

وزارت جهاد کشاورزی

معاونت امور باغبانی

دستورالعمل اجرایی مقابله با سرمازدگی

محصولات باغبانی

دفتر امور میوه های سردسیری و خشک

زمستان ۱۴۰۰

فهرست

۱	فصل اول: دستورالعمل اجرایی مقابله با سرمازدگی
۱	مقدمه
۲	الف) دستورالعملهای اجرایی
۲	۱ - ثبت اطلاعات
۳	۲ - تصمیم گیری به وسیله باغداران
۳	۲-۱) تهیه و تدارک ابزار و وسایل
۳	۲-۲) تعیین دمای بحرانی
۴	۲-۳) دستورالعمل برای پیش بینی
۴	۲-۴) استفاده از دستگاه اعلام یخ بندان Frost Alarm
۴	۲-۵) کشیک شبانه
۴	۲-۶) تصمیمگیری برای اعمال حفاظت
۵	۳ - به کارگیری روش حفاظتی
۷	۳-۱) روشهای حفاظتی غیرفعال
۷	۳-۱-۱) انتخاب و مدیریت مکان
۸	۳-۱-۳) زهکشی هوای سرد
۸	۳-۱-۳) انتخاب بوته
۹	۳-۱-۴) پوشش (کنوپی) درختان:
۹	۳-۱-۳) مدیریت کوددهی گیاه:
۱۰	۳-۱-۶) مدیریت آفات:
۱۰	۳-۱-۷) هرس مناسب:
۱۰	۳-۱-۸) پوشاندن گیاهان با پوشش های مناسب
۱۰	۳-۱-۹) اجتناب از خاکورزی
۱۱	۳-۱-۱۰) آبیاری صحیح
۱۱	۳-۱-۱۱) حذف گیاهان پوششی از مزرعه یا باغ
۱۱	۳-۱-۱۲) پوشش های روی خاک
۱۲	۳-۱-۱۳) رنگردن و پیچیدن پوشش به دور تنه درخت
۱۲	۳-۱-۱۴) کنترل باکتری ها :
۱۲	۳-۲) روشهای حفاظتی فعال :
۱۲	۳-۲-۱) بخاری ها
۱۴	الف) بخاری های مایع سوز
۱۵	ب) بخاری های با سوخت پروپان و گاز طبیعی
۱۵	ج) بخاری های با سوخت جامد
۱۶	د) بخاری های متحرک
۱۷	۳-۲-۲) ماشین های باد
۱۹	ماشین های باد با جریان عمودی
۱۹	۳-۲-۳) بالگردها
۲۰	۳-۲-۴) آب پاش ها

- ۲۶..... (۳-۲-۵) آبیاری قطره ای.....
- ۲۷..... (۳-۲-۶) آبیاری سطحی.....
- ۲۷..... (۳-۲-۷) غرقاب کردن.....
- ۲۷..... (۳-۲-۸) آبیاری شیاری.....
- ۲۸..... (۳-۲-۹) عایق سازی با کف.....
- ۲۹..... (۳-۲-۱۰) مه سازها.....
- ۳۰..... (۳-۲-۱۱) روش های ترکیبی.....
- ۳۰..... الف) ماشین های باد و آب پاش های زیردرختی.....
- ۳۰..... ب) ماشین های باد و آبیاری سطحی.....
- ۳۰..... ج) ماشین های باد و بخاری ها.....
- ۳۱..... د) آب پاش ها و بخاری ها.....
- ۳۱..... ب) راهنمایی ها و آموزشهای راهبردی.....
- ۳۱..... ۱- استفاده از نقطه شبنم در تعیین احتمال وقوع یخ بندان.....
- ۳۳..... ۲- نکاتی در مورد تخمین دمای نقطه شبنم.....
- ۳۵..... ۳- تعریف یخ زدگی و یخبندان.....
- ۳۶..... (۳-۱) یخبندان تشعشی.....
- ۳۷..... (۳-۲) یخبندان انتقالی.....
- ۳۸..... ۴ - حساسیت محصول و دماهای بحرانی.....
- ۳۹..... ۵- ارزیابی جغرافیایی خسارت یخبندان به محصولات.....
- ۳۹..... ۶- اثرات دود.....
- ۴۰..... ۷- شرایط انتخاب مکان های مناسب برای کشاورزی.....
- ۴۲..... ۸- پیش بینی و نمایش داده های آب و هوایی:.....
- ۴۲..... ۹- پیش بینی و نظارت بر شرایط یخبندان.....
- ۴۳..... فصل دوم: ارزیابی و پیش بینی یخبندان.....
- ۴۳..... مقدمه.....
- ۴۳..... ۱- ارزش پیش بینی یخبندان.....
- ۴۴..... ۲- پیش بینی دمای حداقل.....
- ۴۶..... (۲-۱) یک مدل ساده برای پیش بینی دمای حداقل.....
- ۴۶..... (۲-۲) زنگ خطر و نظارت بر شرایط آب و هوایی در شب های یخبندان.....
- ۴۸..... جمع بندی :

فصل اول: دستورالعمل اجرایی مقابله با سرمازدگی

مقدمه

هنگامی که دمای هوا از صفر درجه پایین تر رود، گیاهان حساس آسیب می بینند و میزان تولید آنها شدیداً تحت تأثیر قرار می گیرد. بنابراین خساراتی که بر تولیدکنندگان محصولات کشاورزی و در نتیجه به اقتصاد یک کشور وارد می شود، می تواند بسیار مخرب و جدی باشد. با وجود این اهمیت فراوان، اطلاعات و دانش اندکی در مورد چگونگی حفاظت گیاهان در برابر سرما و یخ زدگی وجود دارد و در کشور ما اقدامات عملی در زمینه معرفی و بهره گیری از روش های حفاظتی نوین نیز در مراحل ابتدایی قرار دارد. بنابراین لازم است که منابع اطلاعاتی سهل الوصول و ساده ای وجود داشته باشد که بتواند زارعان را در جهت مقابله با این مشکل یاری دهد. در این طرح پژوهشی ابعاد اقتصادی، آماری، تاریخی، فیزیکی و زیستی خسارت های ناشی از سرما و یخ زدگی و نیز روش های حفاظت در برابر این پدیده ها، مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت.

نتایج نهایی این طرح دامنه وسیعی از اطلاعات را از نکات پایه و مبنایی تا نکات پیچیده و تخصصی شامل می شود که اصولاً با هدف تعیین راهکارهایی برای مقابله با سرما و یخ زدگی در مناطق مختلف کشور و کمک به زارعان و باغداران در جهت حفاظت هر چه بهتر در برابر سرما و یخ زدگی تهیه شده است. هدف کلی، ارائه دستورالعمل های اجرایی و یک راهنمای کلی برای افرادی است که وظیفه تبیین و تعیین راهکارهای مبارزه با سرمازدگی در نقاط مختلف کشور را بر عهده دارند و یا به صورت عملی با این پدیده سر و کار دارند. از آنجا که ابعاد علمی و تخصصی حفاظت در برابر یخبندان بسیار پیچیده است، برنامه های رایانه ای به کاربرانی که علاقمند به مباحث مدیریتی و عملی هستند و به نکات بسیار تخصصی علمی نیاز ندارند ارائه خواهد شد. همچنین با مروری بر آخرین مطالعات و تحقیقات انجام گرفته در دنیا، مطالبی در رابطه با ابعاد مختلف تنش های سرما و یخ زدگی از جمله احتمالات، خطر و مسائل اقتصادی حفاظت در برابر یخبندان ارائه می شود. هدف آن است که با ارائه نتایج نهایی این بررسی ها در آینده، بتوان اغلب اطلاعاتی را که زارعان محلی یا مشاوران زراعی در نقاط مختلف کشور برای تصمیم گیری در مورد حفاظت در برابر یخبندان نیاز دارند، برای آنان فراهم آورد تا از این طریق به آنها کمک گردد تا خسارات عظیم ناشی از سرما و یخ زدگی در کشور را به حداقل برسانند. مسلماً دستیابی به چنین هدفی مستلزم آشنایی با اقدامات روز انجام گرفته در سطح دنیا و تطبیق آن با شرایط اقلیمی کشور و تلاش برای اجرای برنامه های مدیریتی کارآمد و معرفی و بهره برداری از روش های حفاظتی نوین و قابل اجرا در کشور است، تا در نهایت با انجام مطالعات کارشناسی و تخصصی، روش هایی که کمترین هزینه و بیشترین کارایی را با توجه به میزان دسترسی محلی به امکانات و تجهیزات و مواد اولیه داشته باشند، شناسایی شده و به عنوان روش بهینه برای هر منطقه معرفی شوند. در ادامه به ارائه نتایج مطالعات مقدماتی سنتز ملی طرح کاهش ضایعات ناشی از سرمازدگی، درباره آشنایی با مهم ترین برنامه های مدیریتی و اقدامات عملی انجام گرفته در دنیا و لازم الاجرا در کشور می پردازیم.

الف) دستورالعملهای اجرایی

۱ - ثبت اطلاعات

ثبت داده ها و اطلاعات، زیربنای تمامی تصمیم گیری ها و مهم ترین مرحله در تدوین برنامه های مدیریتی جهت مقابله با سرما و یخبندان است. مسلماً، توصیه روش های حفاظتی خاص برای یک منطقه و تطبیق برنامه های کلی و عمومی به شرایط خاص یک محل، مستلزم آگاهی از اطلاعات اختصاصی ثبت شده در آن منطقه است. بنابراین باید اطلاعات مربوط به هر شب را که طی فصل سرما اتفاق می افتد، به دقت ثبت کرد و در صورت استفاده از وسایل حفاظتی آنها را ذکر نمود. مهمترین مواردی که لازم است تعیین و ثبت شوند عبارتند از:

دمای بحرانی: دمایی است که از آن به عنوان معیار مقاومت جوانه استفاده می کنند. کشاورز یا باغدار باید از وقوع این دما، جلوگیری کند، زیرا در این دما خسارت جوانه ها اتفاق می افتد.

تنظیمات دستگاه اعلام کننده یخبندان: تنظیمات را روی آژیر خطر یخ زدگی ثبت کنید.

دمای حفاظت: دمایی که پیش از راه اندازی سیستم گرمایی در باغ حادث می شود به دمای حفاظت معروف است.

دمای نقطه شبنم: قرائت آخرین دمای نقطه شبنم که پیش از شروع حفاظت روی می دهد، باید حتماً ثبت شود.

زمان شروع و ختم حفاظت: تا حد امکان باید زمان اولین اقدام برای حفاظت و زمانی که کلیه عملیات حفاظتی متوقف می شود را یادداشت نمود.

نوع حفاظت: هر روشی را که برای حفاظت محصول در شب استفاده می شود، حتی روشی را که برای قسمتی از شب استفاده می شود، باید از قبل امتحان و چک کرد.

مساحت زمین: کل میزان سطحی که در طول شب تحت پوشش روش حفاظتی قرار می گیرد ، باید از قبل مشخص باشد.

دمای حداقل: حداقل دمای مشاهده شده در طول شب را باید یادداشت کرد. اگر یک دماسنج در دسترس باشد حداقل دما را می توان به دست آورد.

درصد از بین رفتن جوانه ها: باید برآورد درصد از بین رفتن جوانه طی یک روز را ثبت کرد. در صورت امکان، باید میزان از دست رفتن جوانه ها روی درختان را نزدیک یک دماسنج دمای حداقل در سایه و نزدیک محلی که پایین ترین دما مشاهده می شود، به کمک چشم برآورد نمود.

ملاحظات: ملاحظات و مشاهدات فرد طی شب و صبح بعد از یخ بندان بسیار مفید خواهد بود. نکته دیگری که باید به آن توجه نمود این است که هرچه احساس می شود که دارای اهمیت است، باید یادداشت کرد ولی در عمل باید موارد زیر را مورد توجه قرار داد.

- شرایط آب و هوایی منطقه.

- مشکلاتی که ممکن است برای دستگاه ها و ماشین ها پیش آید (مثل بد کار کردن ماشین باد).

- هر شرایط خاص قابل تصویری که ممکن است در شب یخ بندان رخ دهد و بر تصمیم گیری تأثیر گذارد.

۲- تصمیم گیری به وسیله باغداران

فرآیند اتخاذ تصمیم به وسیله باغداران در شش مرحله توضیح داده می شود:

۲-۱) تهیه و تدارک ابزار و وسایل

باغدار باید تعیین کند که ابزار حفاظتی چه باشد. برای اینکه بتوان از ماشین های باد استفاده نمود، تانک های سوخت موتور آنها باید پر باشند و موتور از قبل آماده و تست شده باشد. برای بخاری ها، تانک های سوخت باید پر و چک گردند. در مورد آبیاری ها، خطوط لوله ها و نازل ها باید تمیز شوند. این آمادگی و تدارک، پیش از فصل یخ بندان و در فواصل مشخص طی فصل سرما صورت می گیرد. در روز هایی که یخ بندان پیش بینی می شود، باغداران باید اغلب وسایلشان را جهت اطمینان از اینکه درست کار می کند، مورد بررسی قرار دهند.

۲-۲) تعیین دمای بحرانی

دمای بحرانی نقطه ای است که خسارت به جوانه ها اتفاق خواهد افتاد. این دما به نوع درخت، وارسته میوه و نیز به مرحله رشد و نمو و شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد. اکثر باغداران معمولاً از دمایی استفاده می کنند که طی آن ۱۰٪ جوانه ها از بین می روند، این دمای بحرانی مورد انتظار است و سردتر از آن به حد بحرانی می رسد. همه باغداران باید جداول دمای بحرانی را در اختیار داشته باشند (دماهایی که منجر به ۱۰٪ و ۹۰٪ مرگ جوانه طی ۳۰ دقیقه در مراحل مختلف رشد و نمو برای محصولات مختلف می شوند). مثلاً "در مورد سیب، تفاوت میان مرگ سبک ده درصدی و احتمالاً مرگ شدید ۹۰٪ قبل و بعد از غنچه دهی، حدود ۲°C یا کمتر می باشد. در مورد سایر محصولات حساسیت مشابهی به تغییرات اندک دما وجود دارد.

در برخی از مناطق دنیا در فواصل زمانی مشخص طی یخ بندان، آزمون های مقاومت جوانه ها انجام شده و دماهای بحرانی تعیین می گردد و از طریق رادیو به باغداران اعلام می شود. برخی تولیدکنندگان همچنین، به آزمون های مقاومت جوانه که توسط یک شرکت محلی تولید میوه انجام می شود، دسترسی دارند ولی هیچ کدام از تولیدکنندگان جوانه های خود را تست نمی کنند. بعضی تولیدکنندگان همچنین دماهای بحرانی را بسته به شرایط آب و هوای موجود تنظیم می کنند. اگر باغی طی چند روز مواجه با هوای سرد باشد، جوانه ها مقاوم تر خواهند شد. از آنجا که دماهای بحرانی موجود در جداول، متوسط و میانگین هستند، باید توسط افراد تولیدکننده برای شرایط مختلف در باغشان، طی یک فصل بخصوص، تعدیل و تنظیم شوند. در نتیجه، یک عدم اطمینان در مورد اینکه جوانه ها چه دماهایی را می توانند تحمل کنند وجود دارد. آزمون های مقاومت در جوانه طی فصل، عدم اطمینان نسبت به این مورد را تا حدی کاهش می دهد ولی به یک باغ خاص اختصاص ندارد. بعضی از باغداران، آگاهانه و عمدتاً دمای بحرانی را در بعضی مواقع در طول روز تعیین می کنند و بقیه، از راه های غیرمرسوم و حسی استفاده می کنند. همه تولیدکنندگان از یک دمای بحرانی خاص برای باغ خود هنگامی که غروب می شود، در نظر می گیرند.

۲-۳) دستورالعمل برای پیش بینی

همه تولیدکنندگان معمولاً هرشب گزارش اعلام دمای حداقل در منطقه خود را از طریق رادیو و تلویزیون گوش می دهند و در نتیجه از شرایط کلی مورد انتظار چند روز آینده را مطلع می شوند. توجه خاص به هر تغییر که طی شب انتظار می رود مانند حرکت ابرها یا تغییر جهت باد یا حذف شدن ضروری است. دمای نقطه شبنم نیز معمولاً به وسیله ایستگاه مستقر در فرودگاه نزدیک منطقه در ساعات ۴ و ۷ بعدازظهر گزارش می شود.

باغداران به طور تجربی می دانند که کدام یک از ایستگاه های پیش بینی به باغشان شرایط مشابه تری دارد (براساس شرایط دما) و معمولاً می توانند بیان کنند که دمای باغ چقدر گرمتر یا سردتر می باشد (نسبت به شرایط ایستگاه). سپس براساس پیش بینی انجام شده در منطقه پیش بینی خود را تنظیم می کنند.

۲-۴) استفاده از دستگاه اعلام یخبندان Frost Alarm

تولیدکنندگان معمولاً، از زنگ های اعلام کننده خطر یخ بندان استفاده می کنند. این ابزار آژیر اعلام کننده خطر یخبندان حسگرهایی هستند که در باغ یا در یک منطقه ای قرار داده می شوند که دمای مشابه با دمای باغ دارد. یک زنگ اعلام کننده، معمولاً در زیر تخت باغدار قرار می گیرد و زمانی که دمای بیرون به سطح تنظیم شده می رسد (معمولاً چند درجه بالای دمای بحرانی) به کار می افتد و باغدار را مطلع می سازد. غالب تولیدکنندگان یک قانون خاص تجربی برای تنظیم و شروع راه اندازی آلام دارند. البته این قانون با پیشرفت فصلی تفاوت می کند.

۲-۵) کشیک شبانه

وقتی آلام یخ بندان فعال می شود، تولیدکننده بیدار می شود، یک دوره کشیک آغاز می شود. تولیدکننده در باغ می چرخد، کشیک می دهد و دوره های درجه حرارت های بحرانی را مشخص می کند. بعضی تولیدکنندگان از وسایل الکترونیکی برای نمایش مداوم دما استفاده می کنند. آنها همچنین از رادیو به اخبار وضعیت آب و هوا که نقاط شبنم را اطلاع می دهد و هر نوع تغییر در شرایط آب و هوا را اعلام می کند، گوش می دهند. یک باغدار حتی اگر ببیند همسایه اش بیدار نیست، معمولاً او را از خطر آگاه می کند.

۲-۶) تصمیم گیری برای اعمال حفاظت

در صورتی که همه ابزار و وسایل به درستی کار کنند، شروع به کار یک سیستم حفاظتی باید واقعا آنی باشد. بعضی مواقع تولیدکنندگان ماشین ها را روشن می کنند و آنها را با ادامه کاهش دماها تنظیم می کنند. حدود ۵ دقیقه طول می کشد تا ماشین ها به حد کافی هوای مخلوط ایجاد کنند تا مؤثر باشد. شروع کار و روشن کردن آبپاش ها آسان تر است. باغدار فقط باید یک دریچه را برگرداند و در بیشتر مواقع، یک پمپ را روشن نماید. تعدادی از ماشین های باد الکتریکی و بعضی آبپاش ها مجهز به کلیدهای روشن کننده خودکارند یا سوپاپ خودکار دارند که دستگاه ها را در یک دمای تنظیمی روشن می کنند.

تولیدکنندگان، حفاظت اولیه را در زمانی که دمای محیط چند درجه بالاتر از دمای بحرانی است، آغاز می کنند. این تصمیم به میزان کاهش دمای مشاهده شده، دمای نقطه شبنم و پیش بینی دمای حداقل بستگی دارد. اگر نقطه شبنم پایین باشد، شب صاف و آرام است و اگر پیش بینی دما پایین باشد، تولیدکنندگان برای یک کاهش و افت سریع درجه حرارت آماده

می شوند و حفاظت را زودتر از موقعی که نقطه شبنم بالا باشد یا پوشش ابر پیش بینی شود، آغاز می کنند. به دلیل آنکه زمان کوتاه است ابزارهای حفاظت از پیش آماده می شوند و در زمان شروع، تنظیمات جزئی کفایت می کند.

تولیدکنندگان به نمایش و ثبت دما در زمانی که وسایل حفاظتی راه اندازی می شود ادامه می دهند و اگر شرایط بهبود یابد، کار حفاظت راحت و آسان خواهد شد. در مورد برخی باغداران، حفاظت یک فرآیند متوالی است که یک سری مراحل دارد. آنها شاید برای حفاظت از مناطق مختلف در زمان های متفاوت تصمیم بگیرند. در صورت داشتن بخاری، تصمیم می گیرند که هنگامی که دما خیلی پایین می افتد، آن را همراه با ماشین های باد استفاده کنند.

خشک بودن هوا عموماً مقارن با زمان قبل از آغاز ماه نو یا بلافاصله قبل از کامل شدن قرص ماه و یا در زمان کامل بودن آن می باشد. احتمالاً شدت جزر و مد نیز با مقدار آبی که در زمان ماه نو یا کامل بودن قرص ماه تبخیر می شود و به هوا می رود و نیز با شدت بارندگی های بعد از آن، به نوعی ارتباط دارد. زمان خشک بودن هوا همان زمان وقوع یخ بندان است. هنگامی که رطوبت افزایش یابد، موجب افزایش دمای نقطه شبنم می گردد که این عامل به تنهایی می تواند مانع از وقوع دماهای بحرانی گردد، این شرایط تا هنگامی برقرار است که هوای خشک مجدداً از طریق مکانیزمی، جایگزین هوای مرطوب گردد. البته وقوع دماهای حداقل بحرانی را نمی توان تنها نتیجه سرد بودن هوا دانست، بلکه میزان خشک بودن هوا و به مقدار کمتری، میزان مرطوب بودن خاک نیز بر وقوع این دماها اثر دارند. بنابراین تا زمان ارائه پیش بینی های مربوط به اول ماه، باید منتظر ماند. شاید اگر برنامه ریزی برای کاشت گیاهان، بر مبنای علائم برج های سال و آثار طالع بینی انجام نگیرد و ارتباط احتمالی بین مقادیر مختلف دماهای پایین شبانه و میزان بارندگی در یک دوره زمانی معین، مشخص می شود، آنگاه دریابیم که اطلاعات مربوط به ماه را می توان به عنوان معیار قابل توجهی جهت برنامه ریزی در بخش های خاصی از کشور مد نظر قرار داد.

۳- به کارگیری روش حفاظتی

روش های حفاظتی به دو نوع فعال و غیر فعال تقسیم می شوند.

حفاظت غیرفعال شامل روش هایی است که در زمان قبل از فرا رسیدن شب های یخبندان انجام می شود تا نیاز به اجرای روش های فعال برطرف شود.

برای مثال عملیات مدیریتی غیرفعال شامل موارد زیر است:

۱. انتخاب مکان

۲. مدیریت زهکشی هوا

۳. انتخاب گیاه

۴. درخت کاری در پوشش گیاهی

۵. مدیریت تغذیه گیاه

۶. هرس به موقع

۷. سرمادهی به منظور تأخیر در شکوفه دهی

۸. استفاده از مواد شیمیایی جهت تأخیر در شکوفه دهی

۹. پوشاندن گیاه

۱۰. خودداری از عملیات خاک ورزی

۱۱. آبیاری صحیح

۱۲. حذف گیاهان پوششی

۱۳. پوشاندن خاک

۱۴. رنگ زدن تنه درخت

۱۵. پوشاندن تنه درخت

۱۶. کنترل باکتری ها

۱۷. تیمار بذرها با مواد شیمیایی

مدیریت مناسب در هر یک از روشهای حفاظتی غیرفعال در ادامه مورد بحث قرار می گیرد.

روش های حفاظتی فعال شامل اقداماتی است که در شب های وقوع یخبندان به منظور تعدیل و کاهش اثرات دماهای زیر صفر درجه انجام می گیرد. این روشها عبارتند از:

۱. بخاری ها

۲. ماشین های باد

۳. بالگردها

۴. آب پاش ها

۵. آبیاری سطحی

۶. عایق سازی با کف

۷. مه سازها

۸. روش های ترکیبی فعال

هزینه هر یک از این روش ها متغیر است و به امکانات و قیمت های محلی بستگی دارد. اما سود حاصل از استفاده از این سیستم ها به سایر موارد استفاده از آنها هم بستگی دارد (مثلاً آب پاش ها را می توان برای آبیاری هم استفاده کرد). هزینه ها و سود اقتصادی حاصل از سیستم های مختلف در بخشهای بعدی مورد بحث قرار گرفته است. همچنین تئوری عملکرد، مدیریت مناسب و مزایا و معایب هر یک از روش های حفاظتی فعال، مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

روش های غیرفعال معمولاً در دوره های درازمدت اجرا می شوند و کمتر از روش های فعال هزینه دارند و اغلب همین حسن آن ها بس که با استفاده از آنها دیگر نیازی به حفاظت فعال وجود نخواهد داشت. در ادامه مهم ترین روش های حفاظتی غیرفعال که در سطح دنیا جهت مقابله با خسارت های یخبندان مورد استفاده قرار می گیرند و قابلیت تطبیق با شرایط کشور جمهوری اسلامی ایران و به کارگیری در مناطق مختلف کشور را دارند مورد بررسی قرار می گیرند.

۱-۳) روشهای حفاظتی غیرفعال

۱-۱-۳) انتخاب و مدیریت مکان

کشاورزان معمولاً با برخی نقاط مزرعه یا باغ که بیشتر مستعد خسارت دیدن از یخ بندان هستند، آشنایی دارند. اولین مرحله در انتخاب یک مکان برای کاشت یک گیاه جدید گفتگو با مردم محلی درباره محصولات و ارقام مناسب برای منطقه می باشد. کشاورزان محلی و بازدید کنندگان اغلب به طور حسی می دانند که کدام مناطق ممکن است دارای مشکلات زیادی از این نظر باشند. مشخصاً نقاط گود در توپوگرافی یک محل دمای سردتری دارند و بنابراین در آنها بیشتر آسیب دیده می شود. با این حال ممکن است گاهی در بخشی از منطقه مورد کشت و نه در سایر بخش ها، بدون آنکه تفاوت های توپوگرافیکی در ظاهر دیده شود، خسارت رخ دهد. در برخی موارد این می تواند به دلیل تفاوت های نوع خاک باشد که ممکن است هدایت و ذخیره گرما در خاک را تحت تاثیر قرار دهد. خاک های شنی خشک گرما را بهتر از خاک های رسی سنگین انتقال می دهند و هر دو بهتر از خاک های پیت (آلی) گرما را ذخیره و منتقل می کنند. هنگامی که محتوای آب خاک تقریباً "به حد ظرفیت مزرعه رسید (یک یا دو روز پس از مرطوب شدن کامل خاک)، خاک در وضعیتی است که برای انتقال گرما و ذخیره بسیار مناسب می باشد، با این حال خاکهای آلی صرف نظر از محتوای آب در انتقال و ذخیره گرما ضعیف عمل می کنند. وقتی قرار است مکانی به ویژه در یک ناحیه مستعد یخ بندان، انتخاب شود باید از کاشت محصول در خاکهای آلی اجتناب کرد.

