مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۷ / شماره ۲۸/ پاییز ۱۳۸۵

ارزیابی مدل FROSTPRO در مبارزه با سرمازدگی درختان هلو به وسیله آبیاری بارانی خودکار*

علی اصغر قائمی، محمدرفیع رفیعی و علیرضا سپاسخواه**

* برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان: «به‌کارگیری مدل FROSTPRO در مبارزه با سرمازدگی درختان میوه با استفاده از آبیاری بارانی خودکار»

** به ترتیب استادیار، دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد (مربی فعلی در دانشگاه آزاد شوشتر) و استاد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، نشانی: دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، بخش آبیاری، تلفن: ۲۲۸۶۲۲۶(۰۷۱۱)، پیام نگار: ghaemiali@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۸٤/۳/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/٤/۲٤

چکیده

بشر همواره سعی کرده است محیط را با توجه به نیازهای خود کنترل کند. یکی از پدیده‌هایی که بشر همواره با آن مبارزه کرده سرمازدگی گیاهان است. یکی از عمده‌ترین روش‌های مبارزه با این پدیده آبیاری بارانی است که اساس آن تأثیر گرم‌کنندگی پوشش یخ ناشی از آب پاشیده شده روی اندام‌های گیاهی است. به منظور بررسی تأثیر این روش، یک سیستم بالادرختی خودکار در بخشی از باغ هلو و در قطعه‌ای به مساحت ۱۷۰۰ متر مربع در باجگاه (استان فارس) اجرا و تأثیر آن در مبارزه با سرمازدگی بررسی شد. قسمت دیگری از باغ به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. از آنجایی که مهم‌ترین نکته در این روش مدیریت صحیح آب مصرفی توسط آبپاش‌هاست از مدل FROSTPRO جهت تعیین شدت پاشش بهینهٔ مورد نیاز استفاده گردید و با توجه به پارامترهای محیطی و گیاهی مقدار آب مصرفی به میزان ۱۲ میلی‌متر بر ساعت به دست آمد که تأمین آن اساس طراحی سیستم را تشکیل داد. پس از آن، سیستم مجهز به سیستم کنترل خودکار گردید و طی سه واقعهٔ سرمازدگی در بهار ۱۳۸۲ و سه واقعه سرمازدگی دیگر در بهار ۸۳ مورد آزمایش قرار گرفت که در هر سه مورد در سال‌های متوالی دما در بلوک شاهد به زیر دمای بحرانی تنظیم شده (۱/۵- درجهٔ سانتی‌گراد) رسید در حالی که در بلوک تحت آبیاری دما در حدی بالاتر از دما بحرانی نگه داشته شد، در مقایسهٔ دو تیمار نشان داده شده که در بلوک تحت آبیاری در سال ۸۲ تنها ۱۲ درصد و در بلوک شاهد ٤۱/۵ درصد شکوفه‌ها از بین رفتند و محصول درختان حفاظت شده ۳٦ درصد بیشتر شد. نتایج حاصل از درصد شکوفه‌های زنده و همچنین تولید محصول بیشتر به علاوه اختلاف مشاهده شده بین دماهای ثبت شده نشانگر مؤثر بودن سیستم در پیشگیری از سرمازدگی درختان هلو در منطقهٔ مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی

دمای هوا، سیستم آبیاری بارانی خودکار، شدت پاشش، شکوفه، مبارزه با سرمازدگی، مدل FROSTPRO

مقدمه

سرمازدگی محصولات باغی دلیل عمدهٔ کاهش محصول در فصل تولید است و این امر نیز به نوبهٔ خود باعث نوسان قیمت در بازارهای محلی و حتی بین‌المللی می‌شود. برای مثال کرنی (Cranney, 1996) گزارش کرد که در سال ۱۹۹۱ به دلیل کاهش محصولات اروپایی در اثر سرمازدگی قیمت سیب در تمام دنیا افزایش یافت. سرمازدگی، با توجه به شیوه‌های انتقال حرارت، به دو دسته سرمازدگی همرفتی و سرمازدگی تابشی تقسیم‌بندی می‌شود. سرمازدگی همرفتی در اثر حرکت افقی توده‌های هوا ایجاد می‌شود که در آن عبور جبهه‌ای از هوای سرد دمای هوا را کاهش می‌دهد. یکی از نشانه‌های این نوع سرمازدگی وزش باد شدید در منطقه است که اغلب منجر به یخبندان می‌شود. چنین سرمازدگی‌هایی با آبیاری بارانی هرگز قابل جلوگیری نیست.

© 2010,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

در چنین شرایطی افت دما شدید است. اما سرمازدگی تابشی که در شب‌های صاف و بدون باد و به دلیل بیلان منفی تشعشع در محیط حادث می‌شود، در صورت مدیریت صحیح و علمی آبیاری با آبیاری بارانی به طور کامل مهارشدنی است. منظور از مدیریت صحیح، مدیریتی است که زمان شروع آبیاری، مدت آبیاری، و به خصوص شدت پاشش آبیاری به درستی تعیین شده باشد زیرا استفادهٔ کمتر از حد مورد نیاز از آب، به خصوص در شرایط وزش باد، باعث کاهش دما می‌شود و نتیجهٔ معکوس خواهد داد. از طرفی، استفادهٔ بیش از حد از آب نیز ممکن است به تجمع بیش از حد توده‌های یخ بینجامد و به شاخه‌ها و اندام‌های گیاهی آسیب وارد سازد. بدین منظور، مدل‌هایی جهت تعیین شدت پاشش ارائه شده که از کارآمدترین آنها مدل FROSTPRO است.

اساس استفاده از آبیاری بارانی در مقابله با سرمازدگی، چند خاصیت این روش است: اول اینکه ذرات آب معلق در هوا با افزایش رطوبت نسبی باعث کنترل تشعشع خالص خروجی می‌شوند و از هدرروی حرارت سطح نزدیک به زمین در شب جلوگیری می‌کنند. دوم آزاد شدن ۳۳۵ ژول گرمای نهان انجماد به ازای یخ زدن هر گرم آب است که باعث گرم شدن محیط و اندام گیاهی می‌شود. سوم اینکه یخ تشکیل شده روی اندام گیاهی مانند عایقی حرارتی عمل می‌کند و دمای آن را در حدود صفر که بالاتر از دمای بحرانی گیاهان است، نگه می‌دارد و از نوسانات سریع دمای محیط مصون می‌دارد (Gerber & Martsolf, 1964). از طرفی، سیستم‌های آبیاری بارانی دارای کنترل مرکزی هستند و به نیروی انسانی نسبتاً اندکی نیاز دارند. این سیستم‌ها همچنین از قابلیت خودکار شدن و واکنش مستقیم به شرایط جوی بدون نیاز به کارگزار برخوردارند. با وجود این، میزان آب مصرفی در این سیستم‌ها باید بهینه‌سازی شود زیرا که هرگونه کم‌آبیاری یا آبیاری بیش از حد باعث تأثیر معکوس این سیستم خواهد شد. برای مثال، بازینگر (Businger, 1965) خسارت به گیاهانی را که میزان آب آبیاری بارانی مصرف شده روی آنها کافی نبوده بسیار زیاد گزارش کرده است.

