

## آبیاری بارانی اتوماتیک جهت کنترل دما به منظور کاهش سرمازدگی درختان میوه و مرکبات<sup>۱</sup>

علی اصغر قائمی و محمد رفیع رفیعی<sup>۲</sup>

### چکیده

سرمازدگی گیاهان یکی از پدیده‌هایی است که بشر همواره با آن مبارزه نموده است. بر اساس آمار و اطلاعات موجود خسارت ناشی از سرمازدگی و یخبندان در اغلب سال‌ها بر روی محصولات زراعی و باغی بیشتر از ۳۵ تا ۴۰ درصد و در مواردی سرمازدگی بهاره باعث خسارت صد در صد محصول در یک منطقه شده است. عمده‌ترین روش مبارزه با سرمازدگی استفاده از آبیاری بارانی بالا درختی می‌باشد که اساس آن تأثیر گرم‌کنندگی پوشش یخ متشکل از آب پاشیده شده روی اندام‌های گیاهی می‌باشد. در تحقیق حاضر، یک سیستم آبیاری بارانی بالادرختی خودکار در یک باغ هلو واقع در باجگاه و یک قطعه باغ پرتقال واقع در جهرم (استان فارس) اجرا و تأثیر آن در مبارزه با سرمازدگی مورد مطالعه قرار گرفت. قسمتی از هر کدام از باغهای مورد مطالعه به عنوان بلوک شاهد و قسمتی نیز به عنوان بلوک آبیاری شده (بلوک مورد آزمایش) در نظر گرفته شد. در این سیستم از مدل FROSTPRO جهت تعیین شدت پاشش بهینه مورد نیاز که مهم‌ترین نکته در راستای مدیریت صحیح آب مصرفی توسط آبیاش‌ها می‌باشد، استفاده گردید و با توجه به پارامترهای محیطی و گیاهی مقدار آب مصرفی به میزان ۱۲ و ۸/۲ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب برای باغ هلو و باغ پرتقال بدست آمد. پس از آن در هر دو منطقه مورد مطالعه، سیستم مجهز به سیستم کنترل خودکار گردید و در نهایت قطعات باغ مورد مطالعه در طی سه واقعه سرمازدگی در بهار ۱۳۸۲ و سه واقعه سرمازدگی دیگر در بهار ۸۳ در منطقه باجگاه و شش واقعه سرمازدگی در زمستان ۸۲ در منطقه جهرم مورد آزمایش قرار گرفت که در تمام موارد فوق دما در بلوک شاهد به زیر دمای بحرانی تنظیم شده (۱/۵- و ۰/۵- درجه سانتی‌گراد بترتیب برای باغ هلو و پرتقال) رسید در حالی که در بلوک تحت آبیاری دما در حدی بالاتر از دمای بحرانی نگه داشته شد. همچنین مقایسه دو تیمار در باغ هلو نشان داد که در بلوک تحت آبیاری در سال ۸۲ تنها ۱۲ درصد از شکوفه‌ها از بین رفتند در حالی که در بلوک شاهد ۴۱/۵ درصد خسارت به شکوفه‌ها

۱- بر گرفته از طرح تحقیقاتی " کاربرد مدل FROSTPRO و مقابله با سرمازدگی میوه و مرکبات در استان فارس

۳- به ترتیب عضو هیات علمی بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (عضو هیات علمی تمام وقت دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر)

وارد شد. همچنین محصول درختان حفاظت شده ۳۶٪ بیشتر از درختان حفاظت نشده گردید. نتایج حاصل از درصد شکوفه‌های زنده و تولید محصول بیشتر و نیز اختلاف مشاهده شده بین دماهای ثبت شده در دو تیمار شاهد و آبیاری شده نشانگر مؤثر بودن سیستم در پیشگیری از سرمازدگی درختان هلو و مرکبات در دو منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری بارانی خودکار، شدت پاشش، دمای هوا، مدل FROSTPRO، شکوفه، خودکار، مبارزه با سرمازدگی.

### مقدمه

مطابق نقشه یخبندانی که توسط گودار و استین (۱۹۸۵) ارائه گردیده است، ایران جزو مناطقی است که در آن از ۹۰ تا ۳۰۰ روز شرایط بدون یخبندان وجود دارد و یا به عبارت دیگر در این کشور هر ساله از ۶۵ تا ۲۷۵ روز یخبندان وجود داشته که در این بین بطور یقین تعداد روزهایی که دما به زیر دماهای بحرانی سقوط کند، بسیار زیاد است. آسیب پدیده سرمازدگی به محصولات باغی علت عمده کاهش محصول در یک فصل تولید می‌باشد و این امر نیز به نوبه خود باعث نوسان قیمت در بازارهای محلی و حتی بین‌المللی می‌گردد. برای مثال کرنی (Cranney, 1996) گزارش کرد که در سال ۱۹۹۱ قیمت سیب در تمام دنیا به دلیل کاهش محصولات اروپایی در اثر سرمازدگی افزایش یافت سرمازدگی‌ها با توجه به شیوه‌های انتقال حرارت به دو دسته سرمازدگی همرفتی و سرمازدگی تابشی تقسیم‌بندی می‌شوند. سرمازدگی همرفتی در اثر حرکت افقی توده‌های هوا ایجاد می‌شود که هرگز بوسیله آبیاری بارانی قابل جلوگیری نیست و در چنین شرایطی افت دما شدید می‌باشد. در سرمازدگی تشعشعی سطح خاک و گیاه در اثر تشعشع خالص منفی سردتر از هوا می‌گردد. هوا نیز در اثر برخورد با این سطح، سردتر و در نتیجه با از دست دادن حرارت، به سطح سرد و متراکم تبدیل می‌شود. این هوای متراکم سرد در سطح زمین باقی مانده و تحت شرایط پایدار باعث ایجاد یخبندان تشعشعی می‌شود. حاصل این مراحل پدیده‌ای است به نام وارونگی حرارت که در آن دما با افزایش ارتفاع زیاد می‌گردد و به سطحی می‌رسد که سقف وارونگی نامیده می‌شود. بنا به تشخیص گودار و استین (۱۳۶۶)، ارتفاع این سطح در باغات ۸ تا ۱۵ متر می‌باشد. سرمازدگی تابشی در صورت مدیریت صحیح و علمی آبیاری، کاملاً بوسیله آبیاری بارانی قابل مهار شدن است. در چنین مدیریتی، زمان شروع آبیاری، مدت آبیاری و بخصوص شدت پاشش آبیاری می‌بایست بدرستی تعیین شده باشد چرا که استفاده کمتر از حد مورد نیاز از آب، بخصوص در شرایط وزش باد، باعث کاهش دما شده و نتیجه معکوس خواهد داد. از طرفی استفاده بیش از حد از آب نیز ممکن است باعث تجمع بیش از حد توده‌های یخ گشته و به شاخه‌ها و اندام‌های گیاهی آسیب وارد سازد. بدین منظور مدل‌هایی جهت تعیین شدت پاشش ارائه شده است که از کارآمدترین آنها مدل FROSTPRO می‌باشد. دلایل عمده استفاده از آبیاری بارانی در مبارزه با سرمازدگی عبارتند از: ۱- ذرات آب معلق در هوا با افزایش رطوبت نسبی باعث کنترل تشعشع خالص خروجی شده و از هدرروی حرارت سطح نزدیک به زمین در شب جلوگیری می‌کند. ۲- آزاد شدن ۳۳۵ ژول گرمای نهان انجماد به ازای یخ زدن هر گرم آب