هوای خنک متراکم تر از هوای گرم است، بنابراین به طرف پایین تپه سرازیر می شود و در نقاط پست و پایین مانند آب سیلاب جمع می شود. بنابراین فرد باید از کاشتن گیاه در چاله های سرد پایین دست اجتناب کند، مگر آنکه روش های حفاظت فعال مناسب (از نظر هزینه) در استراتژی مدیریت طولانی مدت وی منظور شود. این مسئله در هر دو مقیاس منطقه ای و مزرعه ای حائز اهمیت است. برای مثال، در یک مقیاس ناحیه ای، پایین دره مجاور رودخانه ها معمولاً "سردتر از بالای شیب ها می باشد. همچنین می توان از روی نقشه های توپوگرافیکی، جمع آوری داده های مقادیر دما و مکانیابی از طریق مشاهده جاهایی که در آنجا اولین م ه های زمینی در سطح پایین تشکیل م میشوند، نسبت به تعیین این نقاط اقدام کرد. چاله

های پایین دست همواره شب های سردتری دارند، به ویژه در مواقعی که آسمان صاف و وزش ضعیف باد در سراسر سال، وجود دارد. اندازه گیری های دما برای شناسایی چاله های سرد می تواند در هر زمان از سال انجام شود.

کاشت گیاهان برگ ریز در شیب هایی که با نور خورشید مواجه نیستند، موجب تأخیر در شکوفایی گل ها در بهار می شود و اغلب باعث حفاظت گیاه می شود. درختان نواحی نیمه حاره ای را می توان به خوبی در شیب های رو به خورشید جایی که خاک و گیاه انرژی مستقیم نور خورشید را بیشتر دریافت و ذخیره می کند، کشت نمود.

۳-۱-۲) زهکشی هوای سرد

گاهی اوقات برای کنترل جریان هوا در اطراف مناطق کشاورزی از درختان، بوته ها، پشته های خاک، ساقه های علوفه (کاه) و حصارها استفاده می شود. استقرار درست آنها و قرار دادن آنها در مکان های مناسب می تواند بر پتانسیل خسارت یخ بندان موثر باشد. با مطالعه دقیق نقشه توپوگرافی، اغلب میتوان از مشکلات خسارت شدید سرمازدگی جلوگیری کرد. همچنین می توان از بمب های دودزا یا سایر ابزارهای تولید کننده دود جهت مطالعه مسیر جریان هوای سرد به طرف پایین شیب در شب استفاده نمود. این مطالعات و آزمایش ها باید در شب های با خصوصیات یخ بندان تشعشعی انجام شود ولی ضرورتی ندارد که دما به زیر نقطه صفر رسیده باشد. هنگامی که الگوی جریان زهکشی هوای سرد شناخته شد، قرار دادن مناسب موانع منحرف کننده جریان هوا می تواند درجه بالایی از حفاظت را فراهم آورد.

اگر محصولی قبلاً " در یک چاله سرد کشت شده باشد، چندین عملیات مدیریتی وجود دارد که می تواند به کاهش شانس خسارت ناشی از یخ زدگی کمک کند. هر مانعی را که مانع از زهکشی هوای سرد از کنار یک گیاه به سمت پایین شیب می شود باید حذف کرد. این موانع شاید پرچین ها، حصارها، لنگه های کاه یا پوشش گیاهی متراکم در پایین شیب مزرعه باشند. گاهی تسطیح مزرعه (زمین) می تواند زهکشی هوای سرد یک محصول را بهبود بخشد، به گونه ای که ورود هوای سرد برای عبور از بین محصول ادامه یابد. ردیف های درختان در باغستان ها و تاکستان ها باید طوری طراحی شوند که زهکشی مطلوب و طبیعی هوای سرد به خوبی از میان آنها انجام شود. با این حال باید محاسن ایجاد ردیف های طراحی شده محصول برای افزایش زهکشی هوای سرد در مقابل مضرات آن از قبیل فرسایش و سایر مشکلات، سنجیده و متعادل شود.

۳-۱-۳) انتخاب بوته

انتخاب گیاهان دیرگل و گیاهان دارای تحمل بیشتر به یخ زدگی به منظور کاهش احتمال خسارت در اثر یخ بندان بسیار مهم می باشد. برای مثال در درختان میوه و تاک های برگ ریز مشخصاً به تنه، شاخه ها یا جوانه های در حال خواب خسارتی وارد نمی شود، ولی میوه های دانه ریز در مرحله گلدهی و نمو خسارت می بینند. انتخاب گیاهان برگ ریز که خواب جوانه های آنها دیر می شکند و دیر گل می دهند، از نظر حفاظت در مقابل سرما خیلی موثر است، زیرا احتمال و ریسک خسارت یخ بندان به سرعت در بهار کاهش می یابد. در مرکبات انتخاب ارقام دارای مقاومت بیشتر اهمیت دارد. برای مثال لیموها کمترین تحمل را به خسارت یخ بندان دارند.

برای گیاهان مزرعه ای و یکساله و گیاهان ردیفی، تعیین تاریخ کاشتی که در آن تاریخ پتانسیل دمای زیر صفر در حداقل ممکن باشد، اهمیت دارد. در برخی موارد محصولات مزرعه ای و ردیفی یک ساله مستقیماً در محیط اصلی بیرون کشت نمی شوند، بلکه در محیط های حفاظت شده کاشته می شوند و پس از رفع خطر یخ زدگی به محیط اصلی انتقال می یابند. اگر

امکان اجتناب از دماهای یخ زدگی وجود نداشته باشد، آنگاه باید گیاهان بر اساس تحمل آنها به دماهای زیر صفر، برای کاشت انتخاب شوند.

۳-۱-۴) تاج درختان (کنوبی):

در برخی از کشورها نظیر کالیفرنیا جنوبی در ایالات متحده، کشاورزان مرکبات و خرما را با هم می کارند، بخشی از دلیل این کار این است که درختان خرما موجب حفاظت مرکبات در برابر یخ بندان می شوند. چون خرما یک محصول تجاری و بازار پسند است، این کار یک روش موثر و مفید برای حفاظت گیاهان در برابر یخبندان، بدون تلفات اقتصادی می باشد. همینطور در آلاباما برخی کشاورزان درختان کاج را با درختان کوچک نارنگی ساتسوما در بین هم می کارند. درختان کاج موجب افزایش تابش طول موج بلند به سوی پایین می شوند و باعث حفاظت درختان نارنگی میگردند. در برزیل درختان سایه دار برای حفاظت از درختان قهوه از خسارت یخ بندان استفاده می شوند.

۳-۱-۵) مدیریت کوددهی گیاه:

درختان بیمار نسبت به خسارت یخ بندان حساسیت بیشتری دارند. کوددهی باعث افزایش سلامت گیاه می شود. همچنین درختانی که به طور مناسب کوددهی نشده اند، خیلی زود در پاییز برگ های خود را از دست می دهند و در بهار زودتر از موقع به شکوفه می نشینند. این مسأله موجب حساسیت بیشتر آنها نسبت به خسارت سرما می شود. با این حال رابطه میان مواد غذایی خاص و افزایش مقاومت تا حدی مبهم است و در مقالات تناقض ها و تفاسیر ناقص زیادی وجود دارد. به طور کلی دادن کود از ته و فسفات قبل از وقوع یخ بندان موجب تحریک رشد و افزایش حساسیت گیاه در برابر سرما می شود. به منظور افزایش مقاومت گیاهان، باید از به کار بردن کود از ته در اواخر تابستان یا اوایل پاییز اجتناب نمود. با این حال فسفر برای انجام تقسیم سلولی حائز اهمیت است و در نتیجه برای بازیابی دوباره گیاه پس از خسارت یخ زدگی اهمیت دارد. پتاسیم اثر مطلوبی روی تنظیم آب و فتوسنتز در گیاه دارد. با این حال محققین درباره فواید پتاسیم در حفاظت گیاهان از یخ زدگی اختلاف نظر زیادی دارند.

گیاهانی که با مقادیر بهینه و متعادل عناصر غذایی رشد می کنند می توانند دماهای پایین را بهتر تحمل کنند و آسیب های ناشی از سرما در آنها خیلی سریع تر ترمیم می گردد. یک گیاه سالم نقطه یخ بندان پایین تری دارد، لذا به کار بردن کود برای سالم نگهداشتن گیاه ضروری است. توصیه میزان کود و زمان مناسب کوددهی از محلی به محل دیگر متفاوت است. برای مثال در منطقه فلوریدای آمریکا، گیاهان زینتی را چهار بار در سال کود می دهند و یا در فصل پاییز لازم است مقدار کود مصرفی کاهش یابد، زیرا مصرف عناصر غذایی توسط گیاه در فصل سرد سال کاهش می یابد.

نتایج آزمایش های مزرعه ای نشان داده است که سطح نیتروژن خاک قابل دسترس گیاه معمولاً تأثیری بر پتانسیل مقاومت به سرما ندارد، مگر آنکه نیتروژن در زمان کاشت در محل ردیف کاشت قرار گیرد. زیرا کودهای اوره و نترات آمونیوم، هر دو در صورتی که در ردیف بذر قرار گیرند، موجب کاهش تعداد و اندازه گیاهچه ها خواهند شد، به ویژه هنگامی که خاک در زمان کاشت خشک باشد. کود اوره در مقایسه با نترات آمونیوم خسارت های شدیدتری وارد می کند. قرار دادن اوره و نترات آمونیوم در فاصله حداقل ۲/۵ سانتی متر از محل بذر می تواند آسیب های وارد بر گیاهچه را به حداقل برساند.

نیترات آمونیوم را می توان در مقادیر کم در محل ردیف بذر قرار داد ، با این حال حتی در مقادیر کم نیز پس از وقوع تنش های شدید سرما، میزان از بی ن رفتن گیاهان در اثر کود قرار گرفته در محل بذر، افزایش می یابد.

۶-۱-۳) مدیریت آفات:

استفاده از آفت کش های روغنی بر روی مرکبات باعث افزایش خسارت گیاهان از یخ بندان می شود. بنابراین باید از به کار بردن این مواد قبل از فصل سرما برای مدت کوتاهی خودداری گردد.

۳-۱-۷) هرس مناسب:

در تاکستان ها هرس دیر هنگام به منظور به تاخیر انداختن رشد و شکوفه دهی درختان توصیه می شود. هرس شدید را باید تا زمان شروع رشد مجدد گیاه به تأخیر انداخت تا بافت چوبی زنده بریده نشود . باغدار باید در ماه شهریور (آگوست) از هرس سنگین خودداری کند (هرس سبک مشکل ساز نیست)، زیرا رشد جدید گیاه را تحریک می کند و گیاه فرصت آنکه قبل از یخ بندان بالغ شود نخواهد داشت . همچنین در اواخر پاییز نیز نباید هرس سنگین انجام داد زیرا تا زمان ی که محل بریدگی ها التیام یابد، مقاومت به سرمای گیاه شدت می یابد . گیاهان چوبی در ۴ تا ۶ هفته پس از اولین یخ زدگی شدید زمستانه، نباید هرس شدید شوند . پس از وقوع یخ بندان می توان هرس سبک انجام داد . از هرس گیاه در تابستان و اوایل پاییز باید خودداری شود . زیرا این کار باعث برهم خوردن تعادل هورمونی گیاه و باز شدن جوانه های رویشی جانبی و آغاز رشد مجدد شود . این رشد جدید باعث افزایش حساسیت در برابر سرما می شود.

۸-۱-۳) پوشاندن گیاهان با پوشش های مناسب

پوشش های ردیفی روی گیاه گرم تر از آسمان صاف می باشند و بنابراین این پوشش ها موجب افزایش تابش امواج طول موج بلند به سمت پایین در شب می شوند. به علاوه این پوشش ها موجب کاهش جریان گرمای انتقالی به هوا و تلفات گرما می شوند. پوشش های کلسی و مواد مصنوعی هم معمولاً استفاده می شوند. به دلیل هزینه های کارگری، این روش عمدتاً " در کشت های کوچک و گیاهان کم ارتفاع که نیاز به چارچوب محکم ندارند ، به کار می رود. گاهی اوقات مشکلات بیماری به دلیل تهویه ناقص بروز می یابد.

پلاستیک های پلی پروپیلن ریسیده شده یا بافته شده گاهی برای حفاظت محصولات بسیار با ارزش استفاده می شود. در این موارد درجه حفاظت تأمین شده، از حدود ۱ تا ۵ درجه سانتی گراد بسته به ضخامت پلاستیک متفاوت است . پلاستیک سفید گاهی بر فراز ردیف نشاها به کار می رود، اما برای درختان میوه و سبزیجات نمی توان از آن استفاده کرد . در برخی از مناطق ، پوشش تاکستان ها با پلی اتیلن سیاه برای افزایش دمای هوای مجاور برگ ها تا حد ۱/۵ درجه سانتی گراد انجام شده است . پلاستیک شفاف عموماً موثرتر است.

۹-۱-۳) اجتناب از خاکورزی

انجام هرگونه خاک ورزی موجب ایجاد فضاهای هوا در خاک می شود . بنابراین باید طی دوره های مستعد یخبندان از انجام این عملیات اجتناب شود . هوا یک هادی ضعیف گرماست و دارای گرمای ویژه پایینی می باشد. بنابراین خاک های دارای فضاهای هوای بیشتر و بزرگتر، گرمای کمتری را انتقال میدهند یا ذخیره می کنند. اگر خاکی مورد عملیات خاکورزی

نظیر شخم قرار گرفته باشد، باید از طریق فشرده کردن و آبیاری، به انتقال و ذخیره گرما در آن کمک کرد و از این طریق این مشکل را بهبود بخشید.

۱۰-۱-۳) آبیاری صحیح

وقتی خاک ها خشک هستند، فضاهای هوای بیشتری وجود دارد که باعث جلوگیری از انتقال و ذخیره گرما در خاک می شود. بنابراین در سالهای خشک، حفاظت از یخ زدگی از طریق مرطوب کردن خاک های خشک بهبود می یابد. هدف نهایی، نگهداری محتوای آب خاک در حدود ظرفیت مزرعه (fc) است که همان محتوی آب خاک ۳-۱ روز پس از مرطوب کردن کامل و سراسری می باشد. مرطوب کردن عمیق خاک (تا عمق زیاد خاک) ضرورتی ندارد، زیرا بیشتر انتقال و ذخیره روزانه گرما در عمق بالاتر از ۳۰ سانتی متر رخ می دهد. مرطوب کردن خاک اغلب موجب تیره تر شدن خاک می شود و در نتیجه باعث افزایش جذب تشعشع خورشیدی در خاک می گردد. هنگامی که سطح خاک مرطوب است، تبخیر نیز افزایش می یابد و هدررفت انرژی به صورت بخار منجر به کاهش مزایای حاصل از جذب بهتر انرژی تابشی می شود. بنابراین بهترین کار، مرطوب کردن مناسب خاک های خشک پیش از وقوع یخبندان است، به طوری که خورشید بتواند خاک را گرم کند.

۱۱-۱-۳) حذف گیاهان پوششی از مزرعه یا باغ

برای حفاظت غیرفعال در برابر یخبندان بهتر است کلیه گیاهان پوششی از باغات و تاکستان ها حذف شود. حذف گیاهان پوششی موجب افزایش جذب تابشی خاک می شود و انتقال و ذخیره گرما در خاک را بهبود می بخشد. گیاهان پوششی همچنین موجب افزایش تراکم باکتری های فعال تشکیل دهنده هسته یخی (INA). در مقایسه با بسیاری از گیاهان باغی و مو می گردند. بنابراین وجود گیاهان پوششی در سطح باغ و تاکستان، باعث افزایش تراکم باکتری های INA روی گیاهان شده و پتانسیل خسارت حاصل از یخبندان را افزایش می دهند.

معمولاً وجین علف های هرز، شخم زدن و اسپری آفت کش ها، روش هایی هستند که جهت حذف گیاهان پوششی از سطح مزرعه یا باغ مورد استفاده قرار می گیرند. در صورت امکان، گیاهان پوششی باید خیلی زود وجین شوند تا امکان تجزیه بقایا یا حذف آنها از سطح مزرعه یا باغ فراهم شود. موثرترین و کارآمدترین روش برای از بین بردن گیاهان پوششی و یا پایین نگه داشتن رشد آنها استفاده از علف کش ها است. مجدداً یادآوری می شود که این کار باید قبل از وقوع دوره مستعد یخ بندان انجام شود.

۳-۱-۱۲) خاک پوش:

پوشش های پلاستیکی، اغلب برای گرم کردن خاک و افزایش حفاظت در برابر سرما استفاده می شوند. پلاستیک شفاف خاک را بیشتر از پلاستیک سیاه گرم می کند. مرطوب کردن خاک پیش از استفاده از پلاستیک، موجب افزایش کارایی استفاده از پلاستیک می شود و خیلی موثر است. گاهی خاک پوشهای گیاهی طی دوره خواب درختان برای کمک به جلوگیری از خسارت به ریشه ها در نتیجه یخ زدگی و آب شدن یخ، استفاده می شوند. با این حال خاک پوش های رویشی انتقال گرما را به خاک کاهش می دهند و گیاهان باغی را بعد از شکسته شدن دوره خواب جوانه هایشان به یخ بندان حساس تر می کنند. خاک پوش های گیاهی فقط برای مناطقی که خاک یخ می زند و مشکل ایجاد می کند توصیه می شوند. برای

باغ های دارای درختان همیشه سبز، حذف پاجوش ها و تنه جوش ها، موجب انتقال بهتر انرژی تابشی به خاک زیر درختان می شود و می تواند باعث بهبود حفاظت گیاه شود.

۱۳-۱-۳) رنگزنی و پوشش تنه درخت

پوست تنه درختان خزان دارگاهی در نتیجه وجود نوسانات دمایی از یک روز گرم تا یک شب یخبندان ترک می خورند. با رنگ کردن تنه با یک رنگ سفید لاتکس محلول در آب، که به میزان ۵۰ درصد با آب رقیق شده باشد در اواخر پاییز وقتی دمای هوا بالای ۱۰ درجه سانتی گراد باشد، می توان مشکل فوق را کاهش داد. رنگ سفید، عایق بندی تنه درخت و استفاده از سایر پوشش ها برای پیچیدن دور تنه، در بهبود مقاومت در برابر خسارت یخبندان درختان هلو موثر شناخته شده است.

تنه ها باید از سطح زمین تا جایی که ممکن توسط پوشش مخصوص پوشانده می شوند. پوشش های عایق فایبرگلاس و پلی اورتان با مقاومت بالاتر نسبت به انتقال گرما، بهترین حفاظت را فراهم می آورند و در میان پوشش های تجاری در دسترس، بهترین هستند. معمولاً پوشش های روی تنه درختان، بعد از ۳-۴ سال باید برداشته شوند. پوشش تنه درختان مرکبات جوان با کیسه های حاوی آب حتی بهتر از پوشش های فایبرگلاس یا پلی اورتان، گیاهان را در مقابل سرما حفاظت می کند. وقتی تنه، در پوشش قرار می گیرد، پتانسیل حمله بیماری ها افزایش یافته، و مشکلات مربوط به بیماری ها ظاهر می شود، بنابراین محل تراکم شکوفه ها باید، حداقل در ۱۵ سانتی متری بالای محل پوشش قرار داشته باشد. با استفاده از اسپری های قارچ کش و پیش از پیچاندن پوشش به دور تنه می توان به کاهش مشکلات ناشی از بیماریها کمک نمود.

۱۴-۱-۳) کنترل باکتری ها:

برای وقوع یخ زدگی، فرآیند تشکیل یخ معمولاً به وسیله باکتری های INA آغاز می شود. هر چه تراکم این باکتری ها در مزرعه بیشتر باشد، احتمال تشکیل یخ بیشتر خواهد شد. پس از تشکیل یخ، بلورهای آن از طریق منافذ سطح بافت گیاهی وارد گیاه شده و در درون گیاهان تکثیر و توسعه می یابند. معمولاً علف کش ها (ترکیبات مس) برای از بین بردن باکتری ها استفاده می شود. همچنین ممکن است باکتری های فعال غیرتشکیل دهنده هسته یخی (NINA)، به عنوان رقیب برای رقابت و کاهش تراکم باکتری های INA استفاده شوند. این روش محافظت در برابر یخ بندان کاربرد وسیعی ندارد.

در ادامه تئوری عملکرد، مدیریت مناسب و مزایا و معایب هر یک از روش های حفاظتی فعال، مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. اگر چه این نوشتار اطلاعاتی را در مورد مهم ترین روش های حفاظت در برابر یخ بندان ارائه می نماید، اما مناسب بودن یا نبودن یک روش حفاظتی به عوامل متعددی بستگی دارد. در اینجا به بررسی مهم ترین روش هایی که در حال حاضر در سطح جهان مورد استفاده قرار می گیرند، می پردازیم و فناوری های مناسب برای کشورهایی که با محدودیت منابع و امکانات روبرو هستند، معرفی می شود.

۱۴-۲) روشهای حفاظتی فعال:

۱۴-۲-۱) بخاری ها

یک روش برای جایگزینی انرژی از دست رفته از گیاه در شب های یخبندان، سوزاندن توده های سوخت (جامد، مایع یا گاز) در انواع مختلف بخاری هاست. بسته به موقعیت مکانی بخاری ها نسبت به گیاهان، مقداری از انرژی تشعشعی حاصل از

بخاری، مستقیماً به قسمت های مختلف گیاه می رسد و دمای آن را افزایش می دهد. علاوه بر آن هوایی که از شعله های آتش گرم شده است، آزادانه به حرکت درمی آید و در صورتی که باد بوزد یا از ماشین باد در ترکیب با بخاری ها استفاده شود، این گرما به گیاهان و هوای داخل و بالای پوشش گیاهی منتقل می شود. شرایط آب و هوایی که برای افزایش کارایی بخاری ها مناسب است، عبارت است از هوای آرام و بدون وزش باد و وجود وارونگی دمایی شدید.

بیش از ۲۰۰۰ سال است که از بخاری ها به منظور حفاظت از گیاهان در برابر یخ زدگی استفاده می شود و اثرات و روش شناسی این وسیله امروزه به خوبی شناخته شده است. به طور کلی بخاری ها به دو نوع تقسیم می شوند. بخاری هایی که دمای اشیای فلزی را بالا می برند (مانند بخاری های دودکش دار) و بخاری هایی که به صورت آتش روباز عمل می کنند. استفاده از بخاری از نظر فنی بسیار مطمئن و قابل اعتماد است و تا قبل از اینکه مشکلات آلودگی هوا و هزینه با لای سوخت نسبت به ارزش گیاهان مطرح نشده بود، اکثر کشاورزان استفاده از این روش را برای مقابله با سرما و یخبندان ترجیح می دادند. امروزه در کشورهای توسعه یافته، بخاری ها تنها به عنوان مکمل در روش های حفاظتی دیگر و در زمان یخبندان های شدید و برای گیاهان با ارزش اقتصادی بالا مورد استفاده قرار می گیرند. در شب های یخبندان، میزان هدررفت انرژی از یک گیاه بیش از انرژی به دست آمده برای آن است و این باعث کاهش دمای گیاه می شود. انرژی عمدتاً به صورت تشعشع خالص به هدر می رود و تا حدودی به وسیله گرمای محسوس و جریان گرمایی ر و به بالا در خاک جبران می شود. اگر پدیده تراکم بخار آب (تشکیل شبنم یا یخ) اتفاق افتد، گرمای نهان آزاد شده از این طریق هم می تواند بخشی از انرژی هدر رفته را جبران نماید. بخاری ها به تأمین انرژی مکمل برای جایگزین کردن انرژی خالص از دست رفته کمک می کنند. اگر گرمای کافی به محیط گیاه اضافه شود و تمامی انرژی از دست رفته جبران شود، دما کاهش نخواهد یافت. با این حال، ناکارآمدی در عملکرد بخاری ها وجود دارد و در برخی شرایط، محدودیت های مالی مانع از تأمین انرژی کافی برای بازدهی کامل بخاری ها می گردد.

با طراحی و مدیریت مناسب بخاری ها می توان کارایی این وسیله را تا آنجا بهبود بخشید که در زمان اغلب یخبندان های تشعشعی بتواند گیاه را به خوبی محافظت نماید. با این حال در شرایطی که وارونگی دمایی ضعیف باشد یا وجود نداشته باشد و یا باد بوزد، ممکن است بخاری ها نتوانند حفاظت کافی را تأمین نمایند.

بخاری ها از طریق تشعشع مستقیم گرما به گیاهان اطراف خود و نیز با اختلاط لایه های هوا از طریق جابه جایی در درون لایه وارونگی، از گیاهان حفاظت می کنند. بخاری های مایع سوز معمولاً در حدود 3MJ انرژی به ازای هر لیتر سوخت تأمین می کنند و انرژی مورد نیاز برای این خروجی، بسته به شرایط شب های یخبندان، در حدود ۱۴۰ تا 280 Wm^{-2} (معادل ۵ تا $10 \text{ GJha}^{-1}\text{h}^{-1}$) می باشد (بلانک و همکاران، ۱۹۶۳). با تقسیم کردن مقدار انرژی مورد نیاز بر حسب ژول بر هکتار بر ساعت به انرژی خروجی بر حسب ژول بر لیتر، مقدار سوخت مورد نیاز بخاری بین ۱۳۳ تا $265 \text{ Lit ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ به دست می آید. تعداد بخاری های مورد نیاز هم به سطح حفاظت مطلوب و سرعت سوختن بخاری ها بستگی دارد. اگر هر بخاری در حدود یک لیتر در ساعت سوخت مصرف کند، آنگاه با تقسیم کردن مقدار سوخت مورد نیاز به سرعت مصرف سوخت، تعداد بخاری های مورد نیاز در حدود ۱۳۳ تا ۲۶۵ عدد در هر هکتار به دست می آید. برای افزایش کارایی حفاظت، بهتر است از تعداد بخاری های بیشتری استفاده کرد و مصرف سوخت به ازای هر بخاری را پایین نگه داشت.