تاکنون چندین مدل به منظور برآورد میزان آب مصرفی کافی برای مبارزه با سرمازدگی ارائه شده است. این مدل‌ها بر اساس معادلات بیلان انرژی نوشته شده‌اند. مدل‌هایی که بازینگر (Businger, 1965) و جربر و هریسن (Gerber & Harrison, 1964) ارائه کرده‌اند بسیار به یکدیگر شبیه هستند. داده‌های ورودی مورد نیاز در این مدل‌ها عبارت‌اند از دمای بحرانی، دمای برگ خشک، دمای هوا، ابعاد اندام گیاهی (شکوفه یا جوانه)، و سرعت باد. اما مشکل این مدل‌ها این است که برای برگ‌ها چه برگ خشک و چه برگی که تحت آبیاری است فشار بخار اطراف برگ را فشار بخار اشباع در نظر می‌گیرد که برای برگ خشک که فشار بخار اطراف آن تابعی است از رطوبت نسبی هوای مجاور، مسلماً چنین فرضی درست نیست. بارفیلد و همکاران (Barfield *et al*., 1979) از همین پارامترها استفاده کردند اما به مدل خود پارامتر رطوبت نسبی را نیز افزودند. از ارزیابی این مدل‌ها، پری (Perry, 1986) یک مدل کامپیوتری به زبان بیسیک به نام FROSTPRO طراحی کرد. این مدل پارامترهای محیطی و گیاهی ذکر شده را می‌گیرد و شدت پاشش بهینهٔ آبپاش‌ها را با استفاده از معادلهٔ زیر تعیین می‌کند:

$$I = 2[(h_r + h_c)(T_c + T_l) + LE]/LI \qquad (۱)$$

که در آن، h_r = ضریب انتقال حرارتی تابشی (بر حسب وات بر متر مربع ثانیه درجهٔ سانتی‌گراد)؛ h_c= ضریب هدایت انتقال همرفتی (بر حسب وات بر متر مربع ثانیه درجهٔ سانتی‌گراد)؛ T_c = دمای بحرانی (بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد)؛ T_l = دمای اندام‌های گیاهی (بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد)؛ LE= تفاوت افت گرمای نهان در دمای

بحرانی و دمای محیط (بر حسب وات بر متر مربع ثانیه)؛ LI= گرمای نهان ذوب (بر حسب وات بر متر مکعب)؛ و I= شدت پاشش آبیاری (بر حسب متر بر ثانیه) است. ضریب ۲ برای در نظر گرفتن دو طرف سطح شکوفه است.

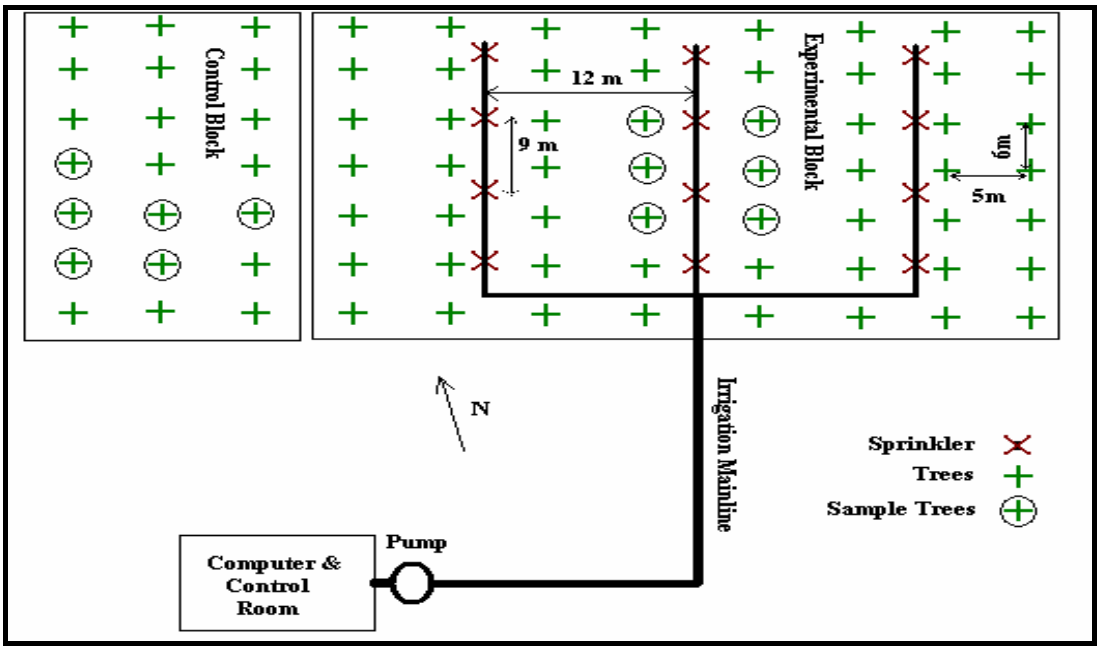
پس از آن، در اکثر تحقیقاتی که روی کاربرد آبیاری بارانی در مبارزه با سرمازدگی صورت گرفته از این مدل به عنوان مبنای طراحی سیستم آبیاری بارانی استفاده شده است. برای مثال، استومباخ و همکاران (Stombaugh *et al*., 1992) یک سیستم آبیاری خودکار را برای حفاظت توت‌فرنگی از سرمازدگی با شدت پاشش تعیین شده توسط مدل FROSTPRO آزمایش کردند و آن را روش بسیار مؤثری در مقابله با سرمازدگی توت‌فرنگی دانستند به طوری که درصد شکوفه‌های مرده مشاهده شده در بلوک‌های آبیاری شده تنها ۲ تا ۵ درصد گزارش شد در صورتی که این مقدار در بلوک شاهد ۵۲ درصد بوده است. هیسی و همکاران (Heisey *et al*., 1994) سیستم مشابهی را در باغ سیب و در دو واقعهٔ سرمازدگی پاییزه سال ۱۹۹۲ و دو واقعه سرمازدگی بهاره ۱۹۹۳ بررسی و مشاهده کردند که در هر یک از این ٤ مورد دما با موفقیت بالاتر از دمای بحرانی قرار گرفت. کوک و همکاران (Koc *et al*., 2000) تحقیق مشابهی را انجام دادند با این تفاوت که در سیستم آنها یک سیستم موجی برای آبپاشی در نظر گرفته شد که با این تدبیر میزان مصرف آب به ۷۲ درصد مقدار آب مصرفی در سیستم‌های با آبیاری مداوم رسید، درحالی‌که مقابله کامل با سرمازدگی صورت گرفته بود. با وجود این، مواردی هم گزارش شده است که در آنها به دلیل مشکلات ناشی از خرابی تجهیزات، سیستم ناموفق عمل کرده است.