که باعث گرم شدن محیط و اندام گیاهی می‌شود. ۳- یخ تشکیل شده روی اندام گیاهی به عنوان یک عایق حرارتی عمل کرده و دمای آن را در حدود صفر که بالاتر از دمای بحرانی گیاهان است، نگه می‌دارد و از نوسانات سریع دمای محیط مصون می‌دارد. این سیستم‌ها همچنین از قابلیت خودکار شدن و واکنش مستقیم به شرایط جوی بدون نیاز به کارگر برخوردار است.

از مدل‌هایی که به منظور برآورد میزان آب مصرفی کافی برای مبارزه با سرمازدگی ارائه شده است، می‌توان به مدل‌های ارائه شده توسط بازینگر (Businger, 1965) و جربر و هریسن (Gerber & Harrison, 1964) اشاره نمود. داده‌های ورودی مورد نیاز در این مدل‌ها عبارتند از دمای بحرانی، دمای برگ خشک، دمای هوا، ابعاد اندام گیاهی (شکوفه یا جوانه) و سرعت باد. مشکل مدل‌ها اشاره شده 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 مسلماً چنین فرضی برای برگ خشک که فشار بخار اطراف آن تابعی از رطوبت نسبی هوای مجاور می‌باشد، 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 نمود. این مدل پارامترهای محیطی و گیاهی ذکر شده را گرفته و شدت پاشش بهینه آبیاری را با استفاده از معادله زیر تعیین می‌کند:

$$I = 2[(h_r + h_c)(T_c + T_1) + LE]/LI \quad (1)$$

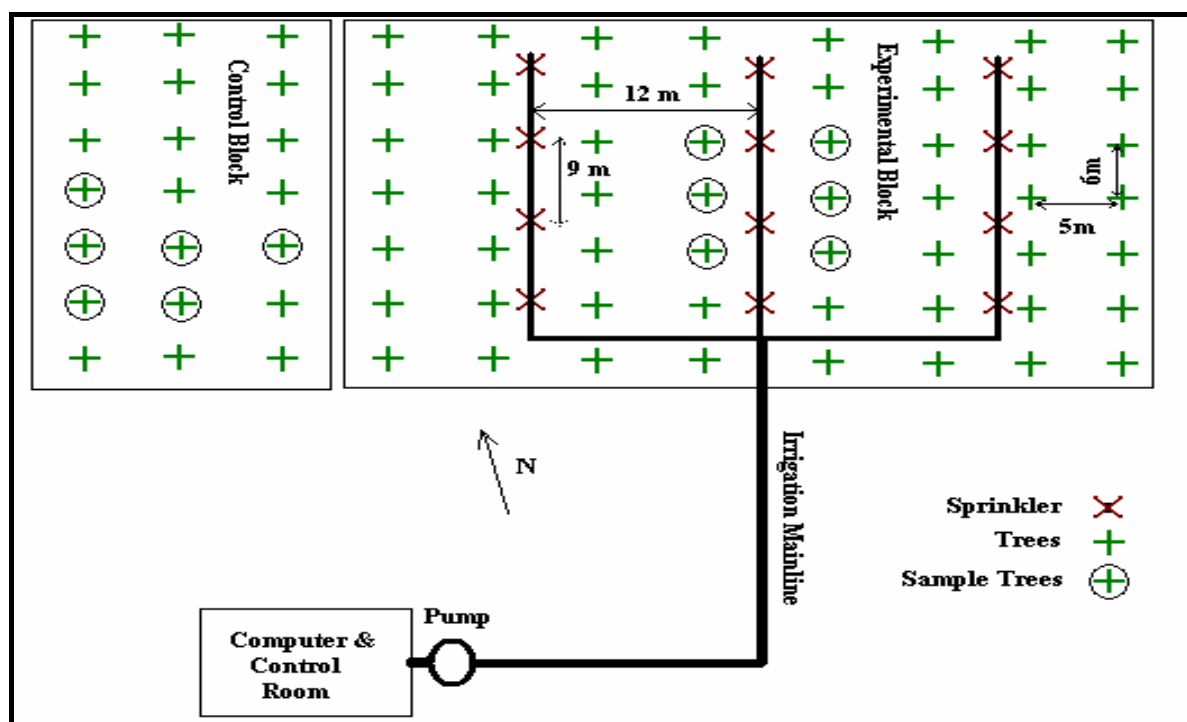
که در آن  $h_r$  ضریب انتقال حرارتی تابشی ( $W m^{-2} s^{-1} ^\circ C^{-1}$ )،  $h_c$  ضریب هدایت انتقال همرفتی ( $W m^{-2} s^{-1} ^\circ C^{-1}$ )،  $T_c$  دمای بحرانی ( $^\circ C$ )،  $T_1$  دمای اندام‌های گیاهی ( $^\circ C$ )،  $LE$  تفاوت افت گرمای نهان در دمای بحرانی و دمای محیط ( $W m^{-2} s^{-1}$ )،  $LI$  گرمای نهان ذوب ( $W m^{-3}$ ) و  $I$  شدت پاشش آبیاری ( $m s^{-1}$ ) می‌باشد. ضریب ۲ برای در نظر گرفتن دو طرف سطح شکوفه است. امروزه مدل FROSTPRO مبنای طراحی سیستم آبیاری بارانی در اکثر تحقیقاتی است که بر روی کاربرد آبیاری بارانی در مبارزه با سرمازدگی صورت گرفته 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 مورد آزمایش قرار دادند. آنها این مدل 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٪ بوده است. هسی و همکاران (Heisey et al., 1994) سیستم مشابهی را در باغ سیب و در دو واقعه سرمازدگی پاییزه سال ۱۹۹۲ و دو واقعه سرمازدگی بهار ۱۹۹۳ بررسی کردند و مشاهده نمودند که در هر ۴ مورد دما با موفقیت، بالاتر از دمای بحرانی قرار گرفت. کوک و همکاران (Koc et al., 2000) تحقیق مشابهی را انجام دادند منتهی با این تفاوت که در سیستم آنها یک سیستم موجی برای آبیاری در نظر گرفته شد که با این تدبیر میزان مصرف آب به ۷۲٪ مقدار آب مصرفی در سیستم‌های با آبیاری مداوم رسید، در حالیکه مقابله کامل با سرمازدگی صورت گرفته بود. با این وجود مواردی هم گزارش شده است که در آنها بدلیل مشکلات ناشی از خرابی تجهیزات، سیستم ناموفق عمل کرده است.

