry flowering times and climate change in southern Massachusetts. International journal of biometeorology. 58: 10.
46. Fuentes, M., Campos, C., García-Loyola, S. 2018. Application of artificial neural networks to frost detection in central Chile using the next day minimum air temperature forecast. Chilean journal of agricultural research. 77: 327-338.
47. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2: 1-72.
48. Henderson, L.K., Craig, J.C., Willis, N.S., Tovey, D., Webster, A.C. How to write a Cochrane systematic review. Nephrology. 2010.15(6):617-24.
49. Hokmabadi, H., Zakynthinos, G.E. 2010. Pistachio frost damage in Iran and new methods of frost protection. XIV GREMPA Meeting on Pistachios and Almonds. 71-78.
50. Higgins, J., Sally G. 2011. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0 [updated March 2011]. Edited by Julian PT Higgins and Sally Green: The Cochrane Collaboration.
51. Giardina,J.A., Digonzelli, P., Romero, E., Duarte, D. 2013. Frost severity effect on sprouting and seedling emergece of high quality seed cane in tucuman, Argentina. International Society of Sugar Cane Technologists. 28.
52. Graczyk, D., Szwed, M., 2020 Changes in the Occurrence of Late Spring Frost in Poland. Agronomy. 10 (11): 1835.
53. Guo, Y., Wang, L., He, J., Liu, T., Zhang, Y., Yang, X. Monitoring and estimation of late spring frost and its impact on winter wheat through multi-temporal GF-1 remotely sensed imagery.2021. 9th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics). 1-5.
54. Kim, H., Kim, J.M., Kim, S. 2022. Frost Forecasting considering Geographical Characteristics. Advances in Meteorology. 2022: 12p.
55. Michalska, B. Suggested terms of Corn sowing in the main yield in Poland dependet on soiil temperature and frosts. 1986. Agrotechniczna (Poland). 106 :97- 102.
56. Madelin, M., Beltrando, G. 2005. Spatial Interpolation – Based Mapping of the Spring Frost Hazard in the Champagne Vineyards. Meteorological applications. 12:51-56.
57. Menzel, A., Helm, R., Zang, Ch. 2015. Patterns of late spring frost leaf damage and recovery in a European beech (Fagus sylvatica L.) stand in south-eastern Germany based on repeated digital photographs. Frontiers in Plant Science. 6: 110.
58. Ma, Q., Huang, J-G., Hänninen, H., Berninger, F. Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. Global Change Biology. 2019. 25: 351– 360.
59. Miranda, C., Bilavcik, A., Chaloupka, R., Dreisiebner-Lanz, S., Gastol, M., Luedeling, E et al. 2019. Phenology and critical

70. Samie, M., Asgari, Kh. Bastani, 1988. Start and End of Frost in Iran. 1988. I.R. of Iran Meteorology Organization (IRIMO).
71. Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E., Peter, C. 2003. Trends of spring time frost events and 703 phenological dates in central Europe. Theoretical and Applied Climatology. 74: 41–51.
72. Snyder, R. L., de Melo-Abreu, J.P. 2005. Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics.
73. Sallis, P., Jarur, M., Trujillo, M. 2008. Frost prediction characteristics and classification using computational neural networks. International Conference on Neural Information Processing. 1211–1220.
74. Snyder, R. L., de Melo-Abreu, J.P. 2005. Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2: 1-72.
75. Simons M. Guidelines for writing systematic reviews2011 : Available from: www.library. mq.edu.au/Guidelines.
76. Strech D, Sofaer N. 2012.How to write a systematic review of reasons. Journal of Medical Ethics. 38(2):121-6.
77. Tsipouridis C., Thomidis T., Xatzicharisis I. 2006. Effect of sprinkler irrigation system on air temperatures and use of chemicals to protect cherry and peach trees from early spring frost. Australian Journal of Experimental Agriculture. 46: 697-700.
78. Talsma, CJ., Solander, KC., Mudunuru, MK., Crawford, B. Powell, MR. 2023. Frost prediction using machine learning and deep. Frontiers in Artificial Intelligence. 16p. neural network models.
79. Vitra, A., Lenz, A., Vitasse, Y. 2017. Frost hardening and dehard- ening potential in temperate trees from winter to budburst. New Phytologist. 216:113–123.
80. Unterberger, C., Brunner, L., Nabernegg, S., Steininger, K.W., Steiner, AK., Stabentheiner, E et al. 2018. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. PLoS ONE 13(7): e0200201.
81. witasse, Y., Rebetez, M. 2018. Unprecedented risk of spring frost damage in Switzerland and Germany in 2017. Climate Chang. 149: 233–246.
82. Xin, Z., Browse, J. 2000. Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. Journal of Plant Cell. 23: 893-902.