هدف از این تحقیق، اجرا و ارزیابی یک سیستم اتوماتیک آبیاری بارانی بالادرختی بر اساس شدت پاشش حاصل از مدل FROSTPRO و به منظور حفاظت از شکوفه‌های هلو از سرمای بهاره در منطقه باجگاه است.

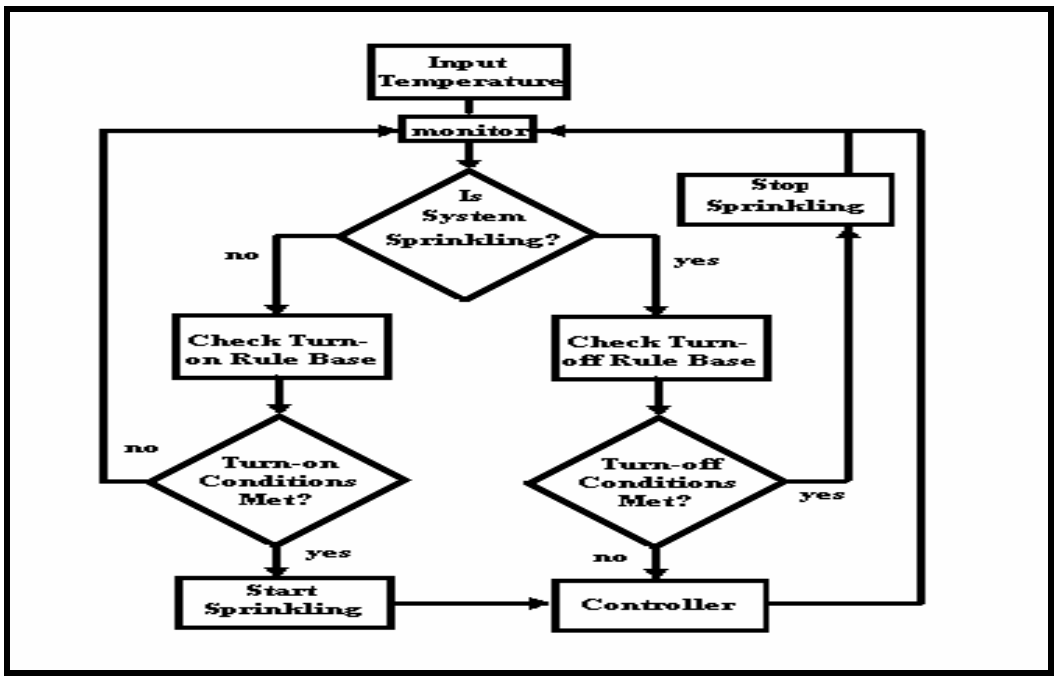
مواد و روش‌ها

باجگاه واقع در ١٦ کیلومتری شمال شیراز، یکی از مناطق مستعد سرمازدگی است. این منطقه در ارتفاع ۱۸۱۰ متر نسبت به سطح دریا قرار دارد و بنابراین می‌توان آن را جزء نقاط مرتفع دانست. افزایش ارتفاع در این منطقه موجب کاهش دما می‌شود. این منطقه دشت مانند است و کوه از دو طرف آن را احاطه کرده است. بنابراین امکان نزول هوای سرد و سنگین از ارتفاعات و حبس این هوای سرد در آن وجود دارد و همین موضوع باعث کاهش دما می‌شود. این فرآیند به دلیل رقیق شدن هوا و در نتیجه کاهش قدرت جذب تشعشع آفتاب به وسیلهٔ اتمسفر و همچنین کاهش رطوبت نسبی هوا اتفاق می‌افتد. بنابراین، سرماهای شدید بهاره اغلب در این منطقه اتفاق می‌افتد. در این پژوهش از باغ هلو واقع در انتهای شمال شرقی دانشکده کشاورزی واقع در باجگاه استفاده شد. مساحت آن ۰/۲۷ هکتار است که ۰/۱۷ هکتار برای سیستم آبیاری بارانی در نظر گرفته شد و ۰/۱ هکتار دیگر به عنوان شاهد منظور گردید. ابعاد و فواصل سیستم به طور شماتیک در شکل شمارهٔ ۱ آمده است. بلوک تحت آبیاری دارای ۸ ردیف از درختان هلوی رقم آلبرتا بود که با تراکم ٦×٥ متر مربع در کنار هم قرار داشتند. بلوک شاهد شامل ۲۱ درخت و با همین تراکم کشت بدون سیستم آبیاری در نظر گرفته شد. ارتفاع متوسط درختان در هر بلوک ۲ متر است. یک شیب بسیار ملایم (کمتر از ۰/۵ درصد) از منتهای شرقی بلوک آبیاری تا غرب بلوک شاهد وجود دارد. سیستم خودکار تقریباً مشابه سیستمی است که استومباخ و همکاران (Stombaugh *et al*., 1992) و کوک و همکاران (Koc *et al*., 2000) ارائه کرده‌اند و از یک سیستم آبیاری اتوماتیک برای کنترل سرما از یک الگوریتم کنترل سیستم آبیاری با ابزارهای مربوط به آن تشکیل شده است.