هدف از این پژوهش، اجرا و ارزیابی یک سیستم آبیاری بارانی بالا درختی خودکار در یک باغ هلو در دانشکده کشاورزی واقع در باجگاه به منظور حفاظت شکوفه‌ها از سرمازدگی و همینطور در یک باغ پرتقال واقع در جهرم به

منظور حفاظت میوه‌ها از سرماگی با استفاده از حداقل مقدار آب و همچنین بررسی کارایی مدل FROSTPRO در تعیین میزان بهینه آب برای آبیاری درختان میوه و در نهایت ارائه راهکارهای عملی برای باغداران به منظور مقابله با سرمازدگی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

اولین قدم در مطالعه سرمازدگی درختان بررسی محل احداث یا انتخاب باغ است. یکی از مناطق مستعد سرمازدگی منطقه باجگاه واقع در ۱۶ کیلومتری شمال شیراز می‌باشد. این منطقه بدلیل ارتفاع زیاد و حالت دشت مانند در خطر سرمازدگی می‌باشد زیرا امکان نزول هوای سرد و سنگین از ارتفاعات و حبس این هوای سرد در آن باعث کاهش دما می‌شود. این فرآیند به دلیل رقیق شدن هوا و در نتیجه کاهش قدرت جذب تشعشع آفتاب به وسیله اتمسفر و همچنین کاهش رطوبت نسبی هوا اتفاق می‌افتد. بنابراین اغلب سرماهای شدید بهاره 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 بود که ۰/۱۷ هکتار برای سیستم آبیاری بارانی در نظر گرفته شد و ۱/ هکتار دیگر نیز به عنوان شاهد منظور گردید. ابعاد و فواصل سیستم به طور شماتیک در شکل ۱ آمده است. بلوک تحت آبیاری دارای ۸ ردیف از درختان هلوی با رقم آلبرتا بود که با تراکم ۵×۶ متر مربع کشت شده بودند. بلوک شاهد شامل ۲۱ درخت که با همین تراکم کشت شده بودند، نیز



شکل ۱: شکل شماتیک از سیستم اجرا شده در باغ مورد آزمایش

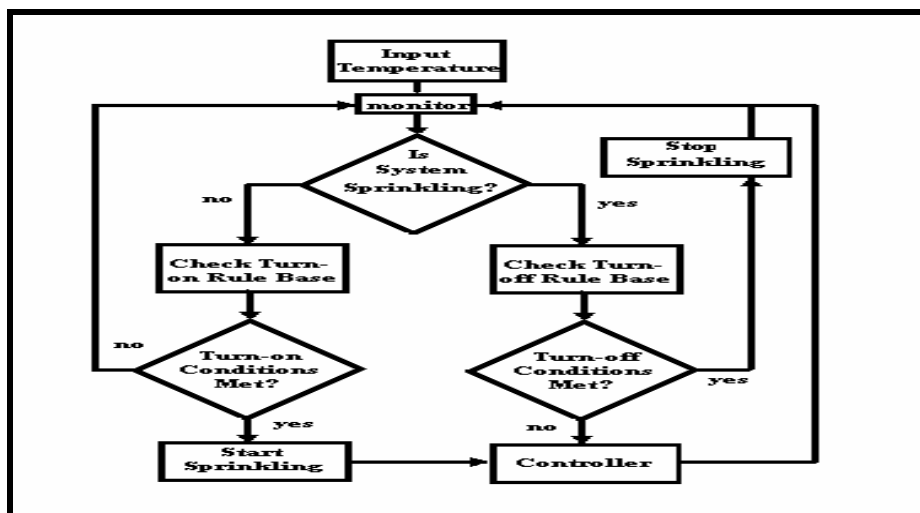
بدون سیستم آبیاری در نظر گرفته شد. سیستم خودکار تقریباً مشابه سیستمی است که توسط استومباخ و همکاران (Stombaugh et al., 1992) و کوک و همکاران (Koc et al., 2000) ارائه شده و از یک سیستم آبیاری اتوماتیک

برای کنترل سرما و از یک الگوریتم کنترل سیستم آبیاری با ابزارهای مربوط به آن تشکیل شده است. تعداد آبیاش‌های به کار رفته ۱۲ عدد بود که مطابق شکل ۱ با آرایش ۹×۱۲ متری در باغ قرار داشت. ۱۰۰ متر لوله پلی اتیلن ۹۰ میلی‌متر به عنوان لوله اصلی تعیین گردید که در یک نقطه از آن ۳ لوله فرعی هر کدام به طول ۳۵ متر از جنس پلی‌اتیلن به قطر داخلی ۶۳/۵ میلی‌متر منشعب شدند. ۱۲ آبیاش فیتکو ۶۰ تمام‌دور ضربه‌ای با قطر نازل ۴/۷۵ میلی‌متر در ارتفاع ۲ متری بر روی پایه‌های گالوانیزه ۰/۷۵ اینچ نصب شدند. یک حساسه نیز در مرکز هر بلوک روی شاخه درخت جای داده شد.