توزیع بخاری ها در مزرعه یا باغ باید به صورت نسبتاً یکنواخت باشد و در حاشیه ها ، به خصوص در بالادست مسیر وزش باد ، بخاری های بیشتری قرار داده شود . اگر گیاه مورد نظر بر روی یک شیب واقع شده باشد ، لازم است که در بالای شیب که هوای سرد از آنجا به طرف گیاه جریان می یابد ، بخاری های بیشتری قرار داده شود. در شرایط وقوع یخ زدگی، هنگامی که سرعت باد از $2/2 \text{ ms}^{-1}$ ($7/9 \text{ Km h}^{-1}$) بیشتر باشد، گرمای بسیار زیادی از طریق جابه جایی افقی به هدر می رود و بنابراین در حاشیه بالادست مسیر وزش باد به تعداد بخاری بیشتری نیاز است . در نقاط پست که سردتر هستند نیز باید بخاری بیشتری قرار داده شود . ابتدا باید بخاری هایی که در قسمت های حاشیه ای قرار دارند روشن شوند و سپس در صورتی که نیاز باشد ، تعداد بیشتری بخاری باید روشن شود (یعنی در صورتی که سرعت باد افزایش یابد یا دما بیشتر کاهش یابد). هزینه کارکرد بخاری ها بسیار زیاد است و بنابراین این وسیله معمولاً در ترکیب با ماشین باد و یا به عنوان گرم کننده قسمت های حاشیه ای در ترکیب با آب پاش ها استفاده می شود.

الف) بخاری های مایع سوز

بخاری های مایع سوز در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی به منظور حفاظت در برابر یخبندان توسعه یافتند. با بالا رفتن قیمت نفت و نیز افزایش نگرانی های جهانی در مورد آلودگی هوا، روند استفاده از این بخاری ها رو به کاهش گذاشت . امروزه هر چند که بخاری های مایع سوز در سطح وسیع مورد استفاده قرار نمی گیرند، اما هنوز هم در مناطقی که منع قانونی وجود نداشته و یا قیمت سوخت بالا نباشد ، این بخاری ها به عنوان یک ابزار حیاتی در مبارزه با یخبندان مطرح هستند . نیروی انسانی مورد نیاز جهت استقرار، سوخت رسانی و تمیز کردن این بخاری ها بسیار زیاد است و علاوه بر آن هزینه اولیه تأمین بخاری و سوخت آن خیلی بالاست . معمولاً در هر هکتار باغ ، ۷۵ تا ۱۰۰ بخاری نفت سوز دودکش دار یا ۱۵۰ تا ۱۷۵ بخاری با سوخت پروپان لازم است و توان تولیدی به وسیله یک سیستم بخاری با طراحی و کارایی مناسب، در حدود 1 MW ha^{-1} (یا $1/23 \text{ W m}^{-2}$) می باشد . سرعت تقریبی مصرف سوخت در بخاری های نفت سوز در حدود $2/8 \text{ Lith}^{-1}$ به ازای هر بخاری و در بخاری های پروپان سوز در حدود $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ به ازای هر بخاری است . در یک شب یخبندان معمولی، بیش از نیمی از انرژی خروجی بخاری ها به صورت تشعشع به آسمان و یا از طریق جریان همرفتی به هدر می رود، بنابراین گرمایی که به گیاه می رسد در مقایسه با گرمای خروجی از بخاری بسیار اندک است . لازم به ذکر است که این اعداد و ارقام و مقادیر توصیه شده مربوط به باغ های بزرگ درختان خزان دار است که به وسیله سایر باغ های حفاظت شده ، احاطه شده اند. اما در مورد باغ های کوچک یا دورافتاده تر ممکن است به تعداد بخاری بیشتری نیاز باشد.

انواع مختلفی از بخاری ها برای حفاظت در برابر یخبندان وجود دارند . بخاری های با شعله روباز (بدون دودکش) معمولاً ارزان ترند و حمل و نقل و پر کردن مخزن آنها هم ساده تر است و نوسازی آنها با استفاده از قوطی های حلبی ، رنگ یا نفت به سادگی میسر است . این بخاری ها اندازه کوچک تری هم دارند و افزایش تعداد آنها جهت اختلاط بهتر هوا بدون وجود اثرات دودزایی ، به راحتی امکان پذیر است. این کار می تواند باعث بهبود حفاظت در برابر یخبندان شود . اما ازسوی دیگر به دلیل فرار بودن بیشتر سوخت در این بخاری ها، کارایی مصرف سوخت کمتر و آلودگی هوا بیشتر است . در برخی مناطق، استفاده از این بخار یها برای حفاظت در برابر یخبندان ممنوع است.

قوانین مربوط به آلودگی هوا غالباً سخت گیرانه و لازم الاجرا هستند و قبل از خرید و استفاده از بخاری ها لازم است از قوانین محلی به خوبی آگاهی کسب کرد . قوانین مربوط به استفاده از سوخت های مختلف برای حفاظت در برابر یخبندان در

اغلب مناطق یک کشور یکسان است. به علاوه در برخی مناطق قوانین خاصی برای استفاده از بخاری ها وضع شده است. مثلاً آژانس ایالتی محیط زیست در فلوریدا قانونی وضع کرده است که بر طبق آن لازم است در زمان استفاده از بخاری برای حفاظت در برابر یخبندان، دمای هوا با استفاده از یک محفظه هواشناسی کرکره ای استاندارد یا یک محفظه مخصوص یخ زدگی میوه ها به صورت مرتب ثبت شود. به هر حال قبل از استفاده از بخاری ها باید تمامی قوانین محلی را به دقت بررسی نمود.

ب) بخاری های با سوخت پروپان و گاز طبیعی

همان طور که قبلاً بیان شد، کار مورد نیاز برای پرکردن مجدد مخزن بخاری های مایع سوز خیلی زیاد است، بنابراین برخی کشاورزان به سمت استفاده از سیستم های توزیع سوخت مرکزی گرایش پیدا کردند. در این سیستم ها سوخت با استفاده از لوله کشی به بخاری ها می رسد. این سوخت می تواند گاز طبیعی، گاز مایع، پروپان مایع یا نفت باشد. در سیستم های پیشرفته تر، علاوه بر توزیع سوخت، عمل اشتعال، تنظیم سرعت سوخت و تنظیم و خاموش کردن شعله هم به طور خودکار انجام می گیرد. هزینه اولیه برای نصب و راه اندازی سیستم های مرکزی زیاد است، اما هزینه کارکردی این سیستم ها پایین است. بخاری های با سوخت پروپان نیاز کمتری به تمیز کردن دارند و کنترل سرعت سوخت در آنها آسان تر از بخاری های نفت سوز است. همچنین با توجه به کمتر بودن سرعت سوخت در این بخاری ها، به تعداد بیشتری از این نوع بخاری در هکتار نیاز است (حدود ۱۳۰ تا ۱۵۰ بخاری در هکتار)، اما حفاظت بهتری با استفاده از این بخاری ها تأمین می شود. در شرایط یخبندان های خیلی شدید، ممکن است تانکر مخزن پروپان یخ بزند، بنابراین به یک گرمکن بخارساز هم نیاز است تا از یخ زدن پروپان در خطوط انتقال گاز جلوگیری کند.

ج) بخاری های با سوخت جامد

در سطح جهان تا قبل از آنکه سوخت های مایع استفاده شود، برای حفاظت در برابر یخبندان از سوخت های جامد استفاده می شد. اما با پایین آمدن قیمت سوخت های مایع، به ویژه در آمریکای شمالی کشاورزان به سمت استفاده از سوخت های مایع گرایش یافتند. هنگامی که محققان دریافتند که نسبت انرژی تشعشعی به کل انرژی آزاد شده از سوخت های جامد (مانند چوب، ذغال سنگ و کک) در حدود ۴۰ درصد و برای سوخت های مایع حدود ۲۵ درصد است (کپنر، ۱۹۵۱)، استفاده از سوخت های جامد مجدداً رواج پیدا کرد و بخاری های با سوخت جامد بار دیگر احیا شدند. بالا بودن نسبت انرژی تشعشعی به کل انرژی آزاد شده، یک مزیت بزرگ برای سوخت های جامد محسوب می شود و در شرایط وزش بادهای شدید (مثلاً به هنگام وقوع یخبندان های انتقالی) از اهمیت زیادی برخوردار است. اما عیب بزرگ سوخت های جامد آن است که با ادامه مصرف سوخت، میزان آزاد شدن انرژی از آن هم کاهش می یابد و در شرایطی که به انرژی گرمایی زیادی نیاز است، این عامل محدود کننده خواهد بود (هنز، ۱۹۶۹؛ مورت سولف، ۱۹۷۹). یک عیب دیگر این سوخت ها هم آن است که اشتعال آنها به سختی انجام می گیرد و باید خیلی زود تر روشن شوند. همچنین خاموش کردن شعله سوخت های جامد هم مشکل است و اگر نیاز به روشن کردن این سوخت باشد، معمولاً تمامی آن به هدر می رود.

انواع مختلفی از سوخت های جامد وجود دارند که برای حفاظت در برابر یخبندان استفاده می شوند (مانند چوب، کک، تایرهای لاستیکی کهنه، پارافین شمع و ذغال سنگ). بعضی از شرکت های نفتی هم محصولاتمانند واکس پترولیوم که یک محصول جانبی پالایش نفت است و کک را به اشکال متنوعی مانند شمع و یا قطعه های مکعبی شکل به بازار عرضه می

کنند، که برای این منظور قابل استفاد هاند. در مجموع س وخت های جامد در مقایسه با سوخت های مایع، نتایج بهتری را در زمینه حفاظت در برابر یخبندان حاصل می کنند. مثلاً استفاده از دو شمع تهیه شده از واکس نفت در زیر هر درخت گریپ فروت در یک باغ، باعث افزایش میانگین دمای میوه ها به میزان $7/1^{\circ}\text{C}$ گردید. بنابراین بازدهی انرژی (یعنی دمای میوه در داخل و خارج پوشش شاخ و برگ درخت) حاصل از شمع های واکسی، بیش از دو برابر بازدهی حاصل از سوزاندن سوخت های مایع بوده است (میلر، تورل و اوستین، ۱۹۶۶). استفاده از 375 قطعه واکس پترولیوم و کک در هر هکتار نیز باعث افزایش دما تا ارتفاع $1/1$ متری به میزان $2/2^{\circ}\text{C}$ گردید (پارسون، شولتز و لیدر، ۱۹۶۷). مشعل های مایع سوز برای گرم کردن دمای هوا در یک پوشش گیاهی به همین اندازه، به دو برابر این مقدار انرژی احتیاج دارند. مثلاً بخاری هایی که سوخت آنها از واکس پترولیوم بود، تنها ۶۰ درصد از مقدار انرژی که معمولاً برای تأمین سطح معینی از حفاظت نیاز است را مصرف می کنند (شولتز، لیدر و پارسونز، ۱۹۶۸). همچنین با استفاده از قطعات واکس پترولیوم و کک، تعدیل دما در داخل لایه وارونگی در نزدیکی سطح زمین که محل قرار گرفتن گیاه است، به شکل بهتر و مؤثرتری انجام می گیرد (ژریر، ۱۹۶۹). بنابراین مسلم است که برای افزایش کارایی حفاظت، بهتر است به جای استفاده از تعداد کمی آتش بزرگ، از تعداد زیادی آتش کوچک استفاده شود.

د) بخاری های متحرک

بخاری های متحرک در سطح تجاری به عنوان روشی برای حفاظت در برابر یخبندان قابل دسترسی هستند، اما تحقیقات علمی زیادی درباره این وسیله انجام نشده است. سیستم بخاری متحرک شامل ۴ مخزن ۴۵ کیلوگرمی پروپان است که سوخت مورد نیاز بخاری که بر پشت تراکتور نصب می شود را تأمین می کنند. یک پروانه سانتریفیوژی هم در این بخاری تعبیه شده است که هوای گرم شده را به صورت افقی و در جهت عمود بر مسیر حرکت تراکتور به بیرون می دهد. پس از روشن کردن بخاری، سوخت آن به گونه ای تنظیم می شود که دمای هوای گرم شده در بخاری که به بیرون دمیده می شود، حدود 100°C باشد. در هنگام کار، جریان هوای گرم تا فاصله ۵۰ تا ۷۵ متری از دو طرف تراکتور می رسد. تراکتور به گونه ای در امتداد ردیف های کاشت حرکت می کند که در هر مسیر رفت و برگشت، فضای ناحیه تحت پوشش بخاری با فضای گرم شده در مسیر قبلی هم پوشانی داشته باشد. سازندگان این نوع بخاری معمولاً توصیه می کنند که تراکتور با سرعتی حرکت کند که در هر ۱۰ دقیقه یک بار از یک گیاه عبور کند، بدین ترتیب زمان کافی برای پوشش دادن مزرعه ای به مساحت ۵ تا ۷ هکتار با یک تراکتور به دست می آید.

نتایج منتشر نشده برخی از آزمایش ها حاکی است که استفاده از بخاری های متحرک اثر ناچیزی بر دمای حداقل ثبت شده در باغ های تحت حفاظت دارد. البته با توجه به اینکه انرژی گرمایی خروجی از این سیستم بسیار کمتر از انرژی از دست رفته از یک گیاه در شب های یخبندان تشعشی است، رسیدن به چنین نتیجه ای هم چندان غیرمنتظره نیست. اما با این حال، در زمان عبور بخاری متحرک از کنار یک گیاه، یک افزایش مقطعی و کوتاه مدت در دمای ثبت شده گیاه مشاهده می شود. این احتمال وجود دارد که همین افزایش دمای کوتاه مدت بتواند مانع از یخ زدگی بافت گیاهی شود، اما تحقیقات بیشتری برای تأیید چنین اثری لازم است. اخیراً برخی محققان پیشنهاد کرده اند که اثر مثبت بخاری های متحرک ممکن است به خاطر نقش آنها در خشک کردن سطوح گیاهی باشد. از آنجا که آب معمولاً بر روی سطوح خارجی گیاه یخ می زند و

سپس به داخل بافت گیاه توسعه می یابد و باعث یخ زدگی در فضای بین سلولی می شود، بنابراین می توان چنین نظریه ای را تا حدودی معتبر دانست. با این حال مسلماً برای تأیید کارآیی واقعی این نوع بخاری ها، تحقیقات بسیار بیشتری لازم است.

۲-۲-۳) ماشین های باد

ماشین های باد (یا پروانه ها) که هوا را تقریباً به صورت افقی می دمند، در دهه ۱۹۲۰ به عنوان یک روش حفاظت در برابر یخبندان به کالیفرنای آمریکا وارد شدند. اما تا دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰، هنوز هم رواج زیادی پیدا نکرده بودند و کشاورزان استقبال زیادی از آن نمی کردند. امروزه این وسیله در مناطق زیادی از جهان مورد استفاده قرار می گیرد. ماشین های باد امروزه برای حفاظت از انواع مختلف گیاهان شامل انگور، درختان خزان دار و مرکبات استفاده می شوند. در حال حاضر تقریباً تمامی باغ های مرکبات در کالیفرنای آمریکا به وسیله ماشین باد در برابر یخبندان حفاظت می شوند.

ماشین های باد عموماً شامل یک برج فولادی بلند و یک پروانه گردان بزرگ هستند که در نزدیکی رأس این برج قرار می گیرد. پروانه ماشین باد معمولاً از نوع دو یا چهار پره ای و قطر آن بین ۳ تا ۶ متر است. ارتفاع معمول پروانه ها هم در حدود ۱۰ تا ۱۱ متر از سطح زمین است، اما برای پوشش های گیاهی کوتاه تر ممکن است از برج هایی با ارتفاع کمتر هم استفاده شود. تا آنجا که می دانیم، پروانه ها فقط برای جلوگیری از برخورد با درختان در این ارتفاع نصب می شوند و هیچ دلیل آیرودینامیکی خاصی برای انتخاب این ارتفاع وجود ندارد. سرعت چرخش پروانه در ماشین هایی که بیشترین کارآیی را دارند، در حدود ۵۹۰ تا ۶۰۰ دور در دقیقه است. علاوه بر آن پروانه ها هر چهار تا پنج دقیقه یک بار حول محور برج می گردند. پروانه اغلب ماشینی ن های باد با یک زاویه کوچک نسبت به برج (در حدود 7°) نصب می شود تا هوا را به طرف پایین بدمد و کارآیی آن افزایش یابد. هنگامی که پروانه ماشین باد می چرخد، هوا را از بالا به پایین می کشد و با یک زاویه اندک به طرف پایین به برج و زمین می دمند. نیروی مورد نیاز برای چرخش پروانه معمولاً از یک موتور که در پایین برج نصب می شود، تأمین می گردد، اما در برخی از ماشین های باد قدیمی، موتور در قسمت بالای برج قرار می گیرد و به همراه پروانه می چرخد. تنظیم کردن نحوه چرخش پروانه ها به دور برج به گونه ای که پروانه همه ماشین ها هوا را به صورت هماهنگ و در یک جهت بدمند، باعث بهبود کارآیی ماشین باد در اختلاط لایه های وارونگی می شود.

قبل از سرمایه گذاری در بخش ماشین های باد، باید اقلیم منطقه و هزینه ها و قیمت های محلی به دقت بررسی شود. مثلاً اگر وارونگی دمایی در یک منطقه اتفاق نمی افتد یا شدت آن خیلی کم است، نباید در آن منطقه از ماشین باد استفاده کرد. در کالیفرنای آمریکا از ماشین باد در حد وسیعی در باغ های مرکبات استفاده می شود و هدف آن اصولاً حفاظت از این باغ ها در فاصله ماه های دسامبر تا ژانویه است، اما در باغ های درختان خزان دار از ماشین باد استفاده نمی شود، زیرا در ماه های زمستان که مرکبات نیاز به حفاظت دارند، در این منطقه وارونگی دمایی شدیدی روی می دهد، اما درختان خزان دار در بهار نیاز به حفاظت دارند و بنابراین برای حفاظت از درختان خزان دار، ماشین های باد باید در مناطقی استفاده شود که وارونگی دمایی در ماه های بهار شدید باشد.

گزارش هایی وجود دارد مبنی بر اینکه ماشین های باد در فصل بهار پس از ظهور برگ های درختان خزان دار، بهتر عمل می کنند. در نتیجه در باغ های بادام که درختان قبل از ظهور برگ ها نیاز به حفاظت دارند، غالباً از ماشین باد استفاده نمی شود. توصیه می شود که قبل از خرید ماشین های باد، ارزیابی های دقیقی از روند تغییرات دما و شدت وارونگی های دمایی

در دوره های یخبندان به عمل آید. اگر در این مدت وارونگی های دمایی اتفاق ن می افتد یا شدت آن کم است ، باید از یک روش حفاظتی دیگر استفاده شود.

ماشین های باد باید در محلی قرار داده شوند که باعث تشدید جریان طبیعی باد شوند . در برخی موارد هم می توان ماشین های باد را در محلی نصب کرد که هوای سرد را از نقاط پست به بیرون براند. نیروی انسانی و هزینه کارکرد ماشین های باد خصوصاً ماشین های باد برقی، نسبت به سایر روش های حفاظتی، پایین تر است . اما هنگامی که ماشین های باد برقی نصب می شوند، کشاورز موظف است که هزینه شارژ شرکت برق را که مربوط به هزینه برق رسانی و نگهداری از شبکه است ، به طور مرتب پرداخت نماید . این هزینه در هر صورتی ، چه ماشین باد کار کند و چه کار نکند ، باید پرداخت شود . در واقع امروزه به دلیل افزایش قیمت برق ، ماشین های باد به یک وسیله پرهزینه برای حفاظت از باغ های مرکبات در برخی مناطق کالیفرنیا، تبدیل شده اند (ونر و بلانک، ۱۹۹۵).

به طور کلی به جز آلودگی های صوتی ، ماشین های باد از نظر زیست محیطی وسایلی سالم و سازگار با محیط زیست هستند . برای کشاورزانی که به شهر ها و مناطق مسکونی نزدیک هستند ، آلودگی صوتی ناشی از ماشین باد ، مشکل بزرگی به شمار می رود. البته این مشکل هم باید در زمان انتخاب یک روش حفاظتی، مورد توجه قرار گیرد.

ماشین های باد از طریق افزایش چگالی جریان رو به پایین گرمای محسوس و نیز شکستن لایه های مرزی ساکن بر روی سطوح گیاهی ، باعث تأمین حفاظت در برابر یخبندان می شوند . این ماشین ها هرگز گرمایی تولید نمی کنند، بلکه گرمای محسوس که در هوا وجود دارد را به شکل مفیدی توزیع می کنند. در واقع ماشین های باد هوای گرم بالای خود را با هوای سرد مجاور سطح زمین مخلوط می کنند. این ماشین ها همچنین با حذف سردترین هوا که در مجاورت برگ ها و سطوح گیاهی قرار دارد و جایگزین کردن آن با هوای گرم تر، به حفاظت از گیاه کمک می کند. مقدار حفاظت تأمین شده در این روش ، وابستگی شدیدی به شدت وارونگی دمایی در شرایط عدم حفاظت دارد . شدت وارونگی به صورت تفاوت دمای هوا بین ارتفاعات ۱۰ و ۱/۵ متری، در یک باغ حفاظت نشده اندازه گیری می شود. اصولاً در ناحیه تحت پوشش ماشین های باد ، میانگین دمای هوا در ارتفاع ۱/۵ متری به حدود یک سوم شدت وارونگی دمایی در آن منطقه می رسد. البته مقدار حفاظت تأمین شده در نزدیکی برج ماشین باد بیشتر است و با افزایش فاصله از این برج ، مقدار حفاظت مؤثر هم کمتر می شود . به طور کلی بازدهی واقعی ماشین های باد به شرایط وارونگی دمایی بستگی دارد و نمی توان نکات کلی در مورد آن ارائه کرد . قدر مسلم این که هر چه قدر وارونگی دمایی شدیدتر باشد ، حفاظت بهتری از گیاه به عمل می آید.

ماشین های باد معمولاً هنگامی روشن می شوند که دمای هوا به حدود صفر درجه برسد . در شرایط وارونگی دمایی پایدار، هوا در نزدیکی سطح زمین لایه بندی می شود و تلاطم و اختلاط هوا بسیار کاهش می یابد. با این وجود ، آزمایش های انجام شده در کالیفرنیا و آمریکا و پرتغال نشان داده است که روشن کردن ماشین های باد پس از تشکیل وارونگی دمایی، اثر ناچیزی بر کار آبی ماشین دارد . در مدت کمتر از نیم ساعت پس از روشن کردن ماشین باد ، دما در ارتفاع ۲ متری افزایش می یابد و بعضاً با دمای هوا در ارتفاع ۱۰ متری در یک باغ حفاظت نشده برابر می شود. اما از آنجا که دمای یک سطح تشعشع کننده در یک شب یخبندان ، معمولاً کمتر از دمای هوا است و دمای گیاهان هم کمتر از دمای اندازه گیری شده در هواست ، بهتر است که ماشین های باد هنگامی روشن شوند که دمای هوا به حد دمای بحرانی آسیب دیدگی گیاه (TC) می رسد.

ماشین های باد با جریان عمودی

تاکنون بررسی های متعددی در مورد استفاده از ماشین های بادی که جریان هوا را در جهت عمودی ایجاد می کنند، انجام گرفته است ، اما این نوع ماشین های عموماً عملکرد ضعیفی دارند . زیرا تلاطم و اختلاط هوا به گونه ای است که با درختان تداخل پیدا می کند و باعث کاهش مساحت ناحیه تحت پوشش ماشین باد می شود. همچنین سرعت بالای باد در نزدیکی پایه برج ماشین باد می تواند باعث آسیب دیدن گیاهان باغی و گل های زینتی شود. ماشین های بادی که هوا را در جهت عمودی به سمت بالا می دمند، هم در سطح تجاری وجود دارند و هم آزمایش هایی هم بر روی آنها انجام شده است . ایده اصلی در طراحی این نوع ماشین آن است که هوای سرد و سنگین نزدیک سطح زمین کشیده شده و به سمت بالا وزیده شود تا با هوای گرم لایه های بالایی مخلوط شود. از نظر تئوری، هوای سرد نزدیک سطح زمین حذف می شود و هوای گرم بالایی ، پایین می آید و بدین ترتیب وارونگی دمایی کاهش می یابد. آزمایش های محدودی که بر روی این نوع ماشین ها انجام گرفته است نشان می دهد که کارکردن این ماشین ها یک اثر مثبت موقتی بر دمای هوای نزدیک ماشین دارد ، اما شدت و مدت زمان دوام این اثر هنوز به خوبی شناخته نشده است.

تحقیقات نشان داده است که این روش تنها در دره های کوچک استفاده می شود که هوای سرد رانده شده به بالا به سمت پایین بازمی گردد و در نزدیکی سطح قرار می گیرد. در مناطقی که وزش بادهای غالب در ارتفاعات بالا می تواند هوا را در جهت افقی حرکت دهد و از گیاه دور کند ، این روش می تواند حفاظت بیشتری را تأمین نماید . با این حال تاکنون هیچ تحقیقات و گزارش معتبری در این زمینه ارائه نشده است.

۳-۲-۳) بالگردها

بالگردها هوای گرم لایه های بالای وارونگی را به طرف سطح زمین حرکت می دهند . اگر وارونگی دمایی وجود نداشته یا ضعیف باشد ، بالگردها کارایی نخواهند داشت . از آنجا که هزینه های مربوط به نگهداری و کارکرد بالگردها بسیار زیاد است ، بنابراین کاربرد این وسیله در حفاظت در برابر یخبندان به موارد اضطراری و گیاهان با ارزش اقتصادی بالا (یعنی در مواردی که روش های حفاظتی معمول، کفایت نمی کند) محدود شده است.