برنامهٔ کنترل خودکار آبیاری به زبان ویژوال بیسیک نوشته شده است. فلوچارتی از الگوریتم کنترل این برنامه در شکل شمارهٔ ۲ آمده است. این سیستم کنترل پیشرفته شامل دو مدول اصلی است. اولین مدول (روشن شدن) با توجه به تغییرات دما گزارش شده از بلوک‌های شاهد و تحت آبیاری که با حساسه‌هایی حساس به دما در مورد زمان آغاز آبپاشی تصمیم‌گیری می‌کرد. یک حد نهایی برای دما به منظور تصمیم‌گیری در روشن کردن سیستم تعیین شد. این حد نهایی که به آن دمای بحرانی تنظیم‌شده گفته می‌شود به این دلیل انتخاب شد که باید سیستم تأثیر خنک‌کنندگی تبخیر را هم که حتماً در آبیاری بارانی وجود خواهد داشت در نظر بگیرد. تحقیقات کمی در این‌مورد انجام شده است که در آن در رطوبت نسبی بیش از ۵۰ درصد، دمای بحرانی تنظیم‌شده ۱ درجهٔ سانتی‌گراد و در رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد، ۱/۵ درجهٔ سانتی‌گراد بالاتر از دمای بحرانی واقعی شکوفه در نظر گرفته می‌شد. بنابراین، مدول روشن شدن، زمانی فرمان آغاز آبپاشی را صادر می‌کرد که دمای گیاه یا محیط گزارش شده از بلوک شاهد به مقداری پایین‌تر از دمای بحرانی تنظیم‌شده می‌رسید (Barfield & Gerber, 1979). دومین مدول برنامهٔ کنترل، در مورد خاتمهٔ آبیاری تصمیم‌گیری می‌کند. این تصمیم‌گیری نیز بر اساس دمای گزارش شده توسط حساسهٔ موجود در بلوک شاهد است. به این ترتیب که با رسیدن دما به بالاتر از دمای بحرانی تنظیم شده فرمان خاتمه آبپاشی صادر می‌شد. به علاوه، دماهای بلوک‌های تحت آبیاری و شاهد همزمان توسط حساسه‌ها گزارش و در کامپیوتر ذخیره گردید.



شکل شمارهٔ ۱- شکل شماتیک از سیستم اجرا شده در باغ مورد آزمایش



شکل شمارهٔ ۲- فلوچارتی از برنامه کنترل سیستم آبیاری جهت مبارزه با سرمازدگی

به منظور اندازه‌گیری دما، باید از ترموستات‌های بسیار نازک و سوزنی استفاده و با فرو کردن آنها در شکوفه‌ها یا برگ‌ها، دمای واقعی آنها گزارش می‌شد. اما به دلیل اینکه این ترموستات‌ها به عنوان حساسه بسیار ظریف‌اند و امکان آسیب رسیدن به آنها و خراب شدنشان در شرایط مختلف زیاد است تصمیم گرفته شد مانند تحقیق‌های امروزی (Hamer, 1980; Stombaugh *et al*., 1992; Heisey *et al*., 1994; Koc *et al*., 2000) از ترموستات‌هایی استفاده شود که با چسب آکواریم در کپسول‌های مسی به قطر ۰/۷ سانتی‌متر قرار گرفته‌اند، تا از این طریق ضریب انتقال گرما در آنها به ضریب انتقال گرمای شکوفه‌ها نزدیک شود. علائم ارسالی از این حساسه‌ها با کابل‌های زمینی شش نخ پوشش‌دار به سیستم تحلیل داده‌ها ارسال شد. پس از تبدیل داده‌ها به رله‌های دیجیتال این داده‌ها از طریق کابل‌های رابط به یک کامپیوتر پنتیوم ۳ وارد شدند و در آنجا با برنامهٔ نرم‌افزاری که فلوچارت آن قبلاً تشریح شد، ذخیره و بررسی شدند تا در صورت لزوم فرمان روشن شدن یا خاموش شدن توسط این برنامه به پمپ داده شود. فرمان از کامپیوتر به پمپ با یک تابلو برق منتقل شد.

به منظور ارزیابی سیستم آبیاری، درصد شکوفه‌های مرده و عملکرد محصول در بلوک‌های آبیاری شده و شاهد اندازه‌گیری شد. برای این منظور از روش پیشنهادی وست وود (Westwood, 1991) استفاده شد که در آن تراکم گلدهی و میوه از بررسی سه یا چند شاخهٔ مشابه در هر درخت که به فواصل یکنواختی از هم در اطراف درخت قرار دارند تخمین زده شد. بدین منظور، قبل از وقوع سرمازدگی‌های بهاره در تاریخ ۱۳۸۱/۱۲/۲۸در هر دو بلوک مورد بررسی تعدادی از شاخه‌های سالم از درختانی انتخاب شد که سلامت کافی و از نظر موقعیت (ارتفاع روی درختان، دریافت نور، و جهت قرار گرفتن در برابر باد) حتی‌الامکان شرایط یکسانی داشتند و نیز ضعیف، خیلی پایین یا سایه‌دار نبودند. این شاخه‌ها با نخ‌های رنگی نشانه‌گذاری شدند و تعداد شکوفه‌های کاملاً باز و نیمه باز سالم در آنها شمارش گردید. شمارش از انتهای تحتانی شاخه شروع می‌شد و به

طور منظم تک‌گل‌ها ضمن رسیدن به انشعابات جانبی، به طرف انتهای شاخه شمارش شدند. چهار روز بعد از سه سرمازدگی بهاره سال ۱۳۸۲ در تاریخ ۸۲/۱/۱٤ در شاخه‌های مورد نظر شمارش دوباره صورت گرفت. پنج روز بعد از آن نیز در تاریخ ۸۲/۱/۱۹ شمارش دیگری انجام و در این شمارش شکوفه‌های با ظاهر قهوه‌ای و سیاه نیز اگر هم روی درخت مانده بودند و هنوز نریخته بودند شکوفه‌های مرده در نظر گرفته شدند.