به منظور بررسی تاثیر سیستم در مبارزه با سرمازدگی در مرکبات باغ پرتقالی در شهر جهرم انتخاب گردید. این شهر در گودی قرار گرفته و از طرف جنوب غربی به یک سلسله کوه محدود است و این کوه‌ها موقعیت خطرناکی از نظر سرمازدگی درختان مرکبات ایجاد کرده است. از آنجاییکه باغات احداث شده در دامنه کوه‌ها مصون از یخبندان هستند، لذا اکثراً باغات مرکبات جهرم در دامنه این ارتفاعات قرار دارد. نکته جالب توجه دیگری نیز که در جهرم در این خصوص به اثبات رسیده، آن است که دیوارهای سستی باغات مثل سدی در مقابل جریان هوای سرد دامنه عمل نموده و مشاهده گردیده درختانی که بلافاصله در مجاورت دیوار پایین قرار دارند کوتاه‌تر از درختانی می‌باشند که دورتر هستند و این خود نشانگر این واقعیت است که دیوار همانند یک مخزن سرد باعث آسیب دیدگی درختان شده و در رشد درختان نیز اثر منفی داشته است. با توجه به این مسائل و گزارش‌های شفاهی مسئولین جهاد کشاورزی شهرستان جهرم، تصمیم گرفته شد تا یک سیستم آبیاری خودکار مشابه در یکی از باغات پرتقال جهرم واقع در پایین دامنه کوه‌های جنوب غربی که سابقه سرمازدگی زیادی دارد، اجرا گردد. این باغ که متعلق به دانشکده علوم پزشکی جهرم می‌باشد، دارای مساحت کلی ۴/۹۲ هکتار است که در آن درختان پرتقال با فواصل ۹×۸ متر کاشته شده‌اند و این خود مزید بر علت بود و یکی دیگر از دلایل انتخاب باغ مذکور همین الگوی کشت با فواصل زیاد بین درختان است که این امر به دلیل افزایش سطحی که در شب انرژی تشعشعی را تلف می‌کند، باعث افزایش احتمال سرمازدگی در این باغ می‌شود.

با توجه به فواصل و نوع آبیاش‌های طراحی شده در این سیستم، محدوده‌ای از باغ به مساحت ۲۹۷۰ مترمربع (۴۵×۶۶ مترمربع) به عنوان بلوک تحت آبیاری در نظر گرفته شد که در این بلوک ۱۶ آبیاش که با الگوی ۱۶×۹ متر روی چهار لوله فرعی (هر لوله شامل ۴ آبیاش) بطول ۵۶ متر قرار داده شدند. فاصله اولین آبیاش از ابتدای لوله فرعی ۸ m (S/2) در نظر گرفته شد.

فلوچارتی از الگوریتم برنامه کنترل خودکار آبیاری که به زبان ویژوال بیسیک نوشته شده در شکل ۲ آمده است. اولین مدول (روشن شدن) با توجه به تغییرات دما گزارش شده از بلوک‌های شاهد و تحت آبیاری توسط حساسه‌هایی حساس به دما در مورد زمان آغاز آبیاری تصمیم‌گیری می‌کند. یک حد نهایی برای دما به منظور تصمیم‌گیری در روشن کردن سیستم تعیین گردید. این حد نهایی که به آن دمای بحرانی تنظیم شده گفته می‌شود، به این دلیل انتخاب می‌گردد که بایستی سیستم تأثیر خنک‌کنندگی تبخیر را هم که حتماً در آبیاری بارانی وجود خواهد داشت، در نظر بگیرد.



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

تحقیقات کمی در این مورد انجام شده است که طی آن در رطوبت نسبی بیش از ۰/۵۰٪، دمای بحرانی تنظیم شده ۱ درجه سانتی‌گراد و در رطوبت نسبی کمتر از ۰/۵۰٪، ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای بحرانی واقعی شکوفه در نظر گرفته می‌شد. بنابراین مدول روشن شدن، زمانی فرمان آغاز آبیاری را صادر می‌کرد که دمای گیاه یا محیط گزارش شده از بلوک شاهد به مقداری پایین‌تر از دمای بحرانی تنظیم شده می‌رسید. دومین مدول برنامه کنترل، تصمیم‌گیری در مورد خاتمه آبیاری را انجام می‌دهد. این تصمیم‌گیری نیز بر اساس دمای گزارش شده توسط حساسه موجود در بلوک شاهد انجام می‌گرفت. به این ترتیب که با رسیدن دما به بالاتر از دمای بحرانی تنظیم شده، فرمان خاتمه آبیاری صادر می‌شد. به علاوه، دماهای بلوک‌های تحت آبیاری و شاهد همزمان توسط حساسه‌ها گزارش و در کامپیوتر ذخیره گردید. به منظور اندازه‌گیری دما می‌بایستی از ترموستات‌های بسیار نازک و سوزنی استفاده می‌شد و با فرو کردن آنها در شکوفه‌ها یا برگ‌ها، دمای واقعی آنها گزارش می‌شد، اما به دلیل این که این ترموستات‌ها به عنوان حساسه بسیار ظریف بوده و امکان آسیب و خراب شدن آنها در شرایط مختلف زیاد می‌باشد، از ترموستات‌هایی استفاده شد که به وسیله چسب آکواریوم 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 گردد. علائم ارسالی از این حساسه‌ها به وسیله کابل‌های زمینی شش نخ پوشش‌دار به سیستم تحلیل داده‌ها ارسال گردید. پس از تبدیل داده‌ها به رله‌های دیجیتال این داده‌ها از طریق کابل‌های رابط به یک کامپیوتر پنتیوم ۳ وارد می‌شدند و در آنجا به وسیله برنامه نرم‌افزاری که فلوچارت آن قبلاً تشریح شد، ذخیره شده و مورد بررسی قرار می‌گرفتند تا در صورت لزوم فرمان روشن شدن یا خاموش شدن توسط این برنامه به پمپ داده شود. انتقال فرمان از کامپیوتر به پمپ به وسیله یک تابلو برق انجام شد. درصد شکوفه‌های مرده و عملکرد محصول در بلوک‌های آبیاری شده و شاهد پارامترهایی بودند که به منظور ارزیابی سیستم آبیاری اندازه‌گیری شدند. برای این منظور از روش پیشنهادی وست وود (۱۳۷۰) استفاده شد که در آن تراکم گلدهی و میوه از بررسی سه یا چند شاخه 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