محققان نظرات مختلفی درباره سطح تحت حفاظت بالگردها ارائه کرده اند . مساحت ناحیه تحت پوشش هر بالگرد به اندازه و وزن بالگرد و شرایط آب و هوایی بستگی دارد . سطح تحت پوشش یک بالگرد در تحقیقات مختلف، بین ۲۲ تا ۴۴ هکتار برآورد شده است (ایوانز، ۲۰۰۰؛ پاول و هیلیمیریک، ۲۰۰۰). بالگرد باید در هر ۳۰ تا ۶۰ دقیقه یک بار از یک ناحیه عبور کند و در شرایط یخبندان شدید باید به دفعات بیشتری دور بزند . اگر فاصله زمانی بین دو عبور بالگرد خیلی طولانی شود، گیاهان فراسرد می شوند و با عبور بالگرد ، هسته بندی غیرهمگن یخ بر روی گیاهان شروع می شود و آسیبهای بسیار شدیدی بر گیاهان وارد می آید.

غالباً در خارج بالگرد تعدادی حسگر دمایی نصب می شود و خلبان در ارتفاعی پرواز می کند که بالاترین دما را از این حسگر قرائت کند . بهترین ارتفاع پرواز بین ۲۰ تا ۳۰ متر است . سرعت معمول پرواز هم در حدود ۲۵ تا ۴۰ کیلومتر در ساعت (پاول و هیلیمیریک ، ۲۰۰۰) یا ۸ تا ۱۶ کیلومتر در ساعت (ایوانز، ۲۰۰۰) است. سرعت های بالاتر از این مقدار هیچ اثری در تأمین حفاظت ندارند . بالگردهای معمولی می توانند دما را بین ۳ تا ۴/۵ °C افزایش دهند. خلبان ها معمولاً

تانکرهای بزرگ آب را هم در بالگرد قرار می دهند تا وزن و نیروی بالگرد افزایش یابد. در شرایط یخبین دان شدید اگر واړونگی دمایی شدیدی وجود داشته باشد، یک بالگرد می تواند در بالای یک بالگرد دیگر و هماهنگ با آن حرکت کند تا انتقال رو به پایین گرما افزایش یابد.

بعضی مواقع در بالای پوشش گیاهی، چراغ هایی نصب می کنند تا به کمک آنها خلبان تشخیص دهد که از چه ناحیه ای پرواز کند. این چراغ ها به ترموستات متصل هستند و روشن و خاموش شدن آنها نشان دهنده تغییرات دماست. هنگامی که بالگرد از بالای یک ناحیه عبور می کند، دما بالا می رود و چراغ ها خاموش می شوند. با سرد شدن هوا و رسیدن دما به مقدار تعیین شده در ترموستات، چراغ ها مجدداً روشن می شوند. بدین ترتیب خلبان می تواند نقاط سرد را شناسایی کند و بر بالای آن پرواز کند. یک نفر دستیار هم باید شرایط دمایی داخل پوشش گیاهی را از روی زمین بررسی کند و با ارتباط دائمی با خلبان بالگرد، وضعیت را به او اطلاع دهد و نواحی سرد را به خلبان معرفی کند.

در دامنه تپه ها، هنگامی که هوای سرد به سطح سراسیبی می رسد، به طرف پایین شیب منتقل می شود. بنابراین پرواز بالگرد در بالای شیب هایی که گیاه بر روی آن قرار دارد، می تواند به حفاظت بیشتر گیاه کمک کند، زیرا اثرات مفید آن (افزایش دما) در ناحیه پایین دست هم احساس می شود. هنگامی که دمای هوا در بالادست محل قرارگرفتن گیاه به بالاتر از حد بحرانی برای آسیب دیدگی گیاه برسد، پرواز بالگرد هم متوقف می شود.

۴-۲-۳ آب پاش ها

استفاده از آب پاش ها برای حفاظت در برابر یخبندان این مزیت را نسبت به سایر روش های حفاظتی دارد که مصرف آب معمولاً هزینه کمتری دارد. مصرف انرژی در این روش بسیار کمتر از روش بخاری هاست (ژربر و مارتسولف، ۱۹۷۶)، و بنابراین هزینه های جاری این روش در مقایسه با بخاری ها و حتی ماشین های باد خیلی کمتر است. کار انسانی مورد نیاز در این روش شامل نظارت بر سیستم جهت عدم توقف احتمالی آن و بررسی نازل آب پاش ها از نظر عدم یخ زدن در شب های یخبندان است. علاوه بر حفاظت در برابر یخبندان، آب پاش ها را می توان برای اهداف دیگری از جمله آبیاری، بهبود رنگ میوه ها از طریق آب پاشی رودرختی و خنک کردن میوه، کاهش سوختگی از آفتاب به وسیله آب پاشی رودرختی، تأخیر در شکوفه دهی از طریق آبیاری در زمان قبل از شکفتن جوانه ها، مصرف کودهای محلول و کاربردهای چند منظوره دیگر نیز مورد استفاده قرار داد. همچنین این روش نسبتاً عاری از آلودگی پهای محیطی است.

بزرگترین عیب روش آب پاش ها، هزینه بالای نصب و مقدار بسیار زیاد آب مورد نیاز است. در بسیاری از موارد، کمبود منابع آب موجب محدودیت در استفاده از این روش می شود. در برخی موارد هم مصرف بیش از حد آب موجب آب گرفتگی خاک و بروز بیماری های ریشه ای و ممانعت از انجام عملیات خاک ورزی و سایر اقدامات مدیریتی می گردد. شسته شدن عناصر غذایی از محیط خاک نیز مشکلی است که در نتیجه استفاده زیاد از آب پاش ها پیش می آید. بعضی مواقع، استفاده بیش از حد از آب پاش ها بر فعالیت باکتری ها در خاک تأثیر می گذارد و از این طریق باعث تأخیر در رسیدگی میوه ها می شود (بلانک و همکاران، ۱۹۶۳).

آب هم مانند هوا ، گرمای محسوس می دارد که با استفاده از دماسنج اندازه گیری می شود و دمای آب هم با توجه به تغییراتی که در میزان گرمای محسوس آن صورت می گیرد، افزایش یا کاهش می یابد . کاهش دمای آب به یکی از دلایل زیر اتفاق می افتد:

گرمای محسوس آب به محیط اطراف منتقل می شود.

آب بخار می شود و گرمای محسوس را برای شکستن پیوندهای هیدروژنی بین مولکول ها مصرف می کند.

گرما از طریق تشعشع خالص از آب به هدر می رود.

هنگامی که قطره های آب از نازل آب پاش ها به روی سطح گیاه یا خاک می ریزد ، مقداری از گرمای محسوس آن از طریق تشعشع از دست می رود، مقداری از آن آب گرم به هوای سرد اطراف منتقل می شود و مقداری دیگر از گرمای محسوس هم در نتیجه تبخیر از سطح قطرات آب ، به گرمای نهان تبدیل می شود. تعیین مقدار تبخیر از سطح آب به سادگی امکان پذیر نیست، زیرا به عوامل متعددی از جمله دمای آب ، کیفیت آب ، اندازه قطرات ، طول مسیر حرکت آب و شرایط آب و هوایی بستگی دارد.

گرمای حاصل از سرد شدن و یخ زدن آب می تواند انرژی از دست رفته در یک شب یخبندان تشعشعی را جبران نماید ، اما تبخیر آب از سطوح مختلف باعث مصرف شدن گرمای محسوس و کاهش دمای هوا می شود. حتی در صورت پایین بودن سرعت تبخیر هم ممکن است انرژی بسیار زیادی از این طریق به هدر رود . در مورد تغییر فاز آب از مایع به بخار (تبخیر) در دمای صفر درجه ، مقدار انرژی از دست رفته به 2501 kJ kg^{-1} می رسد و برای تغییر فاز از یخ به بخار (تصعید) در دمای صفر درجه، گرمایی معادل $2825/5 \text{ kJ kg}^{-1}$ از دست می رود. بنابراین انرژی آزاد شده از سرد شدن یک کیلوگرم آب از 20°C به صفر درجه سانتی گراد و یخ زدن آن، $418/3 \text{ kJ kg}^{-1}$ است. مقدار آبی که سرد می شود و یخ می زند باید بیش از ۶ برابر مقدار آب تبخیر شده (یا $6/8$ برابر مقدار تصعید شده) باشد تا انرژی از دست رفته و آزاد شده با هم برابر شوند . برای جبران انرژی خالص از دست رفته در شرایط عدم حفاظت ، لازم است که انرژی اضافه بیشتری از سرد شدن و یخ زدن آب حاصل شود.

مکانیزم حفاظت گیاهان به وسیله آب پاش ها آن است که آب در دوره های متوالی و به مقدار کافی بر روی گیاه پاشیده شود ، به طوری که در فاصله دو دور متوالی پاشش آب ، دمای بافت گیاهی به پایین تر از حد بحرانی کاهش پیدا نکند . در مورد آب پاش های رودرختی کم مصرف وغیردورانی هم ایده اصلی آن است که آب به طور پیوسته و به مقدار کم ، اما به صورت هدف دار در سطح کوچکی ریخته شود و از گرمای حاصل از سرد شدن آن استفاده شود.

در روش آب پاش های زیردرختی سنتی ، آب با مقدار و سرعت کافی بر روی زمین پاشیده می شود تا دمای سطح زمین در حدود صفر درجه حفظ شود . این کار باعث افزایش تشعشعات موج بلند از سطح زمین و افزایش انتقال گرمای محسوس به گیاهان می شود. در مورد ریز آب پاش های زیردرختی که نسبت به آب پاش های سنتی آب کمتری مصرف می کنند، هدف اصلی آن است که دمای زمین در قسمت زیر گیاهان در حدود صفر درجه حفظ شود تا میزان تشعشع و انتقال گرمای محسوس به سمت گیاهان افزایش یابد و به صورت متمرکزتری انجام شود.

آبیاری با آب پاش های رودرختی برای حفاظت گیاهان کم رشد و برخی درختان میوه خزان دار در برابر یخبندان استفاده می شود، اما در گیاهانی که ساختار شاخه ای آنها ضعیف است (مانند درخت بادام) و شاخه های آنها ممکن است زیر بار وزن یخ بشکند ، نمی توان از این روش استفاده کرد . مقدار آب مورد نیاز در انواع مختلف این آب پاش ها شامل آب پاش های دورانی سنتی ، آب پاش های دور متغیر و آب پاش های ک مصرف هد فدار، بسیار متنوع و متفاوت است. علاوه بر آن سرعت پاشیدن آب به وسیله آبپاش ها به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. سرعت باد

۲. دمای حداقل در شرایط عدم حفاظت

۳. مساحت سطحی از گیاه که باید تحت پوشش قرار گیرد

۴. یکنواختی در توزیع آبپاش ها در سیستم

تا زمانی که مخلوط شفاف آب و یخ بر روی شاخه ها گیاه وجود دارد و قطره های آب از قندیل های یخی می چکد، دمای قسمت هایی از گیاه که با یخ پوشیده شده است در حدود صفر درجه باقی می ماند. اما اگر سرعت پاشش آب کم باشد یا سرعت چرخش آب پاش ها پایین باشد ، ممکن است تمامی آب پاشیده شده یخ بزند و دمای قسمتهای پوشیده از یخ شروع به پایین آمدن نماید.

در سیستم های سنتی آب پاشی رو درختی از آب پاش های ضربه ای استاندارد برای خیس کردن کامل گیاهان و خاک آنها استفاده می شود. سطح تحت حفاظت در گیاهان بزرگ معمولاً بیشتر از گیاهان کوچک است و بنابراین برای حفاظت گیاهان بلند قد لازم است از مقدار آب بیشتری نسبت به گیاهان کوتاه قد استفاده شود . برای دستیابی به نتیجه مناسب ، باید قسمت های مختلف گیاه با آب پوشیده شوند و هر ۳۰ تا ۶۰ ثانیه یک بار با آب خیس شوند . در صورتی که این دوره طولانی تر شود ، باید مقدار آب بیشتری در هر دور چرخش پاشیده شود.

یکنواختی در توزیع آب از اهمیت زیادی در جلوگیری از پوشش نامناسب ناحیه تحت حفاظت و آسیب دیدگی گیاهان برخوردار است . قبل از آنکه فصل یخبندان ها فرا برسد ، باید یک ارزیابی دقیق از سیستم آب پاشی انجام گیرد تا از یکنواختی مناسب توزیع آب در سیستم اطمینان حاصل شود . اطلاعات مربوط به چگونگی اجرای این آزمایش معمولاً در منابع و کتاب های مربوط به مدیریت آبیاری ارائه شده است و علاوه بر آن کارشناسان ترویج کشاورزی در محل های مختلف ، اطلاعات کافی درباره روش اجرای این آزمایش دارند . اگر می دانید که هوای سرد از مسیر خاصی وارد می شود، می توان با افزایش تعداد آب پاش ها در بالادست مسیر ورود هوای سرد و یا حتی قرار دادن آب پاش ها در فضاهای باز اطراف مزرعه در جهت بالادست مسیر هوای سرد ، حفاظت در برابر یخبندان را تا حد زیادی بهبود بخشید . البته در هنگام آزمایش یکنواختی آب پاش ها نباید تراکم آب پاش ها در هیچ طرفی بیشتر یا کمتر باشد.

برای حفاظت در برابر یخبندان می توان از هر نوع سیستم آبیاری رودرختی که بتواند آب را با مقدار و سرعت مناسب بپاشد ، استفاده نمود ، اما بهتر است از سیستم هایی استفاده شود که به طور اختصاصی برای حفاظت در برابر یخبندان طراحی شده اند (راجرز و میدلی بوسکا، ۱۹۶۱ ؛ راپوسو ، ۱۹۷۹). این سیستم باید در تمام فصل یخبندان در محل

مخصوص خود قرار داشته باشد. اگر یک آب پاش در شب یخبندان در حال کار کردن باشد، به هیچ وجه نباید آن را جابه جا کرد. معمولاً اگر به جای نازل های مستطیلی شکل از نازل های مثلثی استفاده شود، آب با یکنواختی بیشتری توزیع خواهد شد. سیستم هایی که به منظور آبیاری طراحی شده اند و مخصوص حفاظت در برابر یخبندان نیستند، اگر بتوانند یکنواختی و سرعت مناسب پاشش آب را تأمین کنند، در سیستم های حفاظتی قابل استفاده هستند. در اغلب موارد لازم است که نازل آب پاش ها در ارتفاع ۳۰ سانتی متر یا بالاتر از بالای پوشش گیاهی نصب شود تا مسیر قطره های آب به گیاهان برخورد نکند. در سیستم های مخصوص حفاظت در برابر یخبندان، از آب پاش هایی با طراحی اختصاصی استفاده می شود که یک حفاظ مخصوص برای جلوگیری از یخ زدن نازل ها در آنها تعبیه شده است. برای اطمینان از عملکرد مناسب آب پاش ها لازم است از صاف یهای تمیز برای فیلتر کردن آب (به ویژه آب رودخانه و تالاب) استفاده شود.

زمان روشن و خاموش کردن آب پاش ها برای حفاظت در برابر یخبندان، به دما و رطوبت هوای باغ بستگی دارد. هنگامی که یک سیستم آب پاش شروع به کار می کند، ابتدا دمای هوا مقداری کاهش می یابد، اما به پایین تر از دمای قطره های آب نمی رسد و معمولاً با شروع یخ زدن آب و آزاد شدن گرمای نهان، دما مجدداً بالا می رود.

نکته بسیار مهم در مورد زمان خاموش کردن آب پاش ها آن است که تا زمانی که دمای دماسنج تر در سمت بالادست گیاه به بالاتر از دمای بحرانی نرسیده است (حتی اگر آفتاب به طور کامل به گیاهان می تابد و دمای هوا از صفر درجه بالاتر است)، آب پاش ها به هیچ وجه نباید خاموش شوند. حتی بهتر است در صورتی که مشکل کمبود آب و آب گرفتگی خاک وجود ندارد، خاموش کردن آب پاش ها را تا زمانی که دمای دماسنج تر مقداری از صفر درجه بالاتر می رود، به تأخیر انداخت. اگر از زنگ های هشداردهنده یخبندان استفاده می کنید، دمای مربوطه را در حدود 1°C بالاتر از دمای بحرانی تعیین شده تنظیم کنید تا اطمینان حاصل شود که زمان کافی برای شروع به کار آب پاش ها وجود دارد.

مقدار آب مورد نیاز در آب پاش های رودختی سنتی، به سرعت چرخش آب پاش، سرعت باد و دمای حداقل هوا در شرایط عدم حفاظت بستگی دارد. هنگامی که سرعت باد بالا باشد، تبخیر بیشتری انجام می گیرد و گرمای محسوس بیشتری از سطح گیاه به هدر می رود و در نتیجه برای جبران این گرمای از دست رفته، لازم است که مقدار آب بیشتری یخ بزند. هر چقدر دمای حداقل هوا پای یتر باشد، لازم است که گرمای بیشتری از فرایند یخ زدن آب حاصل شود تا بتواند نقصان گرمای محسوس را جبران نماید. سرعت چرخش آب پاش ها هم از آن جهت اهمیت دارد که با یخ زدن آب، دمای قسمت های خیس گیاهی افزایش می یابد، اما در فاصله زمانی بین دو دور متوالی پاشش آب، دمای گیاه به خاطر تبخیر و تشعشع کاهش می یابد. اگر در این فاصله زمانی، دمای گیاه به پایین تر از صفر درجه می رسد، باید مقدار آب بیشتری برای خیس کردن گیاه استفاده شود.

اغلب کشاورزان تنها یک بار سرعت پاشش آب به وسیله آب پاش ها را تعیین و تنظیم می کنند و پس از نصب سیستم، دیگر نمی توانند به سادگی مقدار تعیین شده را تغییر دهند. اغلب سیستم های آب پاشی برای استفاده در شرایط یخبندان در یک منطقه طراحی شده اند و در نتیجه در شب هایی که یخبندان ملایم تری اتفاق می افتد، مقدار آب بسیار بیشتر از حد مورد نیاز مصرف می شود. برای غلبه بر این مشکل، برخی کشاورزان از سیستم مهایی استفاده می کنند که نازل آب پاش ها در آن متغیر و قابل تنظیم است و می توان مقدار آب پاشیده شده را افزایش یا کاهش داد. علاوه بر آن مطالعاتی هم بر روی نوعی از آب پاش های دور متغیر که به صورت خودکار خاموش و روشن می شوند، انجام شده است (زربر و مارتسولف، ۱۹۷۹).

؛ پروبستینگ ، ۱۹۷۵) تا از این طریق بتوان مقدار مصرف آب را کاهش داد . مثلاً هم (۱۹۸۰) توانست با استفاده از یک سیستم آب پاش دور متغیر خودکار و با مصرف تنها نیمی از مقدار معمول آب ، حفاظت مؤثری را در یک شب یخبندان تأمین نماید . در این سیستم از حسگرهای الکترونیکی مخصوص برای شبیه سازی جوانه های گیاه استفاده شد و آب در زمانی پاشیده می شد که دمی این حسگرها به 1°C - می رسید. با این حال وی عنوان کرد که قرار دادن حسگرهای دمای در سطح باغ ، به دلیل غیر یکنواخت بودن آب پاشی، می تواند کار خطرناک و غیرمحتاطانه ای باشد . همچنین در اواخر دوره های حفاظت در برابر یخبندان ، تجمع یخ باعث کند شدن واکنش حسگرها نسبت به تغییرات دما و مصرف بیش از حد آب می شود . کالما (۱۹۹۲) روشی را ارائه کرد که در آن نیازی به اندازه گیری دمای حسگرهای پوشیده از یخ نیست ، بلکه برطبق روش NZAEI (۱۹۸۷)، تنها یک حسگر در فضای آزاد و در ارتفاع ۱ متری در یک ناحیه حفاظت نشده نصب می شود و سپس تا زمانی که دمای این حسگر از 2°C - بالاتر است، آب پاش ها به طور متناوب، یک دقیقه روشن و یک دقیقه خاموش می شوند. اما هنگامی که دما از 2°C - پایین تر رفت، آب پاش ها به صورت پیوسته کار می کنند. با استفاده از این روش در مقدار آب مصرف شده در یک فصل ، ۱۸ درصد صرفه جویی گردید . کالما و همکاران (۱۹۹۲) مدلی را برای پیش بینی مقدار آب مورد نیاز در سیستم های آب پاش دور متغیر ارائه کرده اند . اخیراً کوک و همکاران (۲۰۰۰) در مقاله ای گزارش کردند که از طریق روشن و خاموش کردن متناوب آب پاش های رودرختی در یک باغ سیب ، تا ۷۵ درصد در مصرف آب صرفه جویی شده است . برای مدل سازی و تعیین مدت زمان روشن یا خاموش بودن آبپاش ها از پارامترهای محیطی و دمای جوان هاها استفاده می شود.

گزارش های ارائه شده حاکی است که با استفاده از یک ریز آب پاش رو درختی به ازای هر درخت در نواحی جنوب غربی ایالات متحده ، حفاظت بسیار خوبی برای گیاهان تأمین شده است (پاول و هیملریک، ۲۰۰۰). اما هزینه نصب چنین سیستمی بسیار بالاست و به همین دلیل کشاورزان استقبال خوبی از آن نمی کنند. ایوانز (۲۰۰۰) گزارش کرد که استفاده از یک ریزآب پاش رودرختی به ازای هر درخت، منجر به کاهش مقدار آب مورد نیاز از بین $3/8$ تا $4/6 \text{ mm h}^{-1}$ برای آب پاش های سنتی بین $2/8$ تا $3/1 \text{ mm h}^{-1}$ برای اراضی پوشیده از درخت می گردد . با این حال در صورت وزش باد ممکن است به مقادیر $5/6 \text{ mm h}^{-1}$ یا بیشتر هم برای حفاظت از باغ ها نیاز باشد.

یورگنسن و همکاران (۱۹۹۶) به مطالعه در زمینه استفاده از ریز آب پاش های رودرختی هدف دار برای حفاظت از تاکستان ها در برابر یخبندان پرداختند . آنها به ارزیابی سیستمی پرداختند که در آن قطرات آب با قطر بزرگتر تولید می شوند و مقدار آب مورد استفاده در حد پایین تری حفظ می شود . سپس این سیستم را با ریز آب پاش های سنتی مورد مقایسه قرار دادند . این ریزآب پاش ها یک نوار آب به عرض تقریبی $0/6 \text{ m}$ را به صورت هدف دار در اطراف پایه درخت می پاشند. ریزآب پاش ها در ردیف های درخت مو به گونه ای نصب می شدند که ارتفاع آنها از بالای سر درخت در حدود $0/5$ متر باشد و به صورت یک در میان به دیرک داربست درختان مو بسته می شدند. فاصله بین دو نازل در حدود $3/6 \text{ m}$ بود. این سیستم هدف دار با یک سیستم سنتی مورد مقایسه قرار گرفت که در آن از آب پاش های ضربه ای با نازل هایی به قطر $2/78 \text{ mm}$ و فواصل $15/6 \text{ m}$ در $12/8 \text{ m}$ استفاده شده بود . در نهایت میزان مصرف آب در سیستم هدف دار، ۸۰ درصد کاهش یافت ، اما در طی ۲ سال اجرای این آزمایش هیچ یخبندان شدیدی روی نداد.

آب پاش های هدف دار برای حفاظت تاکستان های واقع در ارتفاعات بالاتر (820 m) در شمال کالیفرنیا هم استفاده شدند و نتایج رضایت بخشی از آنها به دست آمد. در آن منطقه کشاورزان مجبور بودند که به دلیل کمبود آب، به دنبال روش جایگزین مناسبی برای آب پاش های رودرختی سنتی باشند. میزان مصرف آب در سیستم مه های کم مصرف در حدود 1 Lit min-1ha-1 و در سیستم های سنتی در حدود 515 تا 560 Lit min-1ha-1 بود. در سال اول آزمایش، پایی ن ترین دمای مشاهده شده 3/9 °C بود، اما بین بلوک های مربوط به روش های کم مصرف و سنتی هیچ تفاوتی از نظر میزان بار میوه و شدت هرس درختان وجود نداشت. در سال دوم، یک شب دمای هوا تا 5/8 °C- کاهش یافت و نازل برخی از آب پاش های ضربه ای یخ زد و از کار باز ایستاد. در این سال با وجود آنکه یخ بسیار زیادی بر روی گیاهان تشکیل شده بود، کشاورز مشاهده کرد که آسیب های ناشی از یخبندان در بلوک های مربوط به آب پاش های سنتی و کم مصرف با هم مشابه هستند. سیستم کم مصرف به گونۀ طراحی شده بود که آب را مستقیماً بر روی ردیف های درخت مو بپاشد و آب بسیار کمی در فاصله بین ردیف ها بر روی زمین ریخته می شود. کشاورز محقق این نکته را خاطر نشان کرد که نازل آب پاش های غیردورانی باید به گونه ای آرایش داده شود که ردیف های مو به طور کامل یکنواختی تحت پوشش قرار گیرند. نکته مهم دیگر اینکه آب پاش ها باید هنگامی روشن شوند که دمای دماسنج تر بالاتر از صفر درجه باشد و تا زمانی که دمای دماسنج تر پس از نزول، مجدداً به بالای صفر درجه برسد، به هیچ وجه نباید متوقف شوند.

آب پاش های زیردرختی معمولاً برای حفاظت درختان خزان دار در مناطقی که دمای حداقل خیلی پایین نباشد و تنها به چند درجه حفاظت نیاز باشد، مورد استفاده قرار می گیرند. علاوه بر هزینه های جاری کمتری که این روش در مقایسه با سایر روش ها دارد، از آن برای آبیاری هم می توان استفاده کرد و بروز بیماری های گیاهی هم در این روش کمتر است و در مجموع مزایای زیادی نسبت به آب پاش های رودرختی دارد. همچنین در سیستم آب پاش های زیردرختی، مشکل شکستگی شاخه ها در زیر بار سنگین یخ و اختلال و توقف در کار آب پاش، کمتر اتفاق می افتد. آب پاش های زیردرختی به مقدار آب کمتری (2 تا 3 mm h⁻¹) نیاز دارند. مقدار حفاظت تأمین شده در این روش به شدت یخبندان و مقدار آب مصرفی بستگی دارد. آنکونلی و همکاران (2002) دریافتند که در دماهای حداقل بالاتر از 3 °C-، تفاوت زیادی بین مقادیر مختلف آب و انواع مختلف نازل های آب پاش وجود ندارد. اما در دماهای پایینتر از 3 °C-، مقدار آب برابر با 65 lit h⁻¹ به ازای هر درخت، حفاظت مؤثرتر و بهتری از 45 lit h⁻¹ تأمین نمود.