- سیستم آبیاری

باغ هلو با سیستم آبیاری بارانی کلاسیک آبیاری شد که طراحی این سیستم بر اساس شدت پاششی و توسط مدل FROSTPRO تعیین شده بود. داده‌های ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل عبارت بودند از دمای بحرانی هلو (٤- درجهٔ سانتی‌گراد)، میانگین دماهای حداقل روزانه و رطوبت نسبی در باجگاه (در ماه‌های اسفند، فروردین، و اردیبهشت)، و متوسط سرعت باد روزانه در این سه ماه. شدت پاشش به دست آمده از مدل، ۱۲ میلی‌متر بر ساعت بود که اساس طراحی سیستم آبیاری را تشکیل داد. به این ترتیب که با شدت پاشش حاصل، همچنین با در نظر گرفتن توپوگرافی منطقه و جهت باد غالب و نوع آبپاش‌ها (دبی هر آبپاش در فشار ۲/۵ بار برابر ۰/٤ لیتر در ثانیه بود)، محاسبات لازم به منظور تعیین تعداد آبپاش‌ها انجام شد. آبپاش‌های به کار رفته ۱۲ عدد بود که مطابق شکل شمارهٔ ۱ با آرایش ۱۲×۹ متری در باغ قرار داشت. صد متر لوله پلی‌اتیلن ۹۰ میلی‌متر به عنوان لوله اصلی تعیین شد که در یک نقطهٔ از آن ۳ لوله فرعی هر یک به طول ۳۵ متر از جنس پلی‌اتیلن به قطر داخلی ٦۳/۵ میلی‌متر منشعب شدند. دوازده آبپاش فیتکو ٦۰ تمام‌دور ضربه‌ای با قطر نازل ٤/۷۵ میلی‌متر در ارتفاع ۲ متری روی پایه‌های گالوانیزه ۰/۷۵ اینچ نصب شدند. یک حساسه نیز در مرکز هر بلوک روی شاخه درخت جای داده شد.

سیستم خودکار آبیاری بارانی در ۲٦ اسفند ۸۱ آغاز به کار کرد. قبل از آن مراحل واسنجی حساسه‌ها و آزمون سیستم به طور کامل انجام شد. بدین منظور از یک دماسنج دقیق استفاده شد. با قرار دادن دماسنج در کنار حساسه‌ها در موقعیتی مشابه به آنها عدد قرائت شده توسط آنها با اعداد گزارش شده در آن لحظه مقایسه شد. بعد از آن، حساسه‌های موجود در بلوک شاهد و تحت آبیاری به مدت ۲٤ ساعت در موقعیتی کاملاً یکسان رها شدند تا دماهای قرائت شده توسط آنها با هم مقایسه شوند. هر دو حساسه به منظور ایجاد موقعیت یکسان در ارتفاع یکسان از سطح زمین قرار داده شدند و برای یکنواخت کردن تأثیر پوشش آفتاب و تشعشع، روی آنها موقتاً با گلدان‌های گِلی پوشانده شد به گونه‌ای که حساسه‌ها به طور معلق در درون گلدان‌ها قرار گرفتند. پس از ۲٤ ساعت، نتایج به دست آمده نشانگر نزدیکی بسیار خوب دماهای گزارش شده با دو حساسه بود.

سه واقعه سرمازدگی به ترتیب در ۸ و ۹ و ۱۰ فروردین ۸۲ رخ داد که در طول آن عملکرد سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های دما در هر ثانیه به کامپیوتر ارسال می‌شد و متوسطی از هر ٦۰ داده در کامپیوتر به نمایش در آمد و ثبت شد و سیستم با مقایسه این دما با دمای بحرانی در هر دقیقه لزوم آغاز آبپاشی را بررسی کرد. برای بررسی بیشتر عملکرد سیستم سه واقعهٔ سرمازدگی دیگر به ترتیب در ۵، ٦ و ۷ فروردین ۸۳ نیز ارزیابی شد.

نتایج و بحث

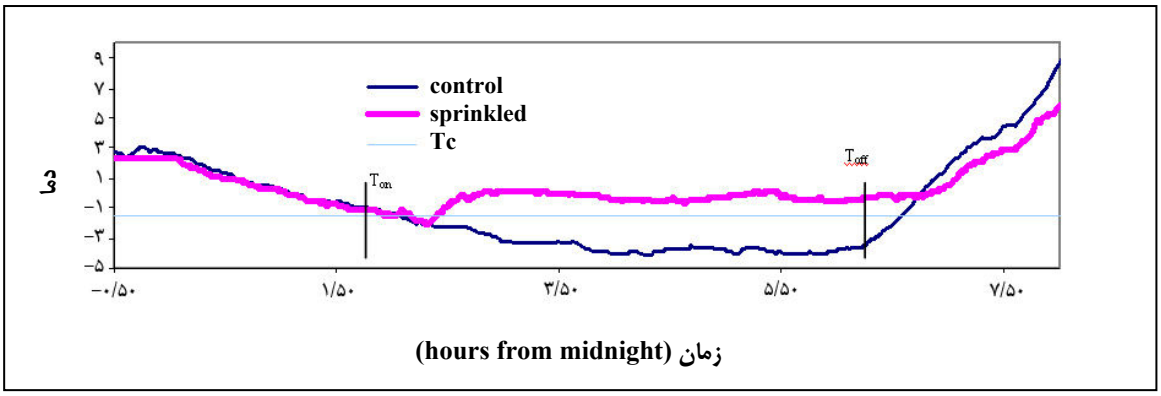
- بهار ۸۲

در ساعت ٤۲ : ۱ تا ۰۳ : ٦ صبح ۸ فروردین سال ۸۲ با رسیدن دما به دمای بحرانی تنظیم شده، اولین سرمازدگی مشاهده گردید. در این شرایط، شکوفه‌های هلو اغلب باز و در مرحلهٔ صورتی رنگ بودند. پایین‌ترین دمای گزارش شده در بلوک شاهد ٤/۱۲- درجهٔ سانتی‌گراد بود. وقایع سرمازدگی در باجگاه اغلب در شب‌های آرام و بدون ابر رخ می‌دهد، بنابراین سرمازدگی تابشی شناخته می‌شوند. سیستم‌آبیاری در زمان مناسب (۲:۰٤)، یعنی درست در لحظه رسیدن دمای بلوک شاهد به دمای بحرانی تنظیم شده (۱/۵- تا ۲- درجهٔ سانتی‌گراد)، روشن شده بود. دمای