۱۳۸۱/۱۲/۲۸ در هر دو بلوک مورد بررسی تعدادی از شاخه‌های سالم از درختان که از سلامت کافی برخوردار بوده و از نظر موقعیتی (ارتفاع بر روی درختان، دریافت نور و جهت قرار گرفتن در برابر باد) حتی‌الامکان از شرایط یکسانی برخوردار بوده و نیز ضعیف، خیلی پایین یا سایه‌دار نبودند، انتخاب گردیده با نخ‌های رنگی نشانه‌گذاری شدند و تعداد شکوفه‌های کاملاً باز و نیمه باز سالم در این شاخه‌ها شمارش گردید. شمارش از انتهای تحتانی شاخه شروع می‌شد و بطور منظم تک‌گل‌ها ضمن رسیدن به انشعابات جانبی، به طرف انتهای شاخه شمارش شدند. چهار روز بعد از سه سرمازدگی بهار سال ۱۳۸۲ در تاریخ ۸۲/۱/۱۴ در شاخه‌های موردنظر شمارش دوباره صورت گرفت. پنج روز بعد از آن نیز در تاریخ ۸۲/۱/۱۹ شمارش دیگری انجام شد و در این شمارش‌ها شکوفه‌های با ظاهر قهوه‌ای و سیاه اگر هم روی درخت مانده بود و هنوز نریخته بودند نیز به عنوان شکوفه‌های مرده در نظر گرفته شد.

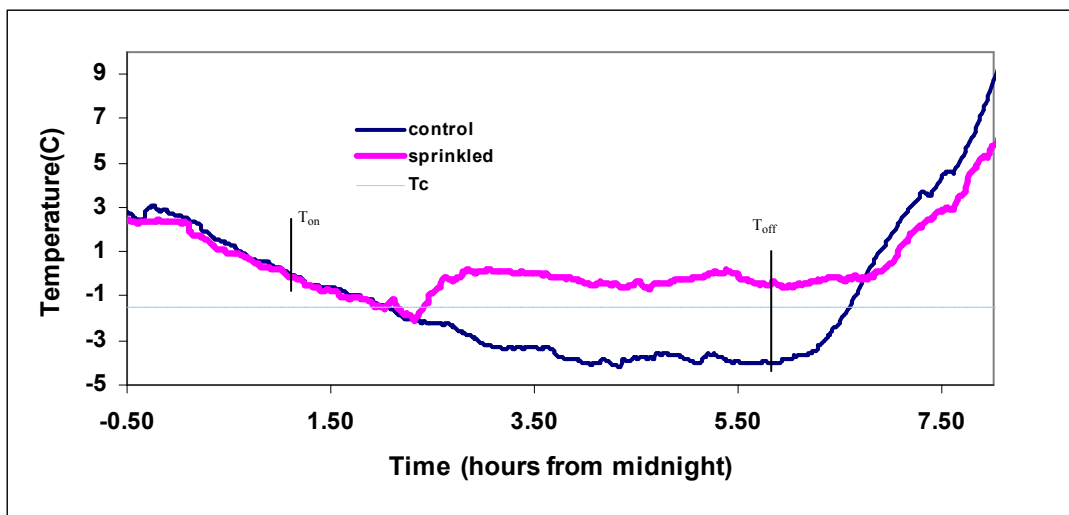
سیستم خودکار آبیاری بارانی در ۲۶ اسفند ۸۱ آغاز به کار نمود. قبل از آن مراحل واسنجی کردن حساسه‌ها و آزمون سیستم به طور کامل انجام شد. بدین منظور از یک دماسنج دقیق استفاده شد. با قرار دادن دماسنج در کنار حساسه‌ها در موقعیتی مشابه به آنها عدد قرائت شده توسط آنها با اعداد گزارش شده در آن لحظه مورد مقایسه قرار گرفت. بعد از آن، حساسه‌های موجود در بلوک شاهد و تحت آبیاری به مدت ۲۴ ساعت در موقعیتی کاملاً یکسان رها شدند تا دماهای قرائت شده توسط آنها با هم مقایسه گردند. بمنظور ایجاد موقعیت یکسان برای هر دو حساسه، آنها را در ارتفاع یکسان از سطح زمین قرار داده و برای یکنواخت کردن تأثیر پوشش آفتاب و تشعشع روی آنها موقتاً به وسیله گلدان‌های گلی پوشانده شد به گونه‌ای که حساسه‌ها بطور معلق در درون گلدان‌ها قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت نتایج بدست آمده، نشانگر نزدیکی بسیار خوب دماهای گزارش شده به وسیله دو حساسه بود. در باغ هلو 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 ۶۰ داده در کامپیوتر به نمایش درآمده و ثبت شد و سیستم با مقایسه این دما با دمای بحرانی در هر دقیقه لزوم آغاز آبیاری را بررسی کرد. برای بررسی بیشتر عملکرد سیستم سه واقعه سرمازدگی دیگر به ترتیب در ۵، ۶ و ۷ فروردین ۸۳ نیز ارزیابی گردید. همچنین، در باغ مرکبات سه واقعه سرمازدگی ثبت شده در ۹، ۱۰ و ۱۱ بهمن ماه ۱۳۸۲ رخ داد که در طول آن عملکرد سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت.