هدف اصلی استفاده از آب پاش های زیردرختی آن است که دمای سطوح خیس شده در حدود صفر درجه حفظ شود. بخشی از حفاظتی که در این روش تأمین می شود ناشی از افزایش تشعشع از سطوح پوشیده از آب و یخ است که دمای آن از دمای سطوح حفاظت نشده بیشتر است. در یک باغ حفاظت نشده معمولاً "در شرایط یخبندان، سردترین هوا در مجاورت سطح زمین قرار دارد" غالباً خیلی پایین تر از صفر درجه (و با افزایش ارتفاع، دما هم افزایش می یابد. اما در صورت کار کردن آب پاش ها، دمای هوای مجاور سطح زمین افزایش می یابد و به نزدیک صفر درجه می رسد، و بنابراین هوای نزدیک سطح زمین در این شرایط گرمتر از گیاهان حفاظت نشده است. هوای گرمی که در نزدیک سطح قرار دارد باعث ایجاد ناپایداری جوی در آن قسمت می شود که در نتیجه آن گرمای محسوس به طرف بالا جریان می یابد و به گیاهان می رسد. علاوه بر آن با کار کردن آب پاش ها ظرفیت بخار آب هوا در باغ هم افزایش می یابد و تراکم بخار آب و تشکیل یخ بر روی سطوح سرد گیاهی باعث آزاد شدن گرمای نهان و تأمین مقداری حفاظت می شود. بازدهی آب پاش های زیردرختی در تأمین حفاظت نیز به میزان تبخیر بستگی دارد و با افزایش سرعت باد و به دنبال آن افزایش تبخیر، بازدهی آب پاش ها کاهش می یابد. بهترین راه برای

آزمایش کردن سیستم آن است که آب پاش ها در زمان خواب گیاهان در یخبندان هایی با شدت های مختلف کار کنند تا مشخص شود که در چه شرایطی تمام آب یخ می زند. اگر خاک با مخلوطی از آب و یخ پوشیده شده و دمای سطح در حدود صفر درجه است، مقدار آب مورد استفاده کافی است. اگر تمام آب یخ بزند و دمای سطح پایین تر از صفر درجه باشد، مقدار آب برای آن شرایط کم است. البته باید دقت شود که شاخه های پایینی درختان هرگز خیس نشوند.

پری (۱۹۹۴) گزارش کرد که با استفاده از آب پاش های زیردختی دورانی در یک یخبندان تشعشی معمولی می توان انتظار داشت که دما تا ارتفاع حدود $3/6\text{ m}$ از $0/5$ تا $1/7\text{ }^{\circ}\text{C}$ افزایش یابد. ایوانز (۲۰۰۰) هم نشان داد که در باغی که با آب پاش های دورانی سنتی و با مصرف آب سرد محافظت می شود، دما تا ارتفاع ۲ متری تا حدود $1/7\text{ }^{\circ}\text{C}$ افزایش می یابد. کونل و اشناپدر (۱۹۸۸) گزارش کردند که در یک باغ بادام که با سیستم آب پاش های دورانی دنده ای به جای آب پاش های ضربه ای محافظت می شود، دما در ارتفاع ۲ متری تا حدود $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ افزایش می یابد. در این آزمایش دمای آب خارج شده از نازلها در حدود $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ و سرعت مصرف آب 2 mm h^{-1} بود. در سیستم های معمولی آب پاش زیردختی از نازل هایی به قطر ۲ تا $2/4\text{ mm}$ و فشار آب ۲۷۶ تا 345 kPa و سرعت پاشش ۲ تا 3 mm h^{-1} استفاده می شود.

از زمانی که آب پاش ها شروع به کار می کنند باید به صورت پیوسته و بدون وقفه به کار خود ادامه دهند. اگر با محدودیت آب مواجه هستید، قسمت هایی را که بیشتر در معرض یخبندان هستند و یا نواحی بالادست سمت باغ های حفاظت نشده را آبیاری کنید. بهتر است به جای آنکه مقدار کمی آب را در یک سطح وسیع بپاشید، آب را به صورت متمرکز و در قسمتهایی که به حفاظت بیشتری نیاز دارند، بپاشید. آب پاش های دستی به هیچ وجه نباید در حین کار، متوقف یا جابه جا شوند. اما در شرایط یخبندانها ملایم ($T_n < -0/2\text{ }^{\circ}\text{C}$)، می توان خطوط آب پاش را به صورت یک ردیف در میان در داخل ردیف های درختان قرار داد تا سطح وسیع تری تحت پوشش قرار گیرد. با این حال در زمان وقوع یخبندانهای سبک تا شدید، لازم است که خطوط آبپاش ها به هم نزدیکتر شوند.

۵-۲-۳) آبیاری قطره ای

سیستم های آبیاری قطره ای هم در برخی مواقع برای حفاظت در برابر یخبندان مورد استفاده قرار گرفته و نتایج متنوعی را به دنبال داشته اند. به طور کلی فایده ای که آب برای حفاظت دارد، به خاطر یخ زدن آن بر روی سطوح مختلف و آزاد شدن گرمای نهان انجماد آب است. اما اگر مقدار تبخیر زیاد باشد، ممکن است انرژی بیشتری از آنچه که از یخ زدن آب حاصل می شود، صرف تبخیر آب شود و به هدر رود. با توجه به انواع بسیار متعدد سیستم های آبیاری قطره ای و اجزای این سیستم ها، به سادگی نمی توان کلیاتی در مورد کارایی این سیستم ها بیان کرد. در این روش نیز بهترین راه آن است که در فصل خواب گیاهان، آزمایش هایی بر روی سیستم انجام گیرد تا کارایی آن در شرایط آب و هوایی مختلف مشخص شود. اگر آب روی زمین به صورت مخلوط آب و یخ با دمای صفر درجه وجود دارد، نشان می دهد که سیستم عملکرد مؤثری دارد. اما اگر تمام آب یخ بزند و ظاهر یخ شیری رنگ و مات باشد، نشان دهنده آن است که سیستم مورد استفاده در آن شرایط از کارایی مؤثری برخوردار نیست. باید توجه داشت که اگر سیستم آبیاری قطره ای در زمان یخبندان های بسیار شدید کار کند، ممکن است یخ بزند و شدیداً آسیب ببیند. گرم کردن آب می تواند در جلوگیری از این نوع آسیب ها و نیز بهبود حفاظت گیاهان مؤثر واقع شود. اما گرم کردن آب هم ممکن است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد.

۶-۲-۳) آبیاری سطحی

یکی از رایج ترین روش های حفاظت در برابر یخبندان آن است که آب از طریق شیار، کانال و یا آبیاری غرقابی، مستقیماً به روی خاک جریان یابد. جونز (۱۹۲۴) که اولین محقق در زمینه استفاده از آبیاری سطحی برای حفاظت در برابر یخبندان بوده است، دریافت که با آبیاری یک باغ مرکبات با آب 23°C ، دمای هوای باغ 1°C افزایش می یابد. در این روش آب در یک مزرعه یا باغ جریان می یابد و گرمای حاصل از سرد شدن آن به هوا منتقل می شود. دمای آب هم از آن جهت اهمیت دارد که هرچقدر آب گرمتر باشد، پس از سرد شدن گرمای بیشتری آزاد می کند. بیشترین حفاظت در اولین شب پس از جاری کردن آب تأمین می شود و به مرور زمان که خاک از آب اشباع می شود، کارایی این روش کاهش می یابد. اضافه کردن آب را می توان تا جایی ادامه داد که قسمتی از گیاهان مقاوم یا تمام آنها به زیر آب فرو رود، اما در این صورت ممکن است بیماری های قارچی و خفگی ریشه مشکل ساز شوند. معمولاً این روش بهترین کارایی را برای درختان کم رشد و مو در زمان یخبندان های تشعشعی دارد. در آزمایشی که بر روی گیاه گوجه فرنگی انجام گرفت، گیاهان حفاظت نشده کاملاً آسیب دیدند (روزنبرگ، بلید و ورما، ۱۹۸۳). آبیاری با آب پاش های رودختی در مقایسه با آبیاری شیار، حفاظت بهتری را تأمین نمود، اما در هر دو روش میزان آسیب دیدگی بسیار کاهش یافت.

۷-۲-۳) غرقاب کردن

غرقاب کردن مستقیم گیاهان روشی است که در بسیاری از کشورها برای حفاظت در برابر یخبندان استفاده می شود. مثلاً در پرتغال و اسپانیا، کشاورزان یک جریان پیوسته آب را به مزرعه وارد می کنند تا تمام یا قسمتی از گیاهان در آب فرو رود (کونا، ۱۹۵۲؛ دیاز-کوئرتو، ۱۹۷۱). در پرتغال معمولاً از این روش برای حفاظت علف زارهای رای گراس و علف Castilian استفاده می شود (کونا، ۱۹۵۲)، اما در کالیفرنیا و سایر مناطق ایالات متحده، از این روش برای حفاظت از انواع مختلفی از گیاهان استفاده شده است. به دلیل هزینه نسبتاً پایین روش آبیاری غرقابی، معمولاً سود اقتصادی حاصل از این روش حفاظتی بالاست. حجم آب مورد استفاده به شدت یخبندان و دمای آب بستگی دارد. بوزینگر (۱۹۶۵) نشان داد که اگر آبیاری غرقابی قبل از وقوع یخبندان انجام شود، می توان با استفاده از این روش به حفاظتی معادل 4°C دست یافت، در حالی که جرج (۱۹۷۹) گزارش کرد که غرقاب کردن مستقیم گیاهان در مزارع فلفل پیمنتو در شب های یخبندان، باعث افزایش دما به میزان حدود 3°C گردید.

آب مایع هنگامی که دمای آن در حدود 4°C است، نسبت به دماهای کمتر از آن، متراکم تر است و چگالی بیش تری دارد، بنابراین آبی که دمای آن کمتر از 4°C است، بالاتر می آید و در سطح قرار می گیرد و یخ زدن آب از بالا به طرف پایین پیش می رود. هنگامی که یخ در قسمت های سطحی تشکیل می شود، فضاهای هوا در فاصله بین آب مایع زیرین و یخ بالایی ایجاد می شود و مانع از انتقال گرما از طرف پایین به بالا می گردد. بدین ترتیب دمای سطح پوشیده از یخ ممکن است به پایین تر از صفر درجه برسد و موجب سردتر شدن قسمت های سطحی و کاهش دمای هوا شود.

۸-۲-۳) آبیاری شیار

آبیاری شیار هم معمولاً برای حفاظت در برابر یخبندان استفاده می شود و اصول کلی آن شبیه به آبیاری غرقابی است. با جریان یافتن آب گرم در داخل شیارها، میزان همرفتی هوای گرم شده از آب و تشعشع رو به بالای گرما از سطح آب، هر

دو افزایش می یابند. جهت اصلی تشعشع و جریان گرمای محسوس به صورت عمودی است، بنابراین بهترین بازدهی در این روش هنگامی حاصل می شود که شیارها مستقیماً در زیر قسمت های تحت حفاظت گیاه قرار داشته باشند.

مثلاً شیارهای محل جریان آب باید درحاشیه ردیف های درختان مرکبات به گونه ای تهیه شوند که هوایی که به وسیله جریان آب گرم می شود، مستقیماً از حاشیه فضای پوشش داده شده از درخت به طرف بالا حرکت کند و شاخ و برگ درخت را گرم کند، اما این شیارها نباید کاملاً در فضای زیر درخت که هوا به خودی خود کمی گرمتر است و یا در فضای بین ردیف های درختان که هوای گرم بدون رسیدن به شاخ و برگ درخت به بالا صعود می کند، قرار داشته باشند. در درختان خزان دار آب باید در زیر پوشش درختان به گونه ای حرکت کند که هوای گرم شده در مسیر صعود خود به جوانه ها، گل ها و میوه های کوچک برسد. شیارها باید حتی الامکان عریض تر باشند تا سطح تماس بیشتری را بین آب و هوا تأمین کنند. در واقع انرژی برحسب وات در مترمربع آزاد می شود و بنابراین افزایش عرض شیارها باعث افزایش سطح تشعشع کننده انرژی می شود و هوا را بیشتر گرم می کند. آبیاری شیارها باید به اندازه کافی زودتر آغاز شود تا قبل از آنکه دمای هوا به پایین تر از حد بحرانی برای آسیب دیدگی گیاه برسد، جریان آب به انتهای زمین رسیده باشد. مقدار انرژی تشعشعی حاصل از آب در دمای 20°C ، در حدود 419 Wm^{-2} است، در حالی که این مقدار در آب یا یخ با دمای صفر درجه به 316 Wm^{-2} می رسد. همچنین هر چقدر آب گرمتر باشد، گرمای بیشتری را به هوای مجاور خود انتقال می دهد و این گرما به صورت عمودی حرکت می کند و به گیاه می رسد. تشکیل یخ بر روی سطح آب باعث ممانعت از انتقال گرما از آب به هوا و کاهش حفاظت می شود. هر چقدر مقدار آب جریان یافته بیشتر باشد، تشکیل یخ در پایین دست مسیر جریان و در فاصله نزدیک تری به انتهای ردیف درختان اتفاق می افتد، بنابراین افزایش مقدار آب باعث افزایش حفاظت تأمین شده می شود. آب سرد خارج شده از شیارها نباید مجدداً وارد مسیر جریان شود. گرم کردن آب هم مسلماً در بهبود حفاظت مؤثر است، اما ممکن است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. بازدهی اقتصادی گرم کردن آب به هزینه اولیه، مقدار انرژی و نیروی انسانی لازم در مقایسه با ارزش اقتصادی محصول مورد نظر بستگی دارد.

۹-۲-۳) عایق سازی با کف

روش عایق سازی با کف برای حفاظت گیاهان کم رشد و کوتاه قد در برابر یخبندان، در حد وسیعی به ویژه در آمریکای شمالی مورد مطالعه قرار گرفته و ثابت شده است که این روش می تواند دمای حداقل را تا 12°C افزایش دهد (براود، کنسن و هاوتورن، ۱۹۶۸). اما کشاورزان استقبال چندانی از این روش نکرده اند، زیرا کار و هزینه لازم برای تهیه مواد مورد نیاز در این روش بسیار بالاست و علاوه بر آن به دلیل عدم دقت کافی در پیش بینی زمان یخبندان ها، فاصله زمانی بین اعلام پیش بینی ها تا وقوع یخبندان خیلی کوتاه است و معمولاً فرصت کافی برای پوشش دادن سطوح وسیع وجود ندارد (بارتولیک، ۱۹۷۹). برای ساختن کف می توان از مواد مختلفی استفاده کرد، اما خاصیت عایق سازی و حفاظتی کف عمدتاً مربوط به هوای موجود در آن است. کف باعث جلوگیری از به هدر رفتن انرژی تشعشعی ساطع شده از گیاهان می شود و جریان گرمای رو به بالا از سطح خاک را هم به دام می اندازد. بیشترین کارایی کف در تأمین حفاظت در همان شب اول حاصل می شود و پس از آن به تدریج کاسته می شود، زیرا کف در طول روز باعث کاهش رسیدن انرژی به خاک و گیاهان می گردد و با گذشت زمان به تدریج تجزیه می شود و خواص حفاظتی خود را از دست می دهد. برای ساختن کفی که هدایت گرمایی پایینی داشته باشد، باید هوا و مایع را به نسبت مناسبی مخلوط کرد تا تعداد بسیار زیادی حباب کوچک هوا در داخل مایع

تشکیل شود. بارتولیک (۱۹۷۹)، روش های متعددی را برای ساختن کف و استفاده از آن برای حفاظت گیاهان، معرفی کرده است. اما در عین حال او بیان کرده است که کشاورزان تنها پس از خسارت دیدن از یخبندان از این روش استقبال می کنند و در دراز مدت، بسیار به ندرت مایل و قادر به استفاده از کف هستند. اخیراً کراسوویتسکی و همکاران (۱۹۹۹) به مطالعه بر روی خواص حرارتی کفها و روش های استفاده از آن پرداخته اند.

۱۰-۲-۳) مه سازها

مه طبیعی می تواند باعث تأمین حفاظت در برابر یخ زدگی شود، بنابراین مطالعاتی هم در زمینه امکان استفاده از مه های مصنوعی به عنوان روشی برای حفاظت در برابر آسیب های ناشی از یخبندان انجام شده است. لوله های مه ساز که با استفاده از فشار بالا و نازل های مخصوص، قطرات ریز مه (به قطر ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر) تولید می کنند، می توانند حفاظت خوبی را در شرایط وزش باد آرام تأمین نمایند (می و بارتولیک، ۱۹۷۹). اصولاً حفاظت در نتیجه جذب تشعشعات موج بلند سطح زمین به وسیله قطرات آب و بازتابیدن مجدد آن به صورت تشعشعات موج بلند رو به پایین حاصل می شود، و با توجه به اینکه دمای قطرات آب موجود در مه خیلی بالاتر از دمای ظاهری آسمان صاف است، بنابراین مقدار تشعشعات مؤثر و سطح حفاظت تأمین شده در این شرایط افزایش می یابد. قطر قطرات آب باید در حدود $8 \mu\text{m}$ باشد تا تشعشعات را به بهترین شکل جذب کنند و در عین حال به روی زمین سقوط نکنند. برای دستیابی به حفاظت بهینه، لازم است یک توده نسبتاً متراکم از مه ضخیم تشکیل شود و گیاه مورد نظر را به طور کامل بپوشاند. این کار مستلزم وجود باد بسیار سبک و رطوبت نسبتاً بالا در هوا است. وپیتز (۱۹۷۴) و ایتایر، هوبر و برون (۱۹۸۷) مشکلاتی را در زمینه تولید قطرات آب کافی و اثرات باد بر رانش این قطرات، گزارش کرده اند. می و بارتولی (۱۹۷۹) گزارش کردند که انرژی مورد نیاز برای مه سازی، کمتر از یک درصد بخاری ها، حدود ۱۰ درصد ماشین های باد و حدود ۲۰ درصد آب پاش هاست. آنها همچنین گزارش کردند که حفاظت تأمین شده از مه سازها در برخی شرایط بهتر از حفاظت حاصل از بخاری هاست.

هزینه اولیه تهیه سیستم های مه ساز لوله ای بالاست، اما هزینه های جاری در این روش پایین است، با این حال بر اساس نتایج مطالعات و آزمایش های شخصی که کشاورزان بر روی مه سازهای لوله ای انجام داده اند، در مناطقی که یخبندان های ملایم تا شدید روی می دهد، این مه سازها مانع از بین رفتن درختان می شوند، اما محصول اقتصادی درخت (میوه) را نجات نمی دهند. بنابراین مه سازهای لوله ای باید تنها برای حفاظت در برابر یخبندان های سبک استفاده شوند. به علاوه، رانده شدن توده مه می تواند برای مناطق اطراف خطرناک باشد، بنابراین مه سازها را نباید در مناطقی که عبور و مرور خودروها انجام می گیرد، مورد استفاده قرار داد.

مه های طبیعی که از طریق بخار کردن آب به وسیله موتور جت ایجاد می شوند، نیز می توانند حفاظت تأمین کنند. مه تشکیل شده به وسیله تفنگ بخار اشباع (SV) گیل (Gill) به عنوان یک مه طبیعی (و نه مصنوعی) شناخته می شود. تفنگ SV مجهز به موتور جت، به هوا بخار آب اضافه می کند تا هوا اشباع شود و در آن مه تشکیل شود. روش استفاده از موتور جت این مزیت را دارد که می توان آن را به سمت بالادست اراضی تحت حفاظت انتقال داد. بنابراین هزینه اولیه برای یک تفنگ SV بسیار کمتر از سیستم مه ساز لوله ای است. اما به دلیل آنکه با موتور جت کار می کند، آلودگی صوتی بسیار زیادی تولید می کند. مشکل رانده شدن مه به نواحی مجاور در این روش هم وجود دارد و تفنگ SV را نباید در مناطقی که

عبور و مرور خودروها وجود دارد، استفاده کرد. چگونگی کارکرد این وسیله تا حدودی پیچیده است و نتایج حاصل از آزمایش های مزرعه ای هم نسبتاً ابها آمیز و متنوع است.

۱۱-۲-۳) روش های ترکیبی

الف) ماشین های باد و آب پاش های زیردرختی

آب پاش های زیردرختی با زاویه پاشش کم را می توان همراه با ماشین های باد برای حفاظت در برابر یخبندان استفاده کرد. علاوه بر گرمایی که در زمان حرکت قطره های آب از نازل آب پاش تا روی زمین حاصل می شود، یخ زدن آب بر روی سطح زمین هم مقداری گرمای نهان آزاد می کند که هوای نزدیک سطح را گرم می کند. اگرچه این هوای گرم شده در مجاورت سطح زمین به طور طبیعی عی به طرف بالا حرکت می کند و به گیاه منتقل می شود، اما کارکردن ماشین های باد همراه با آب پاش ها باعث می شود که انتقال گرما و بخار آب به هوا و گیاهان افزایش یابد. معمولاً کشاورزان ابتدا آب پاش ها را که هزینه کمتری دارند، روشن می کنند و سپس در صورتی که به حف اظت بیشتری نیاز باشد، ماشین های باد را هم روشن م یکنند.

ب) ماشین های باد و آبیاری سطحی

ترکیب روش های ماشین باد و آبیاری سطحی، در حد گسترده ای در کالیفرنیا و سایر مناطق ایالات متحده، به خصوص در باغ های مرکبات، انجام شده است. معمولاً کشاورزان ابتدا با آبی اری سطحی شروع می کنند و سپس در صورت لزوم، ماشین های باد را به عنوان مکمل روشن می کنند. در اینجا نیز ماشین های باد موجب تسهیل در انتقال گرما و بخار آب حاصل از آب در لایه مختلط هوا به گیاهان و هوا می شوند. کشاورزان به خوبی می دانند که ترکیب ماشین های باد و آبیاری سطحی باعث بهبود حفاظت در برابر یخبندان می شود، اما مقدار حفاظت اضاف ه ای که از این طریق حاصل می شود به درستی مشخص نیست.

ج) ماشین های باد و بخاری ها

ترکیب بخاری ها و ماشین های باد برای حفاظت در برابر یخبندان، موجب بهبود تأمین حفاظت در مقایسه با هر یک از این دو روش به تنهایی می شود (مارتسولف، ۱۹۷۹). بروکس (۱۹۶۰) گزارش کرد که استفاده از یک ماشین باد و ۵۰ بخاری در هر هکتار، تقریباً معادل استفاده از ۱۳۳ بخاری به تنهایی در هر هکتار است. در کالیفرنیا مشخص شد که ترکیب این دو روش به مدت زمان ۱۰۰، ۵۰ و ۱۰ ساعت، باعث کاهش هزینه های سالیانه به ترتیب به میزان ۵۳، ۳۹ و صفر درصد می گردد. در کالیفرنیا توانستند با ترکیب این دو روش باغ های مرکبات را تا دمای 5°C حفاظت کنند و تعداد بخاری های مورد نیاز هم به نصف تعداد اولیه می رسد. یک سیستم معمولی شامل یک ماشین باد ۷۴/۵ کیلوواتی و ۳۷ بخاری دودکش دار در هر هکتار است که به صورت یکنواخت در سطح باغ توزیع شده اند و تا فاصله ۳۰ متری از ماشین باد، هیچ بخاری قرار داده نمی شود (آنگوس، ۱۹۶۲).

در قسمت های حاشیه ای باغ می توان به ازای هر ۲ درخت یک بخاری قرار داد، اما در داخل ناحیه تحت پوشش ماشین باد می توان بخاری ها را به صورت پراکنده تر و با فاصله بیشتری توزیع نمود. در حاشیه بالادست محل ورود هوای سرد باید

تراکم بخاری ها کمی بیشتر باشد . تا فاصله حدود ۵۰ متری از ماشین باد به هیچ بخاری نیاز نیست و در زمان یخبندان باید ابتدا ماشینی ن های باد روشن شوند. سپس اگر کاهش دما ادامه پیدا کرد، بخاری ها هم روشن می شوند.

د) آب پاش ها و بخاری ها

اگرچه تا کنون تحقیقات علمی معتبری در زمینه ترکیب آب پاش ها و بخاری ها انجام نشده است ، اما مارتسولف (۱۹۷۹) گزارش کرده است که یک کشاورز در پنسیلوانیای آمریکا از این روش استفاده کرده است . این کشاورز یک پوشش مناسب (یک تختۀ اسکی که به صورت افقی بر روی یک دیرک در ارتفاع ۱/۵ متری بالای بخاری نصب می شود) طراحی کرده بود تا از ریختن آب و خاموش شدن شعلۀ بخاری جلوگیری کند . وی ابتدا بخاری ها را روشن می کرد و در صورتی که دمای هوا خیلی کاهش می یافت، آب پاش ها را هم روشن می کرد. ترکیب این دو روش باعث کاهش تشکیل یخ بر روی گیاهان شد و برخی مواقع نیازی به کارکردن آب پاش ها هم نبود . این که آیا رسیدن آب به بخاری باعث کاهش تولید گرما به وسیلۀ بخاری می شود و یا افزایش تبخیر و تشکیل مه های مفید را به دنبال دارد، به درستی مشخص نیست.