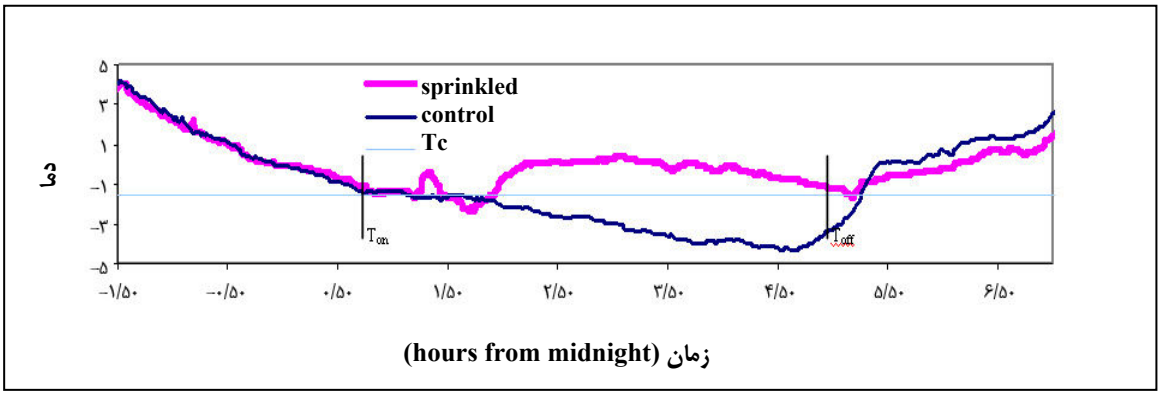
شکوفه‌ها در بلوک تحت آبیاری به خوبی بالای دمای بحرانی تنظیم شده قرار گرفت و در طول شب تقریباً نزدیک به صفر باقی ماند. در حالی که در بلوک شاهد دما برای حدوداً ٤/٥ ساعت زیر دمای بحرانی (Tc) بوده است (شکل شمارهٔ ۳).

سرمای بعدی در شب بعد در ۹ فروردین از ساعت ٤٦ : ۰ تا ۳۲ : ۵ صبح اتفاق افتاد. سیستم در ٥٤ : ۰ آغاز به آبیاری کرد. نمودار تغییرات دما با زمان در بلوک شاهد و تحت آبیاری برای این روز در شکل شمارهٔ ٤ آمده است. دما در بلوک شاهد به‌طور آشکار به مدت ٤/٧ ساعت زیر دمای بحرانی بود در حالی که در بلوک تحت آبیاری به خوبی در بالای صفر نگه داشته شده بود.

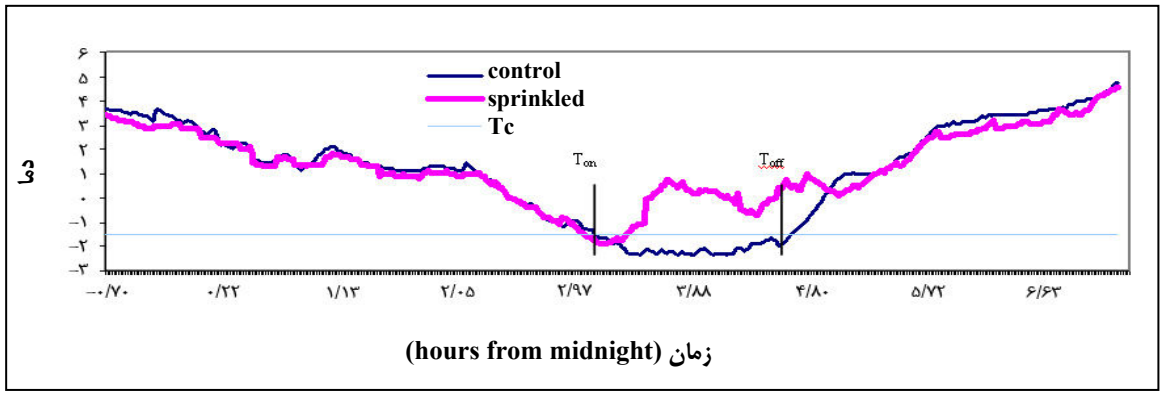
سومین سرمازدگی در ۱۰ فروردین، نسبت به دو واقعه قبلی شدت کمتری داشت اما نمودار تغییرات زمانی دما (شکل شمارهٔ ۵) نشانگر این است که آبیاری مانند دو واقعه پیشین، تأثیری مشابه بر دما داشته است. در این سرمازدگی نیز آبیاری به‌میزان مناسبی دمای گیاه را در بالای دمای بحرانی تنظیم شده نگه داشت. البته میزان خسارت به شکوفه‌های بلوک شاهد در این واقعه احتمالاً کمتر بود (دما تقریباً به‌مدت ٨٤ دقیقه به زیر دمای بحرانی رسیده بود). نوسانات نسبی دما در بلوک تحت آبیاری که در این واقعه سرمازدگی دیده شد ممکن است به دلیل کوتاه‌تر بودن این مدت زمان باشد که در آن آب پاشیده شده فرصت کافی برای تبدیل شدن به یخ را نداشته و بنابراین احتمال افزایش تبخیر با توجه به تغییرات سرعت باد بیشتر شد.



شکل شمارهٔ ۳- مقایسهٔ دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم شده (درجهٔ سانتی‌گراد) در سرمای ۸ فروردین ۸۲



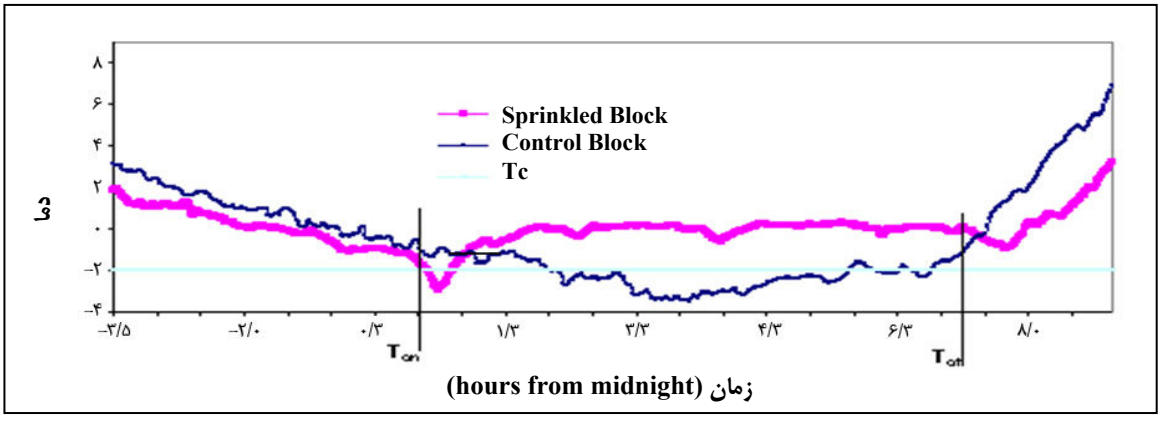
شکل شمارهٔ ٤- مقایسهٔ دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم شده (درجهٔ سانتی‌گراد) در سرمای ۹ فروردین ۸۲