## بحث و نتیجه‌گیری

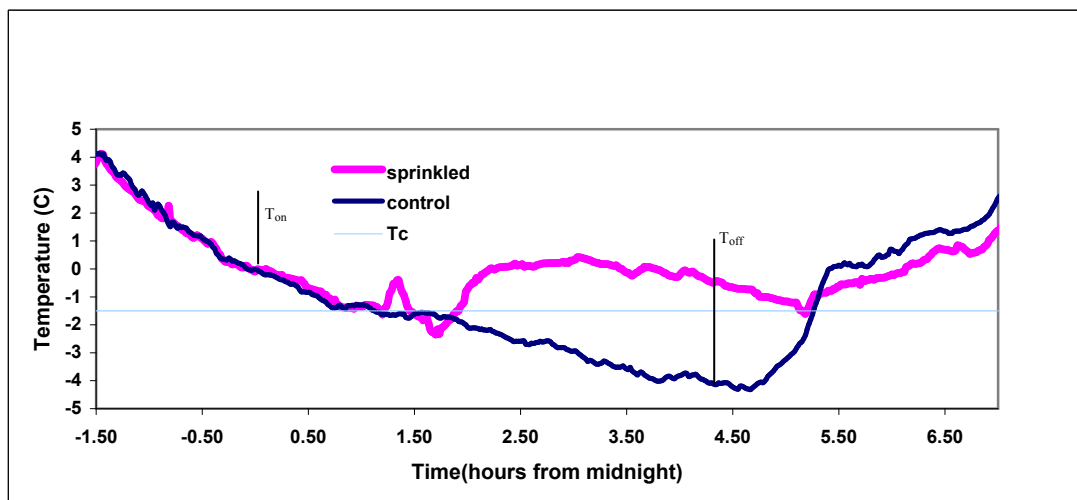
### باغ هلو- بهار ۸۲ و ۸۳

اولین سرمازدگی در ساعت ۱۲:۰۳ تا ۱۳:۰۶ صبح ۸ فروردین سال ۸۲ با رسیدن دما به دمای بحرانی تنظیم شده مشاهده گردید. در این شرایط شکوفه‌های هلو اغلب بصورت باز و در مرحله صورتی رنگ بودند. پایین‌ترین دما گزارش شده در بلوک شاهد ۴/۱۲- درجه سانتی‌گراد بود. سیستم آبیاری در زمان مناسب (۲:۰۴) یعنی درست در لحظه رسیدن دمای بلوک شاهد به دمای بحرانی تنظیم شده (۱/۵- تا ۲- درجه 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 حالیکه در بلوک شاهد دما برای حدوداً ۴/۵ ساعت زیر دمای بحرانی (Tc) بوده است (شکل ۳). سرمای بعدی در شب بعد در ۹ فروردین از ساعت ۰ : ۴۶ تا ۵ : ۳۲ صبح اتفاق افتاد. سیستم در ۰ : ۵۴ آغاز به آبیاری نمود. نمودار تغییرات دما با زمان در بلوک شاهد و تحت آبیاری برای این روز در شکل ۴ آمده است.



شکل ۳: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم شده (°C) در سرمای ۸ فروردین ۱۲

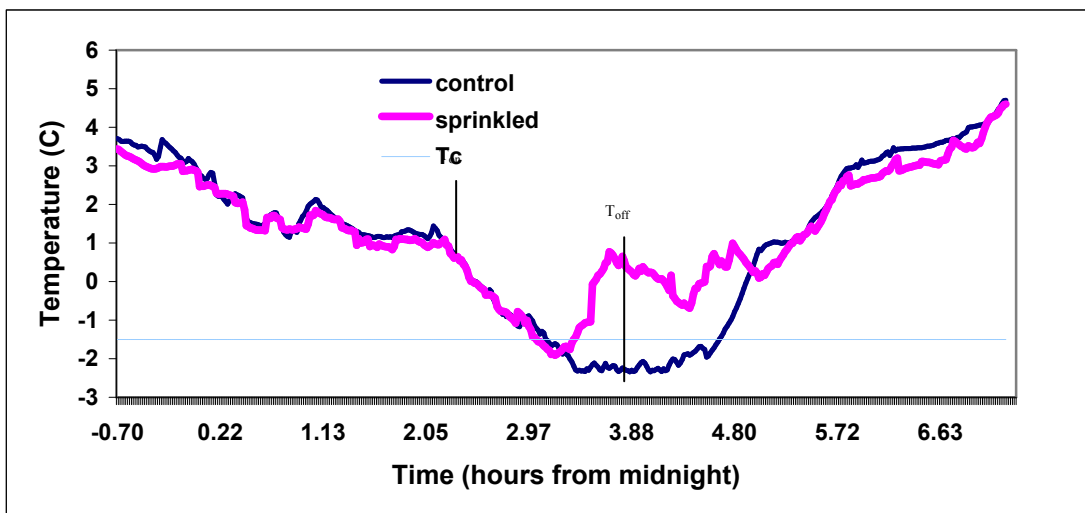


شکل ۴: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم شده (°C) در سرمای ۹ فروردین ۱۲

دماهای بلوک شاهد به‌طور آشکار به مدت ۴/۷ ساعت زیر دمای بحرانی بودند در حالیکه دما در بلوک تحت آبیاری به خوبی در بالای صفر نگه‌داشته شده بود. سومین سرمازدگی در ۱۰ فروردین از شدت دو واقعه قبلی برخوردار نبود اما نمودار تغییرات زمانی دما (شکل ۵) نشانگر این است که آبیاری تأثیری همانند دو واقعه پیشین را بر دما داشته است. در این سرمازدگی نیز آبیاری به میزان مناسبی دمای گیاه را در بالای دمای بحرانی تنظیم شده نگه‌داشت. البته میزان خسارت به شکوفه‌های بلوک شاهد در این واقعه احتمالاً کمتر بود (دما تقریباً به مدت ۸۴ دقیقه به زیر دمای بحرانی رسیده بود). نوسانات نسبی دما در بلوک تحت آبیاری که در این واقعه سرمازدگی دیده شد، ممکن