ب) راهنمایی ها و آموزشهای راهبردی

۱- استفاده از نقطه شبنم در تعیین احتمال وقوع یخ بندان

هنگامی که هوا گرم می شود، منبسط می شود و در نتیجه قادر است رطوبت بیشتری را در خود نگه دارد. از سوی دیگر، هوای سرد رطوبت کمتری در خود نگه می دارد. توانایی هوا در نگهداری بخار آب، بستگی به دمای آن دارد . هر چقدر دمای هوا بالاتر باشد، مقدار بخار آبی که می تواند در خود نگه دارد، بیشتر خواهد بود . اگر با تغییر آب و هوا، تغییراتی در ظرفیت رطوبتی هوا ایجاد نشود، آنگاه هرچه هوا سرد تر شود سنگین تر و اشباع تر از رطوبت خواهد شد، زیرا هنگامی که هوا سرد می شود قابلیت نگهداری رطوبت آن نیز کمتر و کمتر می شود. نهایتاً دمای هوا به حدی می رسد که دیگر قادر به نگهداری رطوبت نیست و در این هنگام رطوبت هوا ۱۰۰٪ خواهد بود . این دما را نقطه شبنم می نامند. نقطه شبنم، دمای است که طی آن هوا باید سرد شود تا اشباع شدن (۱۰۰٪ رطوبت نسبی) رخ دهد به شرط آنکه محتوای ظرفیتی آب تغییر نکند . نقطه شبنم، مقیاس مهمی است که برای پیش بینی تشکیل شبنم، یخ بندان و مه استفاده می شود. دمای نقطه شبنم بنا به تعریف عبارت است از دمایی که در آن با سردتر شدن هوا (در فشار ثابت)، بخار آب موجود در هوا به شکل شبنم، مه یا ابر متراکم می شود. هنگامی که دمای هوا به حد نقطه شبنم می رسد، گفته می شود از بخار آب اشباع شده است و دیگر قادر به نگهداری بخار آب نیست . از آن نقطه به بعد، هر رطوبت اضافی، به شکل یخ در می آید. رطوبت نسبی بنا به تعریف همان نسبت مقدار بخار آب واقعی موجود در هوا بر مقدار بخار آبی (رطوبتی) که هوا می تواند در آن دما در خود نگه دارد می باشد. نقطه شبنم یک معیار خوب برای ظرفیت بخار آب هواست . نقاط شبنم بالاتر نشان دهنده ظرفیت بالای بخار آب می باشد و نقطه شبنم پایین ظرفیت کمتر را نشان می دهد.

اگر دمای نقطه شبنم، ۳۵ درجه فارنهایت باشد، بدان معناست که در دمای ۳۵ درجه، رطوبت هوا برابر با ۱۰۰ درصد خواهد بود . اگر دمای هوا از این مقدار کمتر شود، پیامد آن تشکیل مه خواهد بود. البته این دقی قاً" مه نیست، بلکه ذرات ریز آب است که به شکل ابر متراکم شده است . هر چقدر رطوبت هوا بیشتر باشد گرمای بیشتری در آن به دام می افتد و هر چقدر هوا خشک تر باشد، گرمای بیشتری را از دست می دهد.

اگر نقطه شبنم و دمای هوا نزدیک به هم باشند به ویژه در اواخر بعدازظهر که هوا شروع به سرد شدن می کند، احتمال می رود در طول شب، مه تشکیل شود. نقطه شبنم، معیار خوبی برای محتوای واقعی بخار آب هوا می باشد، برخلاف رطوبت نسبی، که دمای هوا را محاسبه می کند. نقطه بالای شبنم، میزان بالای بخار آب را نشان می دهد، نقطه پایین شبنم، بخار آب کم را نشان می دهد. به علاوه، نقطه بالای شبنم، شانس بهتری در نشان دادن باران و طوفان های شدید دارد و احتمال وقوع این عوامل بیشتر می شود.

خطر وقوع یخ بندان هنگامی جدی است که به هنگام شب، ستاره ها به روشنی می درخشند و هیچ رطوبت یا ابری برای نگه داشتن گرما وجود ندارد و هیچ بادی هم نمی وزد. اگر دمای نقطه شبنم بالا باشد، به ندرت یخ بندانی اتفاق می افتد. اگر دمای نقطه شبنم در حدود ۲۰ درجه فارنهایت باشد، یخ بندان اتفاق می افتد، زمانی که نقطه شبنم به زیر نقطه یخ زدن می رسد، نقطه یخ بندان می باشد. نقطه شبنم یک معیار مهم برای پیش بینی زمان تشکیل شبنم، مه، یخبندان و حتی دماهای حداقل است. از آنجا که، فشار اتمسفری تنها اندکی در سطح زمین اختلاف دارد، مگر آنکه نقطه شبنم در طول روز بالاتر از ۷۰ درجه فارنهایت بوده باشد. بنابراین فرد می تواند از نقطه شبنم برای پیش بینی دمای حداقل در شب و نیمه های شب استفاده کند. در صورت عدم وجود جبهه هوا، در نیمه شب انتظار می رود رطوبت نسبی ۵۰٪ باشد و نیز در بعدازظهر، نقطه شبنم در بعدازظهر، ایده ای از پیش بینی دمای حداقل در طول شب به دست می دهد، زیرا احتمال نمی رود که هوا در هر زمان از شب، از نقطه شبنم سردتر شود. برخی حسگرها می توانند دمای دماسنج تر را نشان دهند که البته این دما، دمای نقطه شبنم نیست. دمای دماسنج تر بستگی به مقدار بخار آب موجود در هوا دارد و نشان دهنده دمایی است که هوا در نتیجه تبخیر آب مایع، تا آن دما سرد می شود. برای اندازه گیری این دما، معمولاً "از طریق حرکت دادن هوا روی حباب یک دماسنج و یا حسگری که به وسیله یک پارچه خیس پوشیده شده است، استفاده می شود (معمولاً همراه با یک پنکه یا بادزن دستی). با دانستن دمای دماسنج تر، می توان دمای نقطه شبنم و میزان رطوبت نسبی را به دست آورد. دمای نقطه شبنم در یک زمان معین، همواره کمتر یا برابر با دمای دماسنج تر و همواره کمتر یا برابر با دمای هواست. تنها در زمانی که رطوبت نسبی هوا ۱۰۰٪ باشد، مقدار این سه دما با هم برابر خواهند بود.

یک قاعده سرانگشتی و تقریبی برای کنترل یخبندان بر اساس این فرضیه است که دمای حداقل هوا در صبح یک روز معین، تقریباً نزدیک به دمای نقطه شبنم در عصر روز قبل است. این قاعده برای کنترل یخ بندان های بهاره ای که در شرایط هوای صاف و آرام با زهکشی هوای سرد و لایه لایه شدن هوا در جهت عمودی اتفاق می افتد (شرایط وارونگی دمایی قوی)، از نظر علمی دارای ارزش است. در چنین شرایطی ممکن است مقدار رطوبت کمی در هوای واقع در داخل یا خارج یک ناحیه وجود داشته باشد و بنابراین دمای نقطه شبنم در عصر روز قبل، نشان دهنده میزان رطوبت هوای چند ساعت آینده خواهد بود. هنگامی که دمای هوا به حد نقطه شبنم برسد، دو پدیده اتفاق می افتد. اول آنکه بخار آب در خارج از هوا متراکم می شود و گرما آزاد می کند (گرمای حاصل از تغییر فاز از بخار آب به آب مایع). دوم آنکه بخشی از بخار آب در داخل خود هوا متراکم می شود و مه تشکیل می دهد و در نتیجه باعث کاهش هد رفت گرما از سطح زمین به فضا می شود. ترکیب این دو پدیده، موجب جلوگیری از کاهش بیشتر دمای هوا می شود. تجارب قبلی نشان داده است که حداقل دمای هوا در زمان وقوع یکی از این دو حالت، معمولاً "در حدود چند درجه بالاتر از نقطه شبنم باقی می ماند. احتمالاً" به این دلیل که دمای هوا در ارتفاع حدود ۱/۵ متری از سطح زمین اندازه گیری می شود و در شرایط هوای صاف و آرام، دمای هوا در این ارتفاع

گرم تر از هوای مجاور سطح زمین است. بنابراین در چنین شرایطی دمای هوا در نزدیکی سطح زمین نسبتاً پایین تر است و به دمای نقطه شبنم رسیده است.

۲- نکاتی در مورد تخمین دمای نقطه شبنم

در ارتباط با قاعده تقریبی تخمین دمای حداقل از روی دمای نقطه شبنم باید چند نکته مهم را مد نظر داشت که عبارت است از:

اول آنکه این قاعده فقط برای شرایطی که در بالا توصیف شد، قابل استفاده است (یعنی در هوای صاف و آرام). تعیین دماهای یخ زدگی در شرایط ابرناکی بودن هوا و وزش باد، کاری بسیار دشوار و پیچیده است.

دوم آنکه در زمان یخ بندان های تشعشعی، احتمال دارد که دمای نقطه شبنم در هنگام شب چند درجه کاهش یابد و رطوبت هوا به شکل شبنم و ذرات یخ متراکم شود، در نتیجه حداقل دمای هوا نیز چند درجه پایین تر از دمای برآورد شده در عصر روز قبل خواهد بود. در چنین شرایطی، بهترین راهکار آن است که با استفاده از قرائت دماسنج های متعدد و حسگرهای تعیین کننده نقطه شبنم و دماسنج تر در مزرعه و یا به وسیله زنگ خطرهای الکترونیکی که زمان یخ بندان را هشدار می دهند، شرایط را تحت کنترل در آورد و اما چرا قبل از آنکه گیاهان گوجه فرنگی از بین بروند، بر روی برگ گیاهان علفی یخ بندان مشاهده می شود؟ هنگامی که زمین یک یخ بندان تشعشعی سریع را تجربه می کند، گرما با سرعت زیادی از سطح آن به طرف بالا می رود. بدین ترتیب، هوا در ارتفاع حدود ۱۲ متری از سطح زمین، گرمتر از هوای نزدیک سطح می باشد. سردترین هوا در فاصله تنها یک دانه جو از سطح زمین قرار دارد. در شرایطی که بر روی علف ها لایه های یخ مشاهده می شود، دماسنج دمای هوا در ارتفاع ۱۲۰ سانتی متری را در حدود ۳۳ تا ۳۴ درجه فارنهایت نشان می دهد و در ارتفاع دو پای (حدود ۶۰ سانتی متری) دما در حدود ۳۱ درجه فارنهایت است. در واقع به ازای هر ۳۰ سانتی متر حدود یک درجه از دمای هوا کاسته می شود. از آنجا که دما در ارتفاعات مختلف از سطح زمین، مقادیر متفاوتی دارد، وسایل اندازه گیری و ثبت دمای هوا دقیقاً " در ارتفاع ۴ پای (۱۲۲ سانتی متر) نصب می شوند. با داشتن مقادیر داده های متعلق به منابع مختلف، می توان برنامه ریزی و تصمیم گیری را با دقت بیشتری انجام داد. اما به خاطر داشته باشید که در یک شب سرد و خشک، دمای سطح زمین بسته به میزان پوشش آب، دمای نقطه شبنم و وجود یا عدم وجود باد، می تواند ۴ تا ۵ درجه سردتر از هوای بالای آن باشد.

در برخی از کشورها برخی از باغداران راهکار کلیدی برای پیش بینی اولین یخ بندان را شکل ماه در شب منتهی به یخ بندان می دانند. قبل از آنکه این ایده به عنوان یک ایده عوامانه مورد توجه قرار گیرد باید به مطلب زیر توجه نمود.

از آنجا که در زمان هلال باریک یا کامل بودن قرص ماه، هر دو ماه و خورشید به خط در می آیند و حداکثر کشش جاذبه ای را که منجر به پیدایش شدیدترین جزر و مدها می گردد، ایجاد می نمایند، بنابراین تصور می شود که این دوره های کوتاه زمانی، تاثیر خاصی بر اینکه چه گیاهی و در چه زمانی کاشته شود، دارند. به طور کلی عقیده بر آن است که گیاهان ریشه ای و غده ای، در زمانی که هلال ماه ضعیف و نور آن رو به افول باشد، عملکرد رضایت بخش تر و بهتری خواهند داشت. در حالی که اگر گیاهان زینتی، میوه ای و علوفه ای، در زمانی که هلال ماه ضعیف و نور آن رو به افزایش است (اول ماه)، کاشته شوند، عملکرد بیشتری تولید خواهند کرد. اگرچه تاکنون هیچ اثبات علمی برای این پدیده ارائه نشده است، اما حتی اگر واقعا "

چنین مزایا و اثراتی وجود داشته باشند، برنامه ریزی بر مبنای آنها عملاً "امکان پذیر نیست". در واقع با وجود ملاحظات و نکات متعددی که به هنگام برنامه ریزی برای کاشت گیاهان باید مد نظر قرار گیرند، مسلماً "برنامه ریزی بر اساس وضعیت ماه، در عمل مشکلات بسیار زیادی را به همراه خواهد داشت و به سادگی میسر نیست". با این حال تنها یک اثر معتبر و مستند برای ماه شناخته شده است که می تواند در ارتباط با کشت و کار گیاهان و سبزیجات مد نظر قرار گیرد. طی شب‌هایی که قرص ماه کامل است، گرمای قابل ملاحظه‌ای را از خورشید به جو بالای زمین باز می‌تاباند. قسمت عمده این گرما صرف تبخیر مه‌های رقیق و تشکیل لایه‌های نازک ابر می‌شود که خود این ابرها می‌توانند به حفظ گرما در نزدیکی سطح زمین کمک کنند. اما صاف شدن آسمان که معمولاً "با کامل بودن قرص ماه همراه است، موجب هدر رفتن گرمای سطح زمین از طریق تشعشع می‌شود. بنابراین در هر تاریخی در اواخر بهار و اوایل پاییز که قرص ماه کامل باشد، فراوانی وقوع یخبندان نیز افزایش می‌یابد. خشک بودن هوا عموماً مقارن با زمان قبل از آغاز ماه نو یا بلافاصله قبل از کامل شدن قرص ماه و یا در زمان کامل بودن آن می‌باشد.

احتمالاً "شدت جزر و مد نیز با مقدار آبی که در زمان ماه نو یا کامل بودن قرص ماه تبخیر می‌شود و به هوا می‌رود و نیز با شدت بارندگی‌های بعد از آن، به نوعی ارتباط دارد. زمان خشک بودن هوا همان زمان وقوع یخبندان است. هنگامی که رطوبت افزایش یابد، موجب افزایش دمای نقطه شبنم می‌گردد که این عامل به تنهایی می‌تواند مانع از وقوع دماهای بحرانی گردد، این شرایط تا هنگامی برقرار است که هوای خشک مجدداً "از طریق مکانیزمی، جایگزین هوای مرطوب گردد. وقوع دماهای حداقل بحرانی را نمی‌توان تنها نتیجه سرد بودن هوا دانست، بلکه میزان خشک بودن هوا و به مقدار کمتری، میزان مرطوب بودن خاک نیز بر وقوع این دماها اثر دارند. بنابراین تا زمان ارائه پی‌ش‌بینی‌های مربوط به اول ماه، باید منتظر ماند. شاید اگر برنامه ریزی برای کاشت گیاهان، بر مبنای علائم برج‌های سال و آثار طالع‌بینی انجام نگیرد و ارتباط احتمالی بین مقادیر مختلف دماهای پایین شبانه و میزان بارندگی در یک دوره زمانی معین مشخص شود، آنگاه دریابیم که اطلاعات مربوط به ماه را می‌توان به عنوان معیار قابل توجهی جهت برنامه ریزی در بخش‌های خاصی از کشور مد نظر قرار داد. هرچند ممکن است شما انسان خرافاتی و احساساتی نباشید، اما در فصول بهار و پاییز، عمل کردن بر طبق تغییرات قرص ماه می‌تواند ارزش داشته باشد.

فرد می‌تواند از نقطه شبنم برای پیش‌بینی دمای حداقل در شب و نیمه‌های شب استفاده کند. در صورت عدم وجود جبهه هوا، در نیمه شب انتظار می‌رود رطوبت نسبی % ۵۰ باشد و نیز مقدار نقطه شبنم در بعدازظهر، ایده‌آس از پی‌ش‌بینی دمای حداقل در طول شب به دست می‌دهد، زیرا احتمال نمی‌رود که هوا، در هر زمان از شب، سردتر از نقطه شبنم شود.

زمانی که دمای هوا و نقطه شبنم خیلی از یکدیگر اختلاف دارند، رطوبت نسبی پایین است و وقتی نزدیک هم باشند رطوبت نسبی بالاست. هنگامی که دمای هوا برابر نقطه شبنم باشد، رطوبت نسبی ماکزیمم و % ۱۰۰ است. لذا، در مرحله بعد وقتی به بیرون پا می‌گذارید، متوجه بالا یا پایین بودن رطوبت نسبی خواهید شد.

توانایی هوا در نگهداری بخار آب، بستگی به دمای آن دارد. هر چقدر دمای هوا بالاتر باشد، مقدار بخار آبی که می‌تواند در خود نگه دارد، بیشتر خواهد بود.

۳- تعریف یخ زدگی و یخبندان

از لحاظ فنی، واژه یخبندان (frost). دلالت بر تشکیل کریستال های یخ بر روی سطوح دارد که این حالت ممکن است در نتیجه یخ زدن شبنم و یا تغییر فاز آب از حالت بخار به حالت یخ روی دهد (بلانکس و همکاران، ۱۹۶۳؛ بتن کوت، ۱۹۸۰ و موتا، ۱۹۸۱ و کونا، ۱۹۸۲)، اما این واژه عموماً برای توصیف یک رویداد هواشناسی به کار می رود که با وقوع آن گیاهان زراعی و سایر گیاهان خسارت هایی را در نتیجه یخ زدگی متحمل می شوند. زارعان غالباً " دو اصطلاح یخبندان (frost) و یخ زدگی (freeze) را به صورت معادل یکدیگر به کار می برند، به طوری که هر دو تعریف دو پهلویی شامل دمای هوای برابر یا کمتر از صفر درجه سانتیگراد دارند. مثال هایی از تعاریفی که برای یخبندان در منابع مختلف ارائه شده است عبارتند از:

- وقوع دمای هوای کمتر از صفر درجه و بدون ارائه تعریف خاصی برای نوع محفظه اندازه گیری دما و ارتفاع نصب آن (راپوسو ۱۹۶۷ و هیووت ۱۹۷۱).
 - نزول دمای سطح به زیر صفر درجه (کونا ۱۹۵۲) و پایین بودن دمای هوا به اندازه ای که باعث آسیب دیدگی و از بین رفتن گیاه صرف نظر از نوع گیاه و تشکیل یا عدم تشکیل یخ شود (وتسکوویچ ۱۹۵۸ و ویت کویچ ۱۹۶۰).
 - وقوع دمای کمتر یا برابر با صفر درجه که در یک محفظه نوع Stevenson – screen نصب شده در ارتفاع ۱/۲۵ و ۲ متری متری اندازه گیری شده باشد (هاگ ۱۹۵۰ و ۱۹۷۱ و فرلورنس ۱۹۵۲).
- اشنايدر ، پاويو و تامسون (1987) و کلما و ه مکاران (1992) یخبندان را به دو صورت انتقالی و تشعشی تقسیم بندی کرده اند.

یخبندان انتقالی عبارت است از هجوم توده های هوای سرد در مقیاس وسیع در یک جو متلاطم و بادخیز و دمایی که حتی در طول روز نیز کمتر از صفر درجه است.

یخبندان تشعشی عبارت است از سرد شدن هوا در نتیجه هدر رفتن انرژی از طریق تبادل انرژی تشعشی در شب های آرام و آسمان صاف که معمولاً با وارونگی دمایی همراه است (یعنی با افزایش ارتفاع دما هم افزایش می یابد).

در برخی از موارد هم تلفیقی از یخبندانهای انتقالی و تشعشی روی می دهد.

مثلاً بعید نیست که در شرایط یخبندان انتقالی، یک توده هوای سرد به یک منطقه وارد شود و منجر به ایجاد یخبندان انتقالی گردد و به دنبال این شرایط چند روزی هوا آرام و آسمان صاف می شود و یک یخبندان انتقالی در مقیاس کوچک در نظر گرفته می شود. این شرایط هنگامی روی می دهد که در یک ناحیه یخبندان تشعشی روی دهد و زهکشی مقطعی و محلی هوای سرد منجر به نزول سریع دما در قسمت کوچکی از ناحیه یخبندان تشعشی می شود.

تعاریفی که در لغت نامه ها و منابع علمی برای یخ زدگی و یخبندان ارائه شده است بسیار متغیر و گمراه کننده است. با این حال در سطح جهانی اصطلاح حفاظت در برابر یخبندان (frost protect) معمولاً رایج تر و پذیرفته تر از حفاظت در برابر یخ زدگی (freeze proteion) است و همین دلیل در اینجا نیز از همین اصطلاح استفاده خواهد شد.

یخبندان عبارتست از وقوع دمای هوای صفر درجه سانتیگراد یا کمتر که در ارتفاع ۲۵/۱ تا ۲ متر بالای سطح خاک و در داخل یک محفظه مناسب اندازه گیری شده باشد. آب موجود در داخل گیاهان ممکن است در نتیجه یخبندان، یخ بزند یا یخ نزند که این به فاکتورهای اجتناب از یخ زدگی بستگی دارد (مانند قابلیت فراسردی آب یا تجمع باکتری هایی هسته یخ).

یخ زدگی عبارت است از تشکیل یخ خارج سلولی در داخل بافت های گیاهی. آسیب های ناشی از یخ زدگی هنگامی روی می دهد که دمای بافت های گیاهی به پایین تر از یک حد بحرانی نزول کند و یک شرایط فیزیولوژیکی برگشت ناپذیری ایجاد شود که منجر به مرگ یا اختلال در فعالیت سلول های گیاهی می شود. این دمای خسارت زا برای بافت های گیاهی، به دمای هوای موسوم به «دمای بحرانی» هم بستگی دارد که در محفظه های استاندارد و به وسیله ابزارهای استاندارد اندازه گیری می شود. دمای هوای پایین تر از صفر درجه معمولاً ناشی از کاهش ظرفیت گرمایی محسوس هوا در نزدیکی سطح زمین است که نتایج زیر را در پی دارد:

(۱) هدر رفت انرژی خالص از طریق تشعشع از سطح زمین به آسمان (یعنی یخبندان تشعشعی)

(۲) وزش باد در هوای سرد برای جایگزینی هوای گرم (یخبندان انتقالی)

(۳) ترکیبی از شرایط فوق (یخبندان تشعشعی و انتقالی)

۳-۱) یخبندان تشعشعی

یخبندان های تشعشعی در کشور ما پدیده بسیار رایجی هستند. این نوع یخبندان معمولاً با آسمان صاف، هوای آرام و بدون باد، و آرونگی دمایی، دمای پایین نقطه شبنم و دمای هوا که در طول شب معمولاً پایین تر از صفر درجه و در طول روز بالاتر از صفر درجه است، مشخص می شود. نقطه شبنم نقطه ای است که در آن رطوبت نسبی هوا به صد در صد می رسد و معیار مناسبی برای تشخیص ظرفیت بخار آب هوا به شمار می رود.

در شب هایی که آسمان کاملاً صاف باشد، گرمای بیشتری از طریق تابش از سطح زمین، به هدر می رود و گرمای کافی برای جایگزینی این گرمای از دست رفته تأمین نمی شود و در نتیجه دمای هوا کاهش می یابد. دمای هوا در نزدیکی سطح تابش کننده گرم، کاهش می یابد و یک آرونگی دمایی شکل می گیرد (یعنی با افزایش ارتفاع از سطح زمین، دما نیز افزایش می یابد). هنگامی که انرژی از طریق تشعشع از سطح به هدر می رود، ظرفیت گرمایی محسوس خاک سطحی و هوای مجاور سطح نیز کاهش می یابد. در این شرایط یک جریان گرمایی محسوس از لایه های بالایی هوا به سمت پایین و از داخل خاک به سمت بالا برقرار می شود تا از این طریق گرمای هدررفته جبران گردد. ارتفاع لایه آرونگی دمایی نیز متغیر است و به وضعیت توپوگرافیکی منطقه و شرایط آب و هوایی بستگی دارد، اما عموماً در حدود ۹ تا ۶۰ متر است. (پری، ۱۹۹۳)

اگر دمای هوا در ارتفاع مناسبی از سطح خاک اندازه گیری شود، با افزایش ارتفاع به نقطه ای خواهیم رسید که از آن به بعد دما با ارتفاع شروع به کاهش می کند (شرایط معمولی) ارتفاعی که در آن پروفیل دمایی از حالت آرونگی به شرایط معمول تغییر می یابد را سقف آرونگی می نامند. آرونگی ضعیف (سقف بلند) هنگامی روی می دهد که دمای لایه های بالایی هوا تنها اندکی بالاتر از هوای نزدیک سطح باشد و آرونگی قوی (سقف کوتاه) هنگامی است که با افزایش ارتفاع، دما

به سرعت افزایش می یابد. روش های حفاظتی که نوعی از انرژی مصرف می کنند، در شرایط وارونگی شدید و پایین بودن سقف وارونگی که معمولاً شاخصه یخبندان های تشعشی می باشد، حداکثر کارایی را دارند. یخبندان های تشعشی خود به دو نوع تقسیم می شوند. نوع اول « یخبندان سفید » نام دارد و هنگامی اتفاق می افتد که بخار آب بر روی سطوح یخ می زند و یک لایه سفیدرنگ یخ که اصطلاحاً « یخبندان » نامیده می شود را تشکیل می دهد. نوع دوم یا « یخبندان سیاه » هنگامی اتفاق می افتد که دما به زیر صفر درجه نزول می کند، اما هیچ یخی بر روی سطوح تشکیل نمی شود. در واقع اگر رطوبت هوا به اندازه کافی پایین باشد، دمای سطوح به حدود نقطه انجماد آب نمی رسد و یخبندانی تشکیل نخواهد شد. اما اگر رطوبت بالا باشد، یخ تشکیل می شود و یک یخبندان سفید روی م ی دهد. از آنجا که در زمان تشکیل یخ مقداری گرما آزاد م ی شود، این باعث م ی شود که یخبندان های سفید خسارت های کمتری را در مقایسه با یخبندان های سیاه به همراه داشته باشند.

دما در حدود ساعات غروب آفتاب اتفاق می افتد که تشعشع خالص از سطح زمین به سرعت از حالت منفی تغییر می یابد. این تغییر سریع در میزان تشعشع خالص، به آن دلیل اتفاق می افتد که گرمای آفتاب که در اواسط روز حداکثر مقدار خود را دارد، در هنگام غروب خورشید به صفر می رسد و در نتیجه میزان تشعشعات خالص با طول موج بلند، همواره منفی خواهد بود.