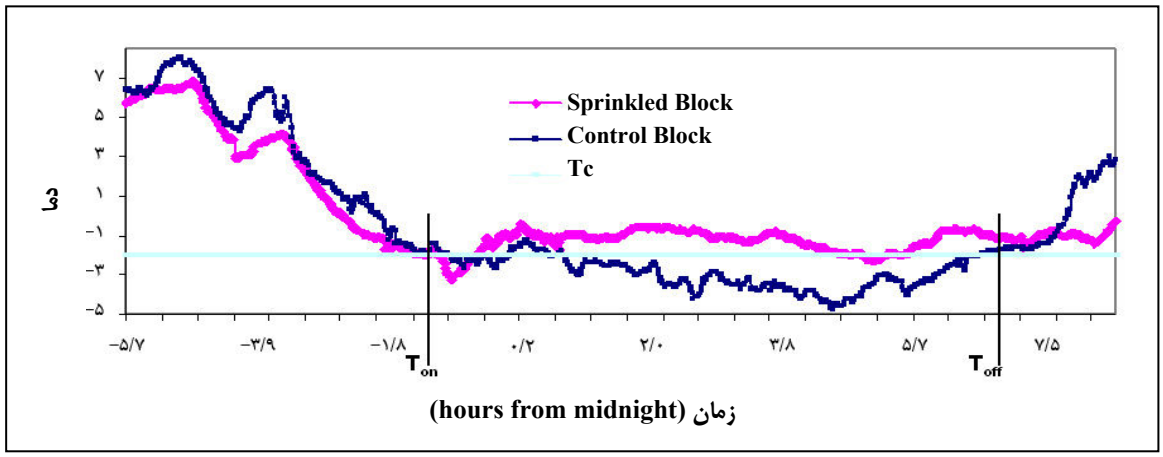
شکل شمارهٔ ۵- مقایسهٔ دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم‌شده (درجهٔ سانتی‌گراد) در سرمای ۱۰ فروردین ۸۲

- بهار ۸۳

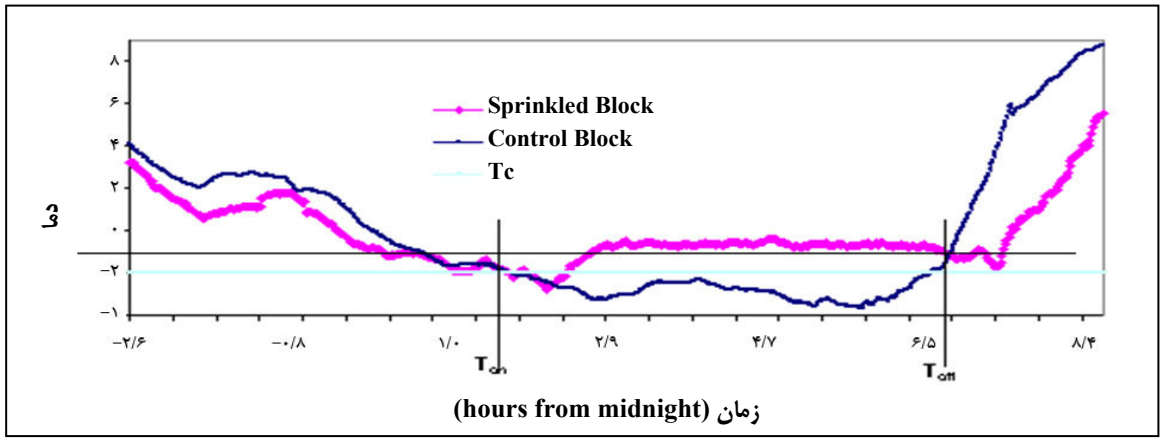
با مشاهدهٔ نتایج مطلوب به دست آمده در بهار ۸۲ تصمیم گرفته شد که کارایی سیستم در سرماهای بهار ۸۳ نیز بررسی شود. اولین واقعه سرمازدگی در ٤ فروردین ۸۳ رخ داد. حداکثر سرعت باد در این روز ۱/۸ مایل (۳ کیلومتر) بر ساعت و حداقل رطوبت نسبی ١٦ درصد بود. منحنی تغییرات دمای بلوک‌های شاهد و آبیاری شده در مقایسه با دمای بحرانی تنظیم شده در طول زمان در شکل شمارهٔ ٦ آمده است. می‌توان دید که سیستم آبیاری بارانی به خوبی قادر به کنترل و نگهداری دمای هوا در بالای دمای بحرانی تنظیم شده در بلوک آبیاری شده هست درحالی‌که دمای ثبت شده در بلوک شاهد به زیر دمای بحرانی تنظیم شده نزول یافته است. دومین و سومین واقعه سرما به ترتیب در تاریخ‌های ٥ و ٦ فروردین رخ داد که در طول این دو واقعه دمای بلوک آبیاری شده در بالای دمای شاهد و دمای بحرانی تنظیم شده نگه داشته شده است (شکل‌های شمارهٔ ۷ و ۸).



شکل شمارهٔ ٦- مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم‌شده (درجهٔ سانتی‌گراد) در سرمای ٤ فروردین ۸۳



شکل شمارهٔ ۷- مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم‌شده (درجهٔ سانتی‌گراد) در سرمای ۵ فروردین ۸۳



شکل شمارهٔ ۸- مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم‌شده (درجهٔ سانتی‌گراد) در سرمای ٦ فروردین ۸۳

- عملکرد بیولوژیک سیستم

به منظور بررسی تأثیر سیستم بر درصد شکوفه‌های مرده و عملکرد محصول در بلوک‌های آبیاری شده و شاهد پس از سه واقعهٔ سرمازدگی فروردین ۸۲، شکوفه‌های مرده به روش وست‌وود (Westwood, 1991) شمارش و محصول درخت اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج مشاهده شده، به‌طور متوسط ۱۲ درصد مرگ شکوفه در بلوک تحت آبیاری به طور متوسط ۱۲ و در بلوک شاهد ٤١/٥ درصد بود. بعد از سومین واقعه سرمازدگی علائم خسارت عمده‌ای در شکوفه‌ها دیده نشد. ویژگی مهم سرمای سوم این بود که تأثیر عملکرد سیستم در بالا نگهداشتن دما از دمای بحرانی تنظیم شده به‌خوبی نشان داده می‌شود.

مقایسه‌ای از درصد شکوفه‌های از بین رفته در این سرمازدگی‌ها به‌همراه عملکرد نهایی محصول در بلوک‌های شاهد و تحت‌آبیاری در جدول شمارهٔ ۱ آمده است. این نتایج با توجه به آزمون t-student دارای اختلاف معنی‌داری هستند. در بلوک تحت آبیاری بارانی احتمالاً در اثر حفاظت شکوفه‌ها محصول نهایی هر درخت ٣٦ درصد بیشتر از بلوک شاهد بود.