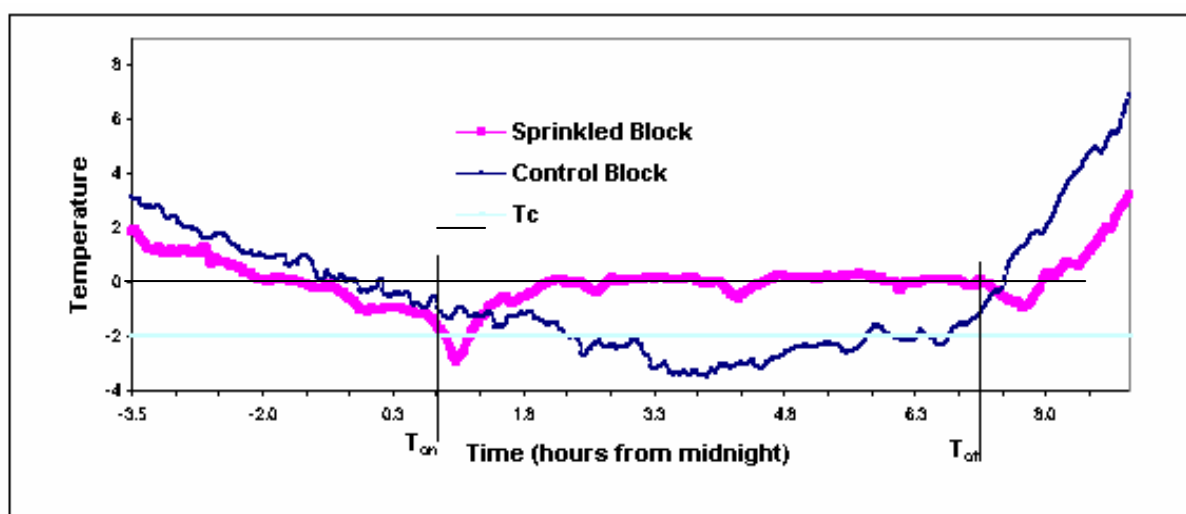


است بدلیل کوتاهی این مدت باشد که در آن آب پاشیده شده فرصت کافی برای تبدیل شدن به یخ را نداشته و بنابراین احتمال افزایش تبخیر با توجه به تغییرات سرعت باد بیشتر شد.

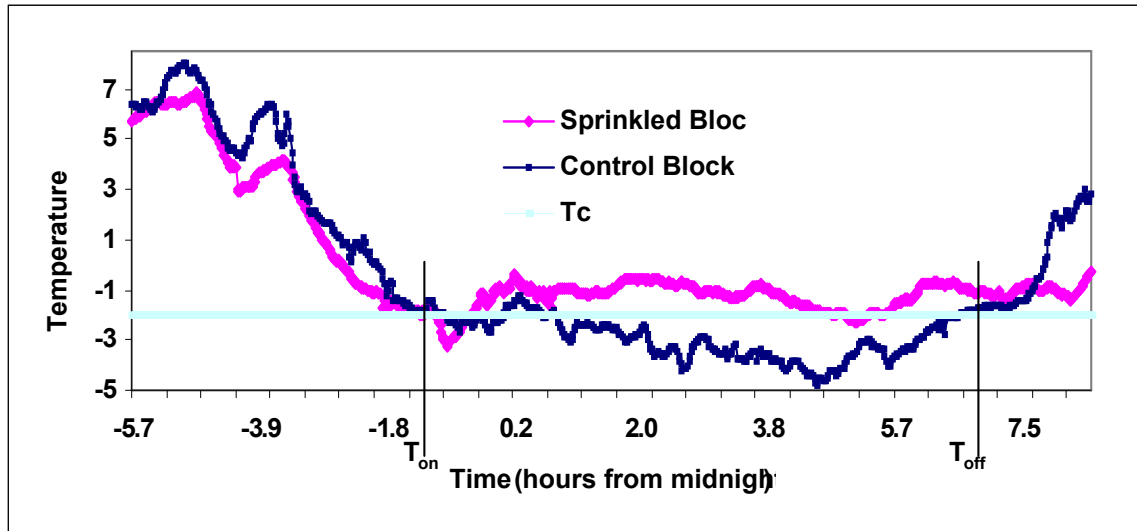


شکل ۵: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم شده ( $^{\circ}\text{C}$ ) در سرمای ۱۰ فروردین ۸۲

با مشاهده نتایج مطلوب حاصل شده در بهار ۸۲ تصمیم گرفته شد که کارایی سیستم در سرماهای بهار ۸۳ نیز بررسی گردد. اولین واقعه سرمازدگی در ۴ فروردین ۸۳ رخ داد. حداکثر سرعت باد در این روز ۱/۸ مایل در ساعت (۳ کیلومتر بر ساعت) و حداقل رطوبت نسبی ۱۶ درصد بود. منحنی تغییرات دمای بلوک‌های شاهد و آبیاری شده در مقایسه با دمای بحرانی تنظیم شده در طول زمان در شکل ۶ آمده است. می‌توان دید که سیستم آبیاری بارانی به‌خوبی قادر به کنترل و نگهداری دمای هوا در بالای دمای بحرانی تنظیم شده در بلوک آبیاری شده می‌باشد در حالیکه دمای ثبت شده در بلوک شاهد به زیر دمای بحرانی تنظیم شده نزول یافته است. دومین و سومین واقعه سرما به ترتیب در تاریخ‌های ۵ و ۶ فروردین رخ داد که در طول این وقایع، دمای بلوک آبیاری شده در بالای دمای شاهد و دمای بحرانی تنظیم شده نگه داشته شده است (شکل‌های ۷ و ۸).



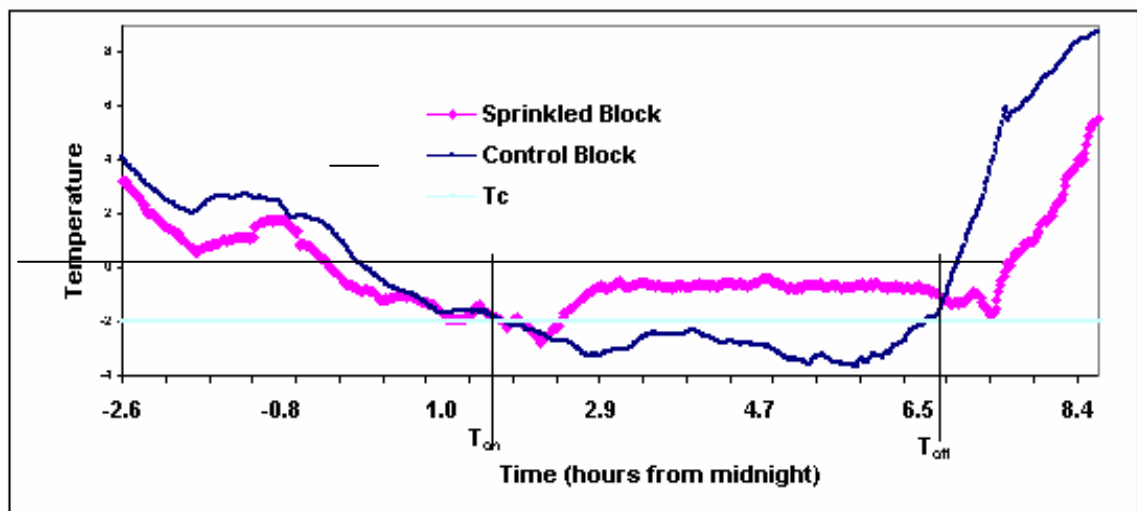
شکل ۶: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم شده ( $^{\circ}\text{C}$ ) در سرمای ۴ فروردین ۸۳