۲-۳) یخبندان انتقالی

یخبندان های انتقالی هنگامی روی می دهند که توده هوای سرد به یک ناحیه وارد شود تا جایگزین هوای گرمی شود که قبلاً " در این ناحیه وجود داشته است. شرایط وقوع این نوع یخبندان معمولاً شامل آسمان ابری، باد ملایم تا شدید، عدم وجود وارونگی دمایی و رطوبت نسبی پایین است. دمای هوا غالباً به پایین تر از نقطه ذوب کاهش می یابد و در تمام طول روز در همان حدود باقی می ماند. با توجه به اینکه اغلب روش های حفاظتی فعال در شرایط وجود وارونگی دمایی عملکرد و کارایی بهتری دارند، بنابراین مقابله با یخبندان های انتقالی که در آنها وارونگی دمایی وجود ندارد، بسیار مشکل است. در بسیاری از موارد، دمای هوا به مدت چند شب به صورت یخبندان انتقالی کاهش می یابد و پس از این چند شب شرایط یخبندان تشعشی حاکم می شود. مثلاً یخبندان های سال های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۸ کالیفرنیا هر دو به صورت یخبندان انتقالی آغاز شدند. در آن سال ها اگر چه سرعت باد خیلی پایین بود، اما آسمان از ۱۸ تا ۲۰ دسامبر ۱۹۹۰ و از ۱۸ تا ۲۲ دسامبر ۱۹۹۸ کاملاً " ابری بود. با این وجود دمای حداقل در طی این دوره هنوز کاملاً " زیر صفر درجه بود. پس از آن که آسمان صاف شد (یعنی ۲۱ تا ۲۵ دسامبر ۱۹۹۰ و ۲۳ تا ۲۵ دسامبر ۱۹۹۸) دماهای زیر صفر در نتیجه شرایط یخبندان تشعشی ایجاد شد و انتقال هوای سرد دیگر نقشی نداشت.

یخبندان های انتقالی عمدتاً " در اقلیم های مدیترانه ای روی می دهند اما در قسمت های غربی قاره ها که معمولاً " توده های هوای سرد قاره ای از نواحی قطبی به سمت نواحی نیمه استوایی منتقل می شوند، یخبندان تشعشی بیشتر شایع است. چند نمونه از این یخبندان ها در مناطق تولید مرکبات فلوریدای ایالات متحده روی داده است. آتاوی (۱۹۹۷) با مراجعه به گزارش ارائه شده توسط جان لی ویلیامز، اولین یخبندان خسارت بار این منطقه را که در سال ۱۸۳۵ روی داده بود توصیف کرده است. ویلیامز در گزارش خود آورده است که ۱۰ روز بود که بادهای بسیار سردی از سمت شمال غرب می وزید و دمای هوا تا ۱۳/۹- کاهش یافت. حتی رودخانه محلی هم یخ زد و تمامی انواع درختان میوه تا عرض جغرافیایی $28^{\circ}N$ از

بین رفتند و به زمین می ریختند. مسلماً " حفاظت در برابر دماهای زیر صفر درجه در هوای بادی و در شرایطی که وارونگی دمایی وجود ندارد در مقایسه با حفاظت در برابر یک یخبندان تشعشی نسبتاً " ملایم ، بسیار مشکل تر است . تنها نقطه امیدواری آن است که یخبندان های انتقالی با فراوانی کم و به ندرت اتفاق می افتند و اغلب یخبندان ها از نوع تشعشی هستند و می توان برای مقابله با آنها اقداماتی را انجام داد.

در ادامه اطلاعاتی درباره جنبه های مهم روش های حفاظت یخبندان بدون معادلات و مفاهیم پیچیده در اختیار خوانندگان قرار می گیرد. اطلاعات جزئی تر و کام لتر متعاقباً ارائه می گردد. جهت کاهش حجم مطالب و سهولت خواندن منابع مورد استفاده ارائه نشده اند.

۴ - حساسیت محصول و دماهای بحرانی

خسارت یخبندان به گیاهان، ناشی از دمای سرد نیست، بلکه عمدتاً " به دلیل تشکیل یخ خارج سلولی (نه داخل سلول) در درون بافت گیاه می باشد که طی آن، آب سلول خارج و سلول ها دهیدراته (آبگیری) می شوند و سبب خسارت به سلول ها می شود . به دنبال قرار گرفتن گیاهان در دوره سرما، آنان در برابر خسارت یخ زدگی مقاوم می شوند و دوباره پس از گرم شدن کوتاه مدت مقاومت خود را از دست می دهند. ترکیبی از این عوامل، و سایر عوامل دیگر، میزان درجه حرارتی که طی آن، درون بافت گیاهی یخ تشکیل می شود و زمان وقوع را خسارت تعیین می کنند. میزان خسارت یخبندان با کاهش دما افزایش می یابد و دمای مرتبط با سطح خاصی از خسارت، دمای بحرانی یا دمای خسارت بحرانی برای آن سطح گفته می شود و با نماد T_c^0 نشان داده می شود . به طور کلی بیشتر دماهای بحرانی در اتاقک رشد و از طریق سرد کردن اتاقک با یک نسبت ثابت تا حد پایین تر از دمای از پیش تعیین شده به مدت ۳۰ دقیقه تعیین می شوند. سپس درصد خسارت ثبت می شود.

T_{10} و T_{90} دمایی است که ۱۰ درصد و ۹۰ درصد محصولات قابل ارائه به بازار خسارت می بینند . به طور کلی هر دو دمای T_{10} و T_{90} پس از شروع نمو غنچه ها و جوانه های گل تا مرحله تشکیل میوه های هسته دار زمانی که گیاهان نسبت به یخ زدگی در حساس ترین مرحله هستند، افزایش می یابند. مقادیر T_{90} در زمان شروع رشد پایین است و لی خیلی سریع تر از دمای T_{10} افزایش می یابد. و تفاوت کمی بین T_{10} و T_{90} در شرایطی که محصول بیشترین حساسیت را دارد وجود دارد. مقادیر T_c برای باغ های دارای درختان برگ ریز و تاکستان ها در مرحله فنولوژیکی بسیار متفاوت است . تصاویر مراحل فنولوژیکی معمولاً " بسی اری از این گیاهان را نشان می دهند که می توانند از طریق اینترنت به آن دست یافت. سایت هایی مانند:

Fruit.prosser.Wsu.edu/frsttables.htm

www.Msue.msu.edu/van_buren/crittemp.htm.

گرچه مقادیر T_c اطلاعاتی را مانند زمان شروع و خاتمه روش های حفاظت از یخ بندان فعال در اختیار قرار می دهد، این روش ها باید با آگاهی و با دقت استفاده شوند . معمولاً مقادیر T_c ، دمای جوانه ها گل ها یا میوه های کوچک را نشان می دهد که یک سطح شناخته شده ای از خسارت مشاهده شده می باشد. با این حال اندازه گیری بافت های حساس گیاهی دشوار می باشد و مقادیر این دماها احتمالاً از مقادیر دمای اندازه گیری شده به وسیله کشاورزان متفاوت می باشد. به جز برای میوه های بزرگ (مثل پرتقال)، دمای جوانه ها، گل و میوه کوچک معمولاً " از دمای هوا سردتر می باشد . بنابراین روش

های فعال حفاظت باید در دماهای هوای بالاتر از آنچه در جداول دمای بحرانی نشان داده شده است شروع شود و پایان یابد. برای میوه های بزرگ مثل مرکبات، دمای هوا هنگام غروب اغلب سریع تر از دمای میوه پایین می افتد، بنابراین می توان بخاری ها یا ماشین های باد را وقتی که دمای هوا تقریباً "یا کاملاً" به زیر دمای T_c می رسد راه اندازی و روشن کرد.

۵- ارزیابی جغرافیایی خسارت یخبندان به محصولات

خسارت یخ بندان در اغلب مناطق به جز مناطق حاره، زمانی که دما به زیر نقطه ذوب یخ (۵ درجه سانتی گراد) می رسد به وقوع می پیوندد. میزان خسارت وارده به حساسیت محصول به یخ زدگی هنگام وقوع یخبندان و مدت زمانی که دمای هوا زیر دمای خسارت بحرانی قرار دارد (T_c) بستگی دارد.

برای مثال در کشورهای آرژانتین، استرالیا، کانادا، فنلاند، فرانسه، یونان، اسرائیل، ژاپن، اردن، نیوزلند، پرتغال، سوئیس، آفریقا و زامبیا، تکنیک های پیش بینی دمای حداقل توسعه یافته و به حفاظت یخ بندان کمک می کند. البته بسیاری از کشورهای دیگر مانند کشورهای واقع در مناطق معتدله و خشک ویا مناطقی که در ارتفاعات بلند قرار دارند، با خسارت حاصل از یخبندان مشکلاتی داشته اند.

تا حد زیادی پتانسیل خسارت یخبندان بستگی به شرایط محلی دارد، بنابراین انجام یک ارزیابی جغرافیایی از خسارت پتانسیل دشوار می باشد. متوسط طول دوره بدون یخبندان که از زمان افت دما به زیر صفر (آخرین حد دما) در بهار تا اولین دمای زیر صفر در پاییز به طول می انجامد، اغلب جهت طبقه بندی جغرافیایی پتانسیل خسارت مورد استفاده قرار می گیرد.

نقشه دنیا شامل طول متوسط دوره بدون یخ بندان به وضوح نشان می دهد که بیشترین پتانسیل خسارت یخ بندان با حرکت به سمت قطب افزایش می یابد. تنها در عرض های جغرافیایی بین نواحی حاره ای Cancer و Capricorn، نواحی وسیعی با درجه حرارت های کم یا بالاتر از صفر وجود دارد. حتی در نواحی حاره ای گاهی اوقات خسارت حاصل از یخ بندان در ارتفاعات بلند رخ می دهد. خسارت احتمالاً زمانی که منطقه در معرض وزش باد قرار دارد یا توسط حوزه های بزرگ آبی احاطه می شود تا حدی ضعیف می باشد که به دلیل اثر متعادل کننده محیط (دریایی) بر روی دما و رطوبت و در نهایت نوسانات دما و تشکیل شبنم یا یخ می باشد.

۶- اثرات دود

امروزه به خوبی مشخص شده که حفاظت از طریق استفاده از بخاری ها به دلیل گرمای آزاد شده از آتش و شعله آن است و نه به دلیل تولید دود (Collomb) (۱۹۶۶). دود آسمان را میپوشاند و جلوی دید را می گیرد، و اثر کمی روی دمای هوا در شرایط آسمان صاف دارد. متوسط ابعاد ذرات دود کمتر از ۱ میکرومتر (μm) می باشد. این ذرات می توانند میزان تشعشع در محدوده قابل رویت ($0.7 - 0.4 \mu\text{m}$) را کاهش دهند، با این حال اثر کمی روی انتقال تشعشعات طول موج بلند دارند. بنابراین عمده تشعشع امواج بلند ایجاد شده از سطح به سمت بالا می توانند، از بین دود عبور کنند، بدون آنکه جذب شوند. به همین دلیل دود اثر کمی روی تشعشع رو به بالا و پایین امواج بلند در شب دارد و بنابراین در حفاظت از یخ بندان کمتر کارایی دارد. از آنجا که دود فایده کمی دارد یا اصلاً مؤثر نیست و هوا را آلوده می کند، بهتر است هر نوع عملیات تولید دود را به حداقل رساند و کارایی حرارتی شعله بخاری را بیشتر نمود. دود در هنگام طلوع آفتاب مانع تشعشع خورشید به زمین

می شود و در نتیجه گرم شدن محصول به تأخیر می افتد. این تأخیر باعث افزایش مصرف سوخت می شود و خسارت بیشتری را موجب می شود. گزارشهایی از آب شدن تدریجی مرکبات یخ زده به وسیله دود در دست است که گفته می شود خسارت کاهش یافته است (1978 Bagodanas.George, Gerber) ولی گزارشهای دیگری حاکی از مخالفت با این نظریه نیز وجود دارد (Baker و همکاران، ۱۹۷۷). اگر این نظریه حقیقت داشته باشد دود ممکن است موثر باشد، ولی قوانین موجود در مورد آلودگی هوا در بیشتر مناطق استفاده از دود را غیرقانونی می داند.

در جایی که باغات کوچکند و نزدیک جاده هستند، دود بخاری به عنوان یکی از عوامل ایجاد تصادفات اتومبیل شناخته شده است، به گونه ای که در شمال ایتالیا قوانین سختی وضع شده و قوانین بیمه در این زمینه خیلی جدی می باشد. در نتیجه تولید دود برای حفاظت در برابر یخ بندان توصیه نمی شود.

۷- شرایط انتخاب مکان های مناسب برای کشاورزی

یک مشخصه برجسته تم امی تولیدکنندگان موفق آن است که تمامی آنان از احتمال وقوع یخبندان و خسارت های ناشی از آن آگاهی کامل دارند و کلیه شرایط یک مکان را قبل از کاشتن یک گیاه در آن محل، به دقت بررسی می کنند. برای برخی از گیاهان مواجهه با دماهای سرد می تواند مطلوب باشد (مثلاً سرما های خفیف شبانه باعث افزایش کیفیت میوه انگور می شود)، اما دماهای زیر صفر که آسیب دیدگی گیاه را به همراه دارد، هرگز نمی تواند مطلوب باشد. بهترین راهکار، یافتن مناطقی است که ریز اقلیم خوبی برای تولید محصولات با کیفیت دارند و دماهای خسارت زا در آن مناطق اتفاق نمی افتد. اگر دماهای زیر صفر درجه به صورت ادواری و متناوب و با فراوانی کم اتفاق می افتد، می توان یک راهکار اقتصادی را در پیش گرفت و از این شرایط بهره برداری نمود، بدین منظور از یک روش حفاظتی فعال برای جلوگیری از آسیب های ناشی از یخبندان ها استفاده می شود. اما در زمینه تعیین کارآیی هزینه ها باید دقت کرد که هزینه روش حفاظتی مورد استفاده و میزان خسارت های احتمالی به گونه ای در تعادل باشند که افزایش درآمد ناشی از بهبود کیفیت محصول، این هزینه ها را جبران کند. به طور کلی گیاهان در جایی رشد می کنند که شرایط آب و هوایی برای رشد آنها مناسب باشد و در این شرایط اغلب، یخبندان و آسیب های ناشی از آن است که عامل محدود کننده رشد می شود. مثلاً مرکبات در نواحی شرقی دره سان جاکوئین در ایالت کالیفرنیا آمریکا در سطح گسترده ای تولید می شوند، زیرا یخبندان های شدید در این منطقه کمتر اتفاق می افتد. دره سان جاکوئین یک شیب آرام رو به پایین در حدود ۱۰۰ کیلومتر از لبه شرقی تا مرکز دره دارد و ناحیه تولید مرکبات در ۳۰ کیلومتر شرقی این منطقه قرار دارد. در این منطقه، فصل بارش باران از دسامبر تا فوریه است و در این مدت غالباً آسمان این منطقه ابری است. با این حال حتی در زمان هایی که آسمان ابری نیست، دره سان جاکوئین در معرض تشکیل مه قرار دارد. وجود مه و ابر هر دو باعث افزایش تشعشعات موج بلند رو به پایین و کاهش هدررفت تشعشع خالص می شود. از آنجا که در شرایط ابری یا مه آلود بودن هوا، میزان هدررفت انرژی تشعشعی کاهش می یابد، بنابراین در چنین شرایطی وقوع یخبندان تشعشعی بسیار بعید است. اما در موارد نادری هم ممکن است به علت ایجاد شرایط یخبندان انتقالی، حتی در هوای ابری هم دماهای زیر صفر درجه مشاهده شود. با این حال در این منطقه یخبندانهای تشعشعی بسیار شایع تر از یخبندانهای انتقالی هستند.

علاوه بر نقشی که ابر و مه در کاهش فراوانی وقوع دماهای زیر صفر درجه دارند، زهکشی هوای سرد به طرف غرب و به سمت خارج از این منطقه نیز موجب کاهش یخبندان ها می شود. ارتفاع در قسمت شرقی (یعنی منطقه تولید مرکبات)

بیشتر از کف دره و قسمت غربی آن است. در مقیاس منطقه ای می توان گفت که هوای سرد به آرامی به طرف غرب زهکشی می شود. بنابراین هیچ تولیدکننده با تجربه ای سعی نمی کند که باغ مرکبات خود را در قسمت غربی که احتمال آسیب دیدگی از یخبندان بیشتر است، احداث نماید.

سومین دلیل رایج ب ودن تولید مرکبات در این منطقه آن است که به هنگام بعدازظهر توده های مه محو می شوند و نور خورشید به خاک و گیاهان می رسد و تا قبل از غروب آفتاب مقداری گرما از این طریق ذخیره می شود. چنین شرایطی در قسمت های غربی این دره حاکم نیست، زیرا رشته کوه هایی که در قسمت غرب قرار دارد باعث بلوکه شدن گرمای خورشید در بعدازظهر و عصر می شود. در سمت شرقی دره، شیب زمین عموماً رو به طرف غرب است و بنابراین به هنگام بعدازظهر میزان دریافت انرژی خورشیدی به ازای واحد سطح بیشتر از سمت غربی دره است.

به منظور انتخاب یک مکان جدید جهت احداث باغ، اولین اقدام آن است که با افراد محلی و بومی در مورد گیاهان و ارقامی که برای آن منطقه مناسب هستند، مشورت و نظرخواهی شود. تولیدکنندگان محلی و کارشناسان و مشاوران ترویجی غالباً ایده های ارزشمندی در مورد مکان های نامناسب دارند. کاشت گیاهان هرگز نباید در نواحی پست که مه زمینی در آنجا زودتر تشکیل می شود، انجام گیرد. مه های زمینی همان مه های تشعشعی هستند و همانند یخبندان های تشعشعی، غالباً در سردترین نقاط یک منطقه تشکیل می شوند.

گام بعدی در راه شناسایی مکان های مناسب کشت، ارزیابی داده های اقلیمی و تعیین احتمال خطر وقوع یخبندان در منطقه است. یک منبع اطلاعاتی خوب برای داده های اقلیمی مناطق مختلف، مجموعه اطلاعاتی سازمان فائو (FAO CLICOM) است که از طریق پایگاه اینترنتی آن (به نشانی www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/aglw/climwat.stm) قابل دسترسی است. برای مناطقی که داده های اقلیمی ناقص یا غیر قابل دسترسی است، بهتر است که میزان دمای حداقل هوا در محل کاشت، حداقل در یک فصل یخبندان و قبل از آن که یخبندان شدید باعث به بار آمدن خسارتی شود، تعیین و ارزیابی شود. بهترین راه آن است که دمای هوای هر روز به صورت پیوسته و مرتب به وسیله حسگر دمایی که در یک محفظه استاندارد Stevenson نصب شده است، اندازه گیری شود. یک مزیت استفاده از محفظه Stevenson آن است که می توان داده های ثبت شده را با داده های ارائه شده از مراکز هواشناسی که از این نوع محفظه استاندارد استفاده می کنند، مقایسه نمود. در صورت امکان بهتر است که میزان رطوبت نسبی، سرعت باد و جهت باد نیز تعیین شود. طی دهه های اخیر حسگرهای دمایی و رطوبتی الکترونیکی رواج بیشتری پیدا کرده اند و از محفظه های تابشی Gill بیشتر از محفظه های Stevenson استفاده می شود. برای اندازه گیری دما در شب های یخبندان غالباً از محفظه های مخصوص میوه ها (fruit-frost) استفاده می شود. محفظه ها و حسگرها از هر نوعی که باشند، لازم است که حسگر دمایی در ارتفاع ۱/۲۵ تا ۲ متری از سطح زمین نصب شود. مقدار دقیق این ارتفاع باید مشابه با ارتفاع نصب حسگرها در مرکز خدمات هواشناسی آن محل باشد. برخی از هواشناسان و زارعان نیز از شاخص آکتینوترمال (actinothermal index) که یک دماسنج بدون محفظه است و بر روی یک پایه چوبی نصب می شود، استفاده می کنند (دوراند، ۱۹۶۵؛ پرادین، ۱۹۶۵؛ اسکربر، ۱۹۶۵). این دماسنج برای گیاهان کوتاه قد در ارتفاع ۰/۱ متری و برای گیاهان بلند قد در ارتفاع ۰/۵ متری نصب می شود. از آنجا که این دماسنج در داخل محفظه ای قرار نمی گیرد، انتظار می رود که دمای ثبت شده از آن به دمای بوته یا شاخه گیاه نزدیک تر باشد. برای ارزیابی قابلیت یک مکان کشت، می توان با

جمع آوری داده های دمای شبانه طی ۱۰ تا ۲۰ شب سرد، اطلاعات کافی جهت تعیین احتمال وقوع خسارت های ناشی از یخبندان در یک منطقه را تأمین نمود (بوچت ، ۱۹۶۵).

۸- پیش بینی و نمایش داده های آب و هوایی:

پیش بینی دمای حداقل و آگاهی از چگونگی تغییر دما طی شب برای حفاظت گیاهان از یخ بندان بسیار مفید می باشد. این پیش بینی ها کشاورزان را در تصمیم گیری اینکه آیا حفاظت نیاز است یا نه و زمان شروع راه اندازی سیستم ها چه موقع است کمک می کند. برای این منظور توصیه می شود ابتدا باغدار با سروی س های محلی آب و هوا مشورت نماید تا معلوم شود آیا اطلاعات مربوط به پیش بینی ها در دسترس هستند. معمولاً از طریق سرویس های آب و هوایی می توان به اطلاعات زیاد و قابل توجهی دست یافت. آنها از مدل های سینوپتیکی و مقیاس متوسط برای انجام پیش بینی های ناحیه ای استفاده می کنند. پیش بینی های محلی (مقیاس کوچک) عمدتاً در دسترس نیستند، مگر آنکه توسط سرویس های خصوصی پیش بینی ارائه شده است. بنابراین یک مدل تجربی پیش بینی که می تواند به آسانی برای شرایط محلی خاص تنظیم شود در این طرح ارائه خواهد شد. در این مدل از داده های درازمدت درجه حرارت هوا و نقطه شبنم در دو ساعت بعد از غروب آفتاب استفاده می شود و از دماهای حداقل مشاهده شده برای مشخص کردن ضرایب رگرسیون یک ناحیه خاص که برای پیش بینی دقیق دمای حداقل طی یک دوره خاصی از سال ضرورت دارد استفاده می شود. این مدل تنها طی وقوع یخ بندان های تشعشی در نواحی با زهکشی محدود هوای سرد کارایی دارد. برنامه کاربردی دیگری نیز ارائه خواهد شد که برای برآورد دمای حداقل از داده های ثبت شده مربوط به دو ساعت پس از غروب آفتاب تا هنگام رسیدن دمای حداقل پیش بینی شده در هنگام طلوع در صبح روز بعد، استفاده می کند. اگر دمای نقطه شبنم دو ساعت پس از غروب وارد شود، این برنامه دمای دماسنج تر را در شب هنگام محاسبه می کند.

۹- پیش بینی و نظارت بر شرایط یخبندان

پیش بینی دمای حداقل و چگونگی تغییر دما در طول شب، از اهمیت زیادی در زمینه حفاظت در برابر یخبندان برخوردار است، زیرا به کشاورزان کمک می کند تا در مورد لزوم استفاده از روش حفاظتی و زمان آغاز به کار یک سیستم، تصمیم گیری نمایند. برای دسترسی به پیش بینی های ارائه شده ابتدا باید با مراکز خدمات هواشناسی محلی تماس گرفت. این مراکز به اطلاعات بسیار جامع تری دسترسی دارند و برای انجام پیش بینی های منطقه ای از مدل های سینوپتیک و مقیاس های متنوعی استفاده می کنند. دسترسی به پیش بینی های محلی (در مقیاس خرد) معمولاً امکان پذیر نیست، مگر آنکه به وسیله مراکز خصوصی کوچک این پیش بینی ها انجام شود. بنابراین در این طرح یک مدل پیش بینی تجربی ارائه خواهد شد که به راحتی می توان شرایط محلی مربوط به هر منطقه را در آن وارد نمود و محاسبات آن را برای هر محل کالیبره کرد. این مدل با استفاده از داده های سال های قبل، مربوط به دمای هوا و نقطه شبنم در زمان دو ساعت پس از غروب آفتاب و دمای حداقل مشاهده شده، یک ضریب رگرسیون اختصاصی برای هر محل محاسبه می کند و از روی آن دمای حداقل هوا در یک دوره زمانی معین از سال را به دقت پیش بینی می کند. این مدل تنها در شرایط یخبندان تشعشی و در مناطقی که زهکشی هوای سرد محدود است، قابل استفاده است. روش محاسبه ضرایب رگرسیون و چگونگی استفاده از این برنامه در گزارش نهایی طرح ارائه خواهد شد.

فصل دوم: ارزیابی و پیش بینی یخبندان

مقدمه

ارزیابی و پیش بینی شرایط یخبندان، مستلزم تصمیم گیری ها و تحلیل هایی پیچیده و استفاده از احتمالات شرطی و نکات اقتصادی است. پیش بینی دقیق یخبندان می تواند تاثیر زیادی در کاهش خسارت های ناشی از یخبندان داشته باشد، زیرا این فرصت را برای کشاورزان فراهم می کند که برای مواجهه با یخبندان مهیا شوند. برای دسترسی به پیش بینی های ارائه شده ابتدا باید با مراکز خدمات هواشناسی محلی تماس گرفت. این مراکز به اطلاعات بسیار جامع تری دسترسی دارند و برای انجام پیش بینی های منطقه ای از مدل های سینوپتیک و مقیاس های متنوعی استفاده می کنند. دسترسی به پیش بینی های محلی (در مقیاس خرد) معمولاً امکان پذیر نیست، مگر آنکه به وسیله مراکز خصوصی کوچک این پیش بینی ها انجام شود. پیش بینی دمای حداقل و آگاهی از چگونگی تغییر دما طی شب نیز برای حفاظت گیاهان از یخبندان بسیار مفید می باشد. این پیش بینی ها کشاورزان را در تصمیم گیری اینکه آیا حفاظت نیاز است یا نه و زمان شروع راه اندازی سیستم ها چه موقع است کمک می کند.