جدول شمارهٔ ۱- درصد شکوفه‌های مرده و محصول درخت در تیمارهای مختلف

تیمار	شکوفه‌های از بین رفته (درصد)	بازده نهایی (کیلوگرم در هر درخت)
بلوک تحت آبیاری بارانی	۱۲*	۲۵/۲*
بلوک شاهد	۴۱/۵	۱۸/۵

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

نتیجه‌گیری

با بررسی کلی روند تغییرات دما در سه واقعهٔ سرمازدگی بهاره در سال‌های ۸۲ و ۸۳ دیده شد که با شروع آبپاشی در هر سه واقعه، دما در بلوک تحت آبیاری به‌طور نسبتاً سریعی افزایش می‌یابد که این امر را می‌توان ناشی از افزایش ناگهانی رطوبت نسبی محیط دانست. اما بعد از مدت زمانی با افزایش تبخیر، از دمای محیط حتی تا پایین‌تر از دمای شاهد کاسته می‌شود و سپس با شروع یخ زدن آب روی اندام گیاهی دمای بلوک تحت‌آبیاری رو به افزایش می‌گذارد. به طور کلی نتایج حاصل از بررسی سرمازدگی بهاره نشانگر عملکرد کاملاً موفقیت‌آمیز سیستم آبیاری بارانی خودکار در مبارزه با این نوع سرمازدگی‌هاست. این تأثیر همچنین در تعداد شکوفه‌های حفاظت شده و نیز در عملکرد نهایی محصول مشاهده می‌شود. به گونه‌ای که در بلوک بدون شاهد پس از سه واقعه سرمازدگی متوالی فروردین ۸۲، ٤١/٥ درصد مرگ شکوفه مشاهده شد در حالی که در بلوک تحت آبیاری تنها ۱۲ درصد شکوفه دچار خسارت سرما شده بودند.

از آنجایی که عملکرد سیستم در یک شدت پاشش ثابت ارزیابی شده است، توصیه می‌شود که این پژوهش با به کارگیری یک سیستم واقعی با شدت پاشش متغیر نیز انجام گردد تا بتوان هم تأثیر آن را در مقابله با سرمازدگی بررسی کرد و هم میزان کاهش مصرف آب را به طور عینی مشاهده نمود. همچنین با توجه به این که در سیستم اجرا شده تنها پارامتر مورد بررسی دماست، پیشنهاد می‌شود به منظور بررسی تأثیر سیستم بر سایر پارامترهای مؤثر در سرمازدگی، مثل رطوبت نسبی و سرعت باد، حساسه‌های این پارامترها نیز به سیستم اضافه شوند، تا بتوان اثر تغییرات این پارامترها را بر روند تغییرات زمانی دما بررسی کرد.

مراجع

1- **Barfield, B. J. and Gerber, J. F. 1979. Modifying the Aerial Environmental of Crops. St. Joseph. MI: ASAE.**

2- **Businger, J. A. 1965. Frost protection with irrigation. Agric. Meteorology. 6(28): 74-80.**

3- **Cranney, J. R. 1996. Apple crop outlook. Am. Fruit Grower. 116(9):6-7.**

4- Gerber, J. F. and Harrison, D. S. 1964. Sprinkler irrigation for cold protection of citrus. Trans. of the ASAE. 7,464-468.

5- Gerber, J. F. and Martsolf, J. D. 1964. Sprinkling for frost and cold protection. Modification of the Aerial Environment of Crops. St. Joseph. Mich. ASAE.

6- Hamer, P. J. C. 1980. An automated sprinkler system giving variable irrigation rates matched to measured frost protection needs. Agric. Meteorol. 21,281-293.

7- Heisey, L. W., Heinemann, P. H., Morrow, C. T. and Crassweller, R. M. 1994. Automation of an intermittent overhead irrigation frost protection system for an apple orchard. Applied Eng. in Agric. 10(5): 669- 675.

8- Koc, A. B., Heinemann, P. H., Crassweller, R. M. and Morrow, C. T. 2000. Automated cycled sprinkler irrigation system for frost protection of apple buds. Applied Eng. in Agric. 16(3): 231-240.

9- Perry, K. B. 1979. Evaluation and refinement of sprinkler application rate models used in frost protection. ph.D. Thesis. Pennsylvania State University. University Park.

10- Perry, K. B. 1986. FROSTPRO, A model of overhead irrigation rates for frost/freeze protection of apple orchards. Hort. Sci. 21(4):1060-1061.

11- Stombaugh, T. S., Heinemann, P. H. Marrow, C. T. and Goulart, B. l. 1992. Automation of a pulsed irrigation system for frost protection of strawberries. Applied Eng. in Agric. 8(5): 597-602.

12- Westwood, M. N. 1991. Temper-Zone Pomology. Translated by: Rasoolzadegan. Isfahan University of Tchnology. Isfahan. Iran. (in Farsi)

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.7 /No.28 / Autumn 2006*

Evaluation of FROSTPRO Model for Frost Protection of Peach Orchard by Sprinkler Irrigation

A. A. Ghaemi, M. R. Rafiei and A. R. Sepaskhah

Man has long attemped to control the environment according to his needs. One of the phenamena with which he has always encoutered for this control is the frost damage of crops. A usefull method to protect the plant from frost is sprinkler irrigation which is based on the heat released from the formation of ice on the sprinkled plant limbs. To evaluate this method, an automated overtree sprinkler irrigation system was designed and tested on a 1700 m^2 peach orchard block in Badjgah area (Fars province) to protect peach buds from low temperature damages. An adjucent 1000 m^2 block was left unprotected as the control block. Achieving a good mangement is of the most importance in applying irrigation systems to protect plant from frost. FROTPRO, a mathemtical model developed to predict proper application rates to adequately protect plants, was used in this research. The irrigation system was designed in order to supply the application rate predicted by the model using the proper climate data from the region. The system was evaluated during three frost events in spring 1382 and could successfully keep the bud temperatures above the adjusted critical level (-1.5ºC) during all spring frost events. On the other hand, the flowers were lost 12 and 41.5% for protected and control orchards, respectively. Furthermore, 36% more fruit yield per tree was obtained for protected trees. The results indicated that the designed and managed sprinkler system by using FROSTPRO model was effective to protect the peach orchard in the study area.

Key words: Application Rate, Automated Sprinkler Irrigation System, Bud, FROSTPRO Model, Frost Protection, Temperature