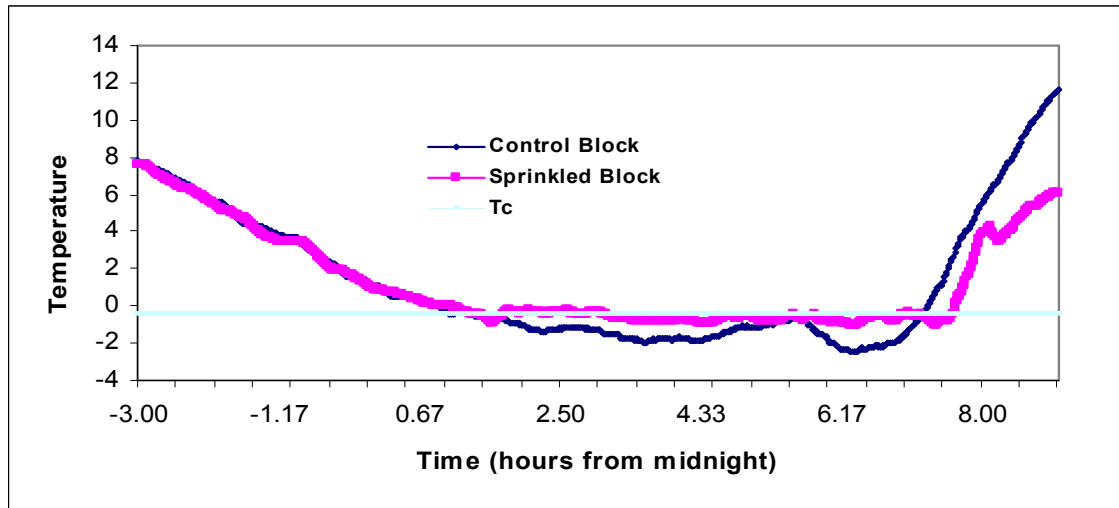
شکل ۷: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم شده ( $^{\circ}\text{C}$ ) در سرمای ۵ فروردین ۱۳

#### باغ مرکبات- زمستان ۸۲

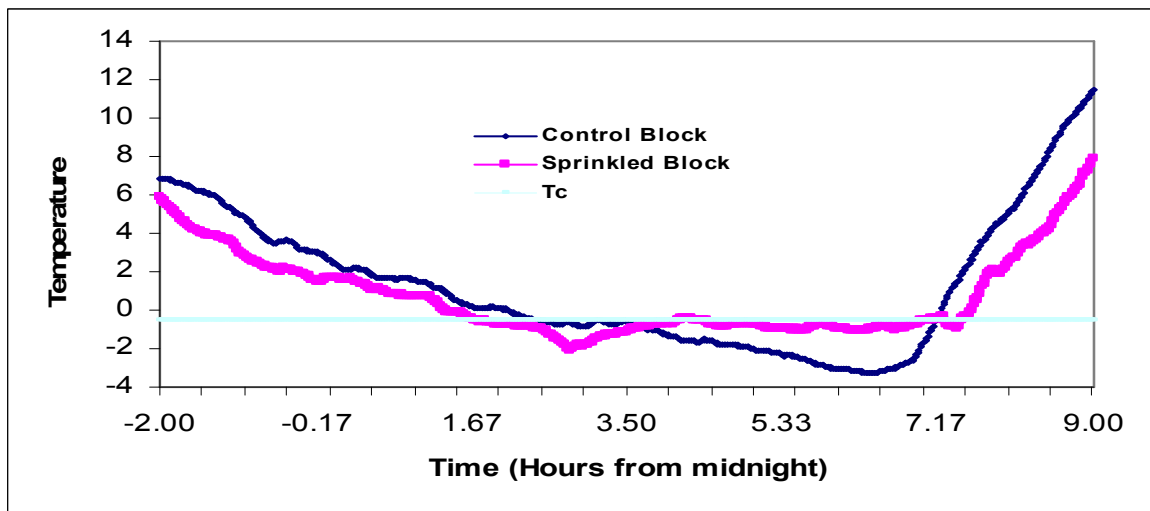
سه واقعه سرمازدگی ثبت شده در ۹، ۱۰ و ۱۱ بهمن ماه ۱۳۸۲ رخ داد. شکل تغییرات دماهای بلوک شاهد و آبیاری شده در شکل‌های ۹ تا ۱۱ آمده است. در سرمای اول در ۸۲/۱۱/۹ دمای بلوک شاهد از ساعت ۱:۲۲ تا ۷:۱۲ صبح (۵/۸۳ ساعت) زیر دمای بحرانی تنظیم شده قرار گرفت و به  $-۲/۴۶$  درجه سانتی‌گراد رسید. در حالیکه حداقل دمای بلوک آبیاری شده  $-۱/۰۸$  درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. دو سرمازدگی بعدی در شبهای ۱۰ و ۸۲/۱۱ از مدت کمتری (به ترتیب ۴/۷۲ و ۲/۷۷ ساعت) برخوردار بودند اما دمای حداقل در آنها کمتر از شب اول بود (به ترتیب  $-۳/۲۷$  و  $-۲/۹۵$  درجه سانتی‌گراد) و در هر دو شب دمای بلوک آبیاری شده به خوبی در محدوده دمای تنظیم ثابت مانده بود. بنابراین در اینجا نیز می‌توان سیستم آبیاری بارانی را در مقابله با سرمازدگی و بالاتر نگه داشتن دما نسبت به دمای بحرانی تنظیم شده موفقیت آمیز ارزیابی نمود.