در این بخش خلاصه ای از نتایج پژوهش های مقدماتی سنتز ملی طرح کاهش ضایعات ناشی از سرمازدگی در زمینه آشنایی با روش های پیش بینی دماهای بحرانی و یخبندان در کشور ارائه می گردد و به بحث و بررسی درباره ارزش و اهمیت پیش بینی یخبندان، تشریح مطالعات انجام گرفته در زمینه ابعاد مختلف فرایند پیش بینی یخبندان و معرفی برخی از مهم ترین مدل های پیش بینی که در حال حاضر در سطح جهان مورد استفاده قرار می گیرند می پردازیم. نتایج کامل این مطالعات در گزارش نهایی طرح ارائه خواهد شد.

۱- ارزش پیش بینی یخبندان

اگر چه امروزه تصمیم گیری بر مبنای تحلیل های آماری در بسیاری از مزارع کشاورزی بزرگ در سطح جهان انجام می شود، اما کاربرد عملی آن جهت پیش بینی یخبندان تنها در موارد محدودی مشاهده شده است (Winkler, 1982). Murphy, Katz, (1976) Conklin, Banguet, Holter, با ارائه مقالاتی به بحث در مورد کاربرد تصمیم گیری تحلیلی در ارزیابی میزان کارایی هزینه ها در پیش بینی یخبندان پرداختند. Winkler, Murphy, Katz (1982) ارزش پیش بینی یخبندان در دره یاکسیما در ایالت واشینگتن ایالات متحده را به طور کامل بررسی کردند. این منطقه به خاطر تولید زیاد سیب و تا حد کمتری گلابی و هلو از شهرت زیادی برخوردار است. اما یک مشکل بزرگ هم در این منطقه وجود دارد که در زمان شکفتن جوانه ها و نیز در مراحل گلدهی و میوه کوچک این گیاهان، یخ زدگی های فراوانی روی می دهد. این محققان با استفاده از مدل تصمیم گیری مارکوف، مدل دیگری ارائه کردند که مشکل یخ زدگی های این منطقه را با شناسایی عملیات ممکن و رویدادها و پیامدهای احتمالی آنها، بررسی می نماید. حساسیت گیاه در برابر یخ زدگی طی مراحل شکفتن جوانه ها، شکوفه دهی و میوه ریز متفاوت است، بنابراین توابعی که رابطه بین میزان خسارت های وارد بر گیاه با مقدار دمای حداقل را بیان می کنند، برای دوره ها و مراحل فصولی مختلف هر گیاه تهیه شدند و بدین ترتیب ارتباط بین خسارت ها و دما مشخص شد. سپس با محاسبه انحراف معیار شرطی، قابلیت مقادیر پیش بینی شده در زمینه تعیین حداقل دما با استفاده از داده های اقلیمی واقعی، ارزیابی گردید.

۲- پیش بینی دمای حداقل

پیش بینی زمانی که دمای هوا به پایین تر از یک حد بحرانی نزول می کند، اهمیت زیادی جهت شروع به کار روش حفاظتی فعال دارد. زمان مناسب شروع و توقف یک سیستم حفاظتی از آن جهت اهمیت زیاد دارد که از وقوع خسارت های ناشی از آغاز به کار دیر هنگام حفاظت، جلوگیری می کند و با کاهش مدت زمان کارکرد سیستم های حفاظتی مختلف، باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می شود. اگر چه تشریح چگونگی پیش بینی دماهای حداقل با استفاده از مدل های سینوتپیک و میان یابی، از محدوده ای ن بحث فراتر است، اما کلیاتی در مورد چگونگی پیش بینی دمای حداقل در جریان یک یخبندان تشعشعی و با استفاده از داده های محلی ارائه می شود.

به طور کلی بهترین راه آن است که یک مدل پیش بینی دما در سطح کوچک (یعنی در سطح محلی) با استفاده از محاسبات مربوط به تعادل انرژی تهیه شود. چگونگی این کار توسط کالما و همکاران (۱۹۹۲) بررسی و ارائه شده است. مهمترین نتیجه تحقیقات آنها این بوده که «تنها با استفاده از محاسبات مربوط به تعادل انرژی سطحی (سطح زمین)، نمی توان پیش بینی رضایت بخشی در مورد دمای هوا انجام داد، حتی اگر تفاوت بین دمای سطح و دمای هوا را هم بتوان به دقت مشخص کرد» آنها عدم امکان پی شیبینی دقیق را ناشی از موارد زیر دانستند:

۱. مشکل بودن اندازه گیری جریان متلاطم گرمای محسوس در طیف دمایی مربوط به شیب های یخبندان

۲. مشکل بودن محاسبه نقش فرایند جابه جایی در انتقال گرما

۳. تغییرات مداوم در میزان انتشار گرمای تشعشعی از سطح زمین

کالما و همکاران (۱۹۹۲) پیشنهاد کردند که به جای استفاده از تعادل انرژی برای مطالعه سرعت سرد شدن سطح زمین، بهتر است سرعت یک ستون هوا برآورد شود. با این حال آنان دریافتند که جریان گرمای محسوس در هر دو شکل خود یعنی متلاطم و تشعشعی، به پروفیل های عمودی باد، رطوبت و دما بستگی دارد که به دلیل مشکلات موجود در اندازه گیری آنها، امکان پیش بینی دقیق وجود ندارد.

کالما و همکاران (۱۹۹۲)، مدل یک بعدی پیش بینی دما که توسط سادرلند (۱۹۸۰) و کلایر (۱۹۸۲ و ۱۹۹۳) ارائه شده بود را مورد بحث و بررسی قرار داده اند. مدل سادرلند از یک معادله تعادل انرژی سطحی با فرض ناچیز بودن گرمای نهان و نیز مدل جریان گرما در خاک و یک جریان گرمای محسوس در لایه پایین اتمسفر به ضخامت ۹/۰ متر، استفاده می نماید. متغیرهای ورودی عبارتند از دمای دمای هوا در ارتفاعات ۰، ۱/۵، ۳/۰ و ۹/۰ متر، دمای خاک در اعماق ۰/۱ و ۰/۵ متر، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری و میزان تشعشع خالص. در نهایت این مدل با یک مدل آماری ترکیب شده تا پی شیبینی دقیقی به دست آید.

مدل دمای کلایر (۱۹۸۲ و ۱۹۹۳)، تغییرات دما در داخل لایه هوایی تا ارتفاع حدود ۱۰۰ متری در فضا و تا عمق ۱/۰ متر در خاک را اندازه گیری می نماید. متغیرهای ورودی در این مدل عبارتند از میانگین دمای خاک و سرعت باد و دمای هوا در ارتفاع ۳/۰ متری در هنگامی که تشعشع خالص منفی می شود و نیز منفی ترین مقدار مورد انتظار تشعشع خالص و دمای نقطه شبنم هنگامی که تشعشع خالص در منفی ترین مقدار خود قرار دارد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که این مدل،

برآوردهای واقع گرایانه ای از تعادل انرژی سطحی به هنگام شب تأمین می کند، اما برآوردهای به دست آمده مربوط به انتقال گرما در خاک و ضریب تبادل گرمای ی اتمسفر نیاز به انجام اصلاحاتی دارد (کالما و همکاران، ۱۹۹۲).

به طور کلی بهتر است که یک مدل جبری کارآمد برای بررسی تعادل انرژی تهیه شود که تغییرات دما در زمان وقوع یخبندان ها را برآورد نماید، اما تاکنون هیچ مدلی که در سطح جهانی پذیرفته شده باشد و متغیرهای ورودی آن را بتوان به سادگی فراهم نمود ارائه نشده است. اما مدل های تجربی زیادی برای پیش بینی دماهای حداقل گزارش شده اند (باگدوناس، جرج و ژریر، ۱۹۷۸) و برخی از آنها هم توانسته اند پیش بینی های نسبتاً دقیق و منطقی حاصل کنند. برای مثال، معادله ارائه شده توسط یانگ (۱۹۲۰) در حد گسترده ای توسط مرکز ملی هواشناسی ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفته و توانسته است موفقیت های چشمگیری در زمینه پی شیبی دماهای حداقل به همراه داشته باشد. اما با این وجود، معادله یانگ نمی تواند مستقیماً "مورد استفاده قرار گیرد. بلکه لازم است بر حسب شرایط محلی به گونه ای کالیبره شود که تاثیر فصول مختلف سال و شرایط محلی در این معادله در نظر گرفته شود. این تغییرات عمدتاً "به صورت مکان - اختصاصی است و در حد وسیعی منتشر نشده است. باید مشخص شود که جهت بهبود کارایی این مدل در شرایط کشور ایران، چه تغیراتی باید در فرمول آن ایجاد شود. مسلماً" با به حساب آوردن زمان سال و شرایط محلی می توان دقت پیش بینی دمای حداقل را افزایش دهد. در واقع این محققان پیشنهاد کردند که یک مدل پیش بینی که از فاکتورهای هواشناسی محلی و داده های اقلیمی مکان - اختصاصی استفاده می کند، می تواند بهترین نتایج را در زمینه پیش بینی دمای حداقل حاصل کند. علاوه بر پیش بینی دمای حداقل، می توان از این مدل و داده ها برای پیش بینی روند تغییر دما طی یک شب یخبندان نیز استفاده کرد.

سال های طولانی بود که مرکز ملی هواشناسی ایالات متحده، پیش بینی هایی را در مورد وقوع سرما و یخبندان در مناطقی از کشور که محصولات با ارزش کشاورزی و حساس به سرما تولید می شدند، انجام می داد و نتایج را در اختیار تولید کنندگان محلی قرار می داد. از آنجا که کارشناسان این مرکز از تجربه زیادی در زمینه پیش بینی دماهای پایین برخوردارند و تجهیزات پیشرفته ای هم در اختیار دارند، می توانند پیش بینی های دقیق تری از آنچه که یک زارع در یک یا دو روز قبل از وقوع یخبندان انجام می دهد، تهیه نمایند. اما در اواخر دهه ۱۹۸۰، ارائه این خدمات از جانب مرکز ملی هواشناسی آمریکا متوقف شد و زارعان مجبور شدند که به صورت خصوصی پیش بینی کنندگان را استخدام کنند و یا از روشهای خودشان برای پی شیبی دمای حداقل برای گیاهان زراعی استفاده نمایند.

در زمانی که مرکز خدمات پیش بینی یخبندان فعالیت می کرد، کارشناسان هواشناسی در برخی از ایستگاه های مرکزی در یک منطقه پیش بینی هایی را انجام می دادند و زارعان با اعمال فاکتورهای تصحیح و کالیبره کردن این پیش بینی ها، مقادیر دمای حداقل را برای منطقه و محصول خود پیش بینی می کردند. به طور کلی تصحیح این مقادیر شامل اضافه کردن یا کم کردن یک مقدار تصحیح از مقدار پیش بینی ارائه شده توسط ایستگاه مرکزی است. مثلاً یک زارع ممکن است ۵٪ از مقدار پیش بینی ارائه شده توسط ایستگاه مرکزی کم کند. در برخی موارد نیز تولی دکنندگان با استفاده از برنامه های کامپیوتری آماری، یک معادله رگرسیون تعیین می کنند که در آن دمای حداقل تعیین شده توسط ایستگاه مرکزی به عنوان متغیر مستقل و دمای حداقل برای گیاه مورد نظر به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می شود.

پس از آنکه ارائه پیش بینی یخبندان به وسیله مرکز ملی هواشناسی خاتمه یافت، تولیدکنندگان بزرگ و آن دسته از زارعیانی که خسارت های زیادی را از یخبندان متحمل می شدند، به صورت خصوصی خدمات پیش بینی هوا را راه اندازی کردند تا دمای حداقل مربوط به گیاه و ناحیه اختصاصی خود را پیش بینی نمایند. در برخی موارد نیز گروه هایی از کشاورزان با همکاری و سرمایه گذاری مشترک، یک مرکز پیش بینی خصوصی را اجاره کردند تا همچنان از خدمات ایستگاه های مرکزی بهره مند باشند. در این شرایط زارعان می توانستند کماکان با اعمال فاکتورهای تصحیح مربوط به منطقه خود، دمای حداقل مورد نظر را پیش بینی کنند. اگر چه استفاده از مقادیر پیش بینی ایستگاه های مرکزی و اعمال فاکتورهای تصحیح، می تواند در برنامه ریزی و تصمیم گیری در دوره های دو و سه روزه مفید و قابل استفاده باشد، اما استفاده مستقیم از داده های ایستگاه های پیش بینی کننده در داخل یا نزدیکی ناحیه مورد نظر می تواند پیش بینی ها و نتایج دقیق تر و بیشتری را در جریان یک شب یخبندان حاصل نماید.

۱-۲) یک مدل ساده برای پیش بینی دمای حداقل

در این طرح یک مدل ساده تجربی که به سادگی می توان آن را برای شرایط محلی کالیبره نموده، ارائه خواهد شد. این مدل با استفاده از داده های ثبت شده مربوط به دمای هوا و نقطه شبنم در دو ساعت پس از غروب آفتاب و دمای حداقل مشاهده شده در شب های یخبندان که آسمان صاف و هوا آرام است، یک رگرسیون محاسبه می کند که براساس آن، دمای حداقل در یک دوره خاص از سال پیش بینی می شود.

داده هایی که در این برنامه استفاده می شوند، باید تنها در شب های یخبندان تشعشعی جمع آوری شوند. برنامه در قالب نرم افزار مایکروسافت اکسل نوشته شده است تا وارد کردن داده ها آسان تر و خروجی برنامه به صورت گرافیکی و مفهومی تر باشد.

برای تصمیم گیری بهتر در مورد زمان شروع و توقف یک سیستم حفاظتی، بهتر است که علاوه بر دمای حداقل، یک پیش بینی از روند تغییر دمای شب نیز داشته باشیم. اطلاع داشتن از روند تغییر دمای شب، به زارع یا باغدار کمک می کند که زمان شروع روش حفاظتی فعال را تعیین نماید. مدل، می تواند روند تغییر دما را از دو ساعت پس از غروب آفتاب تا طلوع خورشید در صبح روز بعد پیش بینی نماید. زمان غروب و طلوع خورشید نیز با توجه به ارتفاع، عرض جغرافیایی و تاریخ تعیین شده توسط کاربر، مشخص می شود. این برنامه با استفاده از یک مدل تجربی، چگونگی تغییر دمای شب را پیش بینی می کند. این برنامه علاوه بر دمای هوا، تغییرات دماسنج تر را نیز براساس روند تغییر دما و دمای اولیه نقطه شبنم، محاسبه می نماید.

۲-۲) زنگ خطر و نظارت بر شرایط آب و هوایی در شب های یخبندان

اگر چه پیش بینی روند تغییر دما در شب های یخبندان اهمیت زیادی برای شناسایی تقریبی زمان و نحوه استفاده از روش های حفاظتی دارد، اما می توان گفت که وجود یک سیستم کنترل و نظارت کارآمد، اهمیت بیش تری دارد. ضروری ترین موارد لازم عبارت است از یک زنگ خطر که در هنگام شروع یک روش حفاظتی و قبل از آنکه خسارتی روی دهد، زارع را آگاه نماید و یک شبکه از حسگرهای دمایی در سراسر سطح باغ یا مزرعه، انواع مختلف زنگ خطر از منابع تجاری مختلف قابل دستیابی است. هزینه ی زنگ خطر بستگی به مشخصات و قابلیتهای آن دارد. برخی از این زنگ ها، سیستم ها و

حسگرهایی دارند که می توان آنها را در بیرون از خانه و داخل یک محفظه استاندارد قرار داد و خود زنگ آن را در داخل خانه نصب کرد تا به وقت مقتضی زارع را آگاه نماید . انواع دیگری از این سیستم های هوشمند می توانند از طریق تلفن یا امواج رادیویی و مادون قرمز، از راه دور با زارع ارتباط برقرار کنند و یا زنگ خطر را به صدا در آورند . به طور کلی هر چقدر تجهیزات و قابلیت های این سیستم ها بیشتر باشد، هزینه آن نیز بالاتر خواهد بود . به طور معمول، درصد خسارت های ناشی از سرمازدگی را با توجه به وضعیت بافت گیاهی که به مدت نیم ساعت در معرض دمای بحرانی قرار گرفته است تعیین می کنند، در حالی که دمای هوا در داخل محفظه استاندارد که در ارتفاع ۱/۵ m نصب می شود، اندازه گیری می شود. پری (۱۹۹۴) پیشنهاد داد که دماسنج ها باید در پایین ترین ارتفاع ممکن و در همان ناحی ه ای که حفاظت انجام م ی شود، نصب شوند . وی همچنین بیان کرد که حسگرهایی دمایی باید در جایی نصب شوند که مستقیماً تحت تاثیر سیستم حفاظتی قرار نگیرند (مثلاً در معرض تشعشع گرمایی حاصل از بخار ییها).

همان طور که یک لایه مرزی بر روی سطح پوشش گیاهی در مزرعه وجود دارد، یک لایه مرزی کوچک تر نیز در اطراف سطوح کوچک مانند برگ و جوانه و میوه تشکیل می شود. سطوح در معرض هوا مانند برگ، گل، جوانه و غیره معمولاً به دلیل از دست دادن تابش های با طول موج بلند، دمای پایین تر از دمای هوا در یک شب یخبندان دارند . در نتیجه گرمای محسوس از طریق لایه مرزی از هوا به سطوح سردتر انتشار پیدا می کند، اما انتشار این گونه گرما به اندازه ای نیست که بتواند گرمای تشعشعی به هدر رفته را جبران نماید . بدین ترتیب ظرفیت گرمای محسوس بافت های گیاهی و هوای مجاور سطوح، باعث می شوند که دمای هوا کاهش یابد و وارونگی دمایی در سطح کوچک بر روی بافت های گیاهی شکل بگیرد . عمق این لایه مرزی کوچک و شیب گرمای محسوس در این وارونگی دمایی می تواند در تعیین سرعت انتقال گرمای محسوس در نظر مؤثر باشد.

بخشی از گزارش نهایی طرح حاضر به مرور اصول و مبانی خطر و احتمال وقوع خسارات ناشی از یخبندان و چگونگی استفاده کشاورزان از این اطلاعات جهت اتخاذ تصمیمات اقتصادی در زمینه حفاظت در برابر یخبندان می پردازد . چند برنامه رایان ه ای کاربردی نیز جهت تسهیل در انجام محاسبات پیچیده ارائه م ی شود. یک برنامه، احتمال نزول دما به پایی ن تر از حد بحرانی را محاسبه می کند و از این طریق سطح اطمینان وقوع حداقل یک یخبندان در یک دوره زمانی تعریف شده (چند سال) را تعیین می کند. این برنامه برای تعیین احتمال و خطر وقوع یخبندان در شرایطی که میزان حساسیت به آسیب های یخبندان در طول دوره زمانی مورد نظر ثابت باشد، قابل استفاده است . برنامه دیگری نیز احتمال اینکه آخرین یخبندان بهاره یا اولین یخبندان پاییزه در یک روز خاص اتفاق افتد و نیز طول دوره رشد در فاصله بین یخبندان های بهاره تا پاییزه را محاسبه می کند . این برنامه برای کمک به تصمیم گیری درباره خطرات فیزیکی کشت زود هنگام یا برداشت دیرهنگام محصول مفید است.

یک برنامه دیگر نیز برای محاسبه خطر آسیب دیدگی یک گیاه یا درخت خاص در طول مراحل فنولوژیکی مختلف آن، که میزان حساسیت متفاوتی به آسیب های یخبندان دارند، ارائه می شود . این برنامه با تحلیل داده های ورودی، جدول داده های زیر را ارائه می کند:

۱. درصد خسارت های سالیانه وارد بر یک محصول در شرایط عدم حفاظت و نیز در شرایط استفاده از ۱۱ روش حفاظتی

مختلف

۲. عملکرد سالیانه گیاه در شرایط عدم حفاظت و نیز در شرایط استفاده از ۱۱ روش حفاظتی مختلف

۳. میانگین و انحراف معیار درصد خسارت های وارد بر میوه و عملکرد محصول و میزان خسارت ها در طول سالهای مورد

نظر

۴. میانگین و انحراف معیار تعداد و طول مدت زمان یخبندنا نها

در نهایت یک برنامه جامع برای کمک به تعیین ریسک اقتصادی روش های حفاظتی و محاسبه میزان کارایی هزینه ها در روش های حفاظتی مختلف ارائه خواهد شد. این برنامه با تلفیق مقادیر احتمال و خطر و هزینه ها و سایر اطلاعات مربوط به روش های مختلف، تعیین می کند که از کدام روش حفاظتی باید استفاده کرد. این برنامه ها به زارعان، باغداران، مشاوران و کارشناسان کشاورزی کمک می کند تا بهترین تصمیمات ممکن را در زمان برنامه ریزی برای حفاظت در برابر یخبندان اتخاذ کنند و از این طریق خسارت های فراوان ناشی از سرما و ی خزدگی را کاهش دهند.

جمع بندی :

دستورالعمل های اجرایی و اطلاعات جانبی مربوط به آنها که برای مقابله با تنش های سرما و یخ زدگی گیاهان ارائه گردید، مبتنی بر مطالعات و اقدامات عملی انجام گرفته در کشورهای مختلف جهان است که می توان با بهره گیری از نتایج مطالعات انجام شده در کشورهایی که شرایط مشابه دارند، کم هزینه ترین و بهترین روش ها را برای معرفی به عرصه کشاورزی کشور و استفاده در برنامه های مدیریت تنش های سرما و ی خزدگی انتخاب نمود.

امروزه روش های حفاظتی غیرفعال و درازمدت در حد بسیار گسترده ای در تمامی کشورهایی که با مشکل سرمازدگی مواجه هستند، مورد استفاده قرار می گیرند. در واقع روش های غیرفعال غالباً مؤثرتر و کم هزینه تر از روش های فعال و کوتاه مدت هستند. بنابراین در کشور ما نیز با به کار بردن مناسب ترین روش های غیرفعال از قبیل انتخاب مکان هایی که کمتر در معرض خطر یخبندان هستند، کاشت درختان خزان دار و واریته های گیاهی دیرگل، کاشت گیاهان خزان دار در شیب های غیرمواجه با نور خورشید، کاشت مرکبات در شیب های روبه خورشید، حفظ میزان آب خاک در حد مناسب برای دستیابی به بالاترین میزان انتشار گرما در خاک و غیره، می توان از اغلب خسارت های ناشی از سرما و یخبندان جلوگیری نمود و هزینه سنگین روش های حفاظتی فعال را حذف نمود. اما در شرایطی که روش های غیرفعال برای تأمین حفاظت در برابر سرما کفایت نکنند، ممکن است ناگزیر به استفاده از روش های فعال باشیم.

امروزه بخاری های مایع سوز و جامدسوز، همچنان در بسیاری از کشورها به عنوان روش حفاظتی مؤثر، مورد استفاده کشاورزان قرار می گیرند. مثلاً در کشور مکزیک به دلیل ارزان بودن سوخت، از بخاری های نفت سوز استفاده بسیار زیادی می شود. اما هزینه گزاف و مشکلات موجود در زمینه دسترسی به سوخت، به یک مشکل بزرگ در اغلب کشورهای دنیا تبدیل شده است. در کشور ما با توجه به وفور منابع سوخت فسیلی، ارزان بودن سوخت، قدمت زیاد استفاده از انواع بخاری و شناخته شده بودن بیشتر بخاری ها در مقایسه با سایر تجهیزات حفاظتی، هنوز هم بخاری ها به عنوان گزینه مناسبی جهت مقابله با سرمازدگی به شمار می روند. از طرفی ماشین های باد و بالگردها به دلیل هزینه بسیار سنگین و محدودیت استفاده در اراضی کم وسعت، هنوز در کشور ما مورد استفاده قرار نگرفته اند. آب پاش های رودرختی و زیردرختی که در انواع بسیار

زیادی از درختان و گیاهان زراعی و باغی در دنیا استفاده می شوند، می توانند در مناطقی از کشور که محدودیت منابع آب وجود ندارد، گزینه مناسبی باشند. روش های آبیاری قطره ای و آبیاری سطحی نیز از کارآیی خوبی در برخی مناطق کشور ما برخوردارند. مزیت بزرگ روش های آبیاری آن است که علاوه بر اهداف حفاظتی در برابر سرما، می توانند جهت آبیاری نیز مورد استفاده قرار گیرند و سود اقتصادی حاصل از آنها بدین طریق افزایش می یابد. اما مسلماً در مناطق دارای اقلیم خشک که پهنه وسیعی از کشور ما را شامل می شود، استفاده از این روشها بسیار پرهزینه و غیراقتصادی خواهد بود.

در مجموع انتخاب یک روش حفاظتی مناسب، بستگی به ترکیبی از عوامل اقلیمی، آب و هوایی و اقتصادی دارد. مثلاً در منطقه ای که پدیده وارونگی دمایی شایع باشد، اغلب روش های فعال قابل استفاده اند. زیرا کارآیی این روش ها در شرایط وارونگی دمایی افزایش می یابد. اما در مناطقی که وزش باد شایع است، معمولاً یخبندان ها از نوع انتقالی است و روش های حفاظتی مختلف نمی توانند حفاظت چندانی برای گیاهان تأمین کنند.

مهم ترین عوامل تعیین کننده در نوع برنامه های مدیریتی مبارزه با سرما در یک منطقه، سطح هزینه ها و میزان دسترسی به منابع و امکانات است. اما عوامل مهم دیگری از قبیل سطح اراضی، نوع محصول رایج در منطقه، میزان پیشرفت در مکانیزه کردن عملیات کشاورزی، میزان حمایت های بخش دولتی، شرایط اجتماعی و فرهنگی و غیره نیز در این میان نقش برجسته ای دارند. نتایج ارزیابی های مداوم در زمینه شرایط اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی در یک منطقه می تواند باعث شود که روش های حفاظتی غالب و متداول در منطقه، با روش های مؤثرتر و جدیدتر جایگزین گردند. در نهایت لازم است با انجام بررسی های جامع و جمع آوری اطلاعات و داده های کافی، روش های بهینه برای هر منطقه معرفی شوند تا با بهره گیری از آنها بتوان حجم عظیم خسارتهای ناشی از سرمازدگی در کشور را کاهش داد و هزینه بسیار گزاف تحمیلی از جانب این تنش خسارت بار را به حداقل رساند.