temperatures Focus Group Protecting fruit production from frost damage. EPI-AGRI Focus Group, Minipaper 5, Phenology and critical temperature.

60. Nolè, A., Rita, A., Ferrara, A.M.S. et al. 2018. Effects of a large-scale late spring frost on a beech (Fagus sylvatica L.) dominated Mediterranean mountain forest derived from the spatio-temporal variations of NDVI. Annals of Forest Science. 75: 83.
61. Noh, I., Doh, H. W., Kim, S. O. S. H., Kim, S., Shin, Lee, S. J. 2021. Machine learning-based hourly frost-prediction system optimized for orchards using automatic weather station and digital camera image data. Atmosphere. 12(7): 846.
62. Lee, H., Chun J. A., Han, H. H., Kim, S. 2016. Prediction of frost occurrences using statistical modeling approaches. Advances in Meteorology.16: 9.
63. Leolini, L., Moriondo, M., Fila, G., Costafreda-Aumedes, S., Ferrise, R., Bindi, M. 2017. Late spring frost impacts on future grapevine distribution in Europe. Field Crops Research. 222.
64. Potop, V., Zahraniček, P., Türkott, L., Štěpánek, P., Soukup, J. 2014. Risk occurrences of damaging frosts during the growing season of vegetables in the Elbe River lowland, the Czech Republic. Natural Hazards, 71(1), 1-19.
65. Rodrigo, J. 2000. Spring Frosts in Deciduous Fruit Trees- Morphological Damage and Flower Hardiness. Scientia Horticulturae. 85: 155-173.
66. Rahimi M., Hajjam, S., Khalili, A. and Kamali, G. A. 2007. Risk analysis of first and last frost occurrences in the central Alborz region, Iran. International Journal of climatology, 27(3): 349–356.
67. Rigby, J. R., Porporato, A. 2008. Spring frost risk in a changing climate. Geophysical Research Letters. 35(12): 12703.
68. Rozante, J. R., Gutierrez, E. R., Silva Dias, P. L., Almeida Fernandes, A. Alvim, D. S., Silva, V. M. Development of an index for frost prediction: technique and validation. Meteorological Applications. 27(1): 1807-2020.
69. Ru, X., Jiang, Y., Luo, Q., Wang, R., Feng, X et al. 2022. Evaluating late spring frost risks of apple in the Loess Plateau of China under future climate change with phenological modeling approach. Scientia Horticulturae. 308.

83. Xiao, L., Liu, L., Asseng, S., Xia, Y., Tang, L., Liu, B., Cao, W., & Zhu, Y. 2018. Estimating spring frost and its impact on yield across winter wheat in China. Agricultural and Forest Meteorology. 260:154-164.
84. Zohner, CM., Mo, L., Renner, SS., Svenning, JC., Vitasse, Y et al. 2020. Late-spring frost risk between 1959 and 2017 decreased in North America but increased in Europe and Asia. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 117(22), 12192-12200.
85. Zhou, I., and Lipman, J., Abolhasan, M., Shariati, N. 2022. Minute-wise frost prediction: An approach of recurrent neural networks. Array. 14: 100-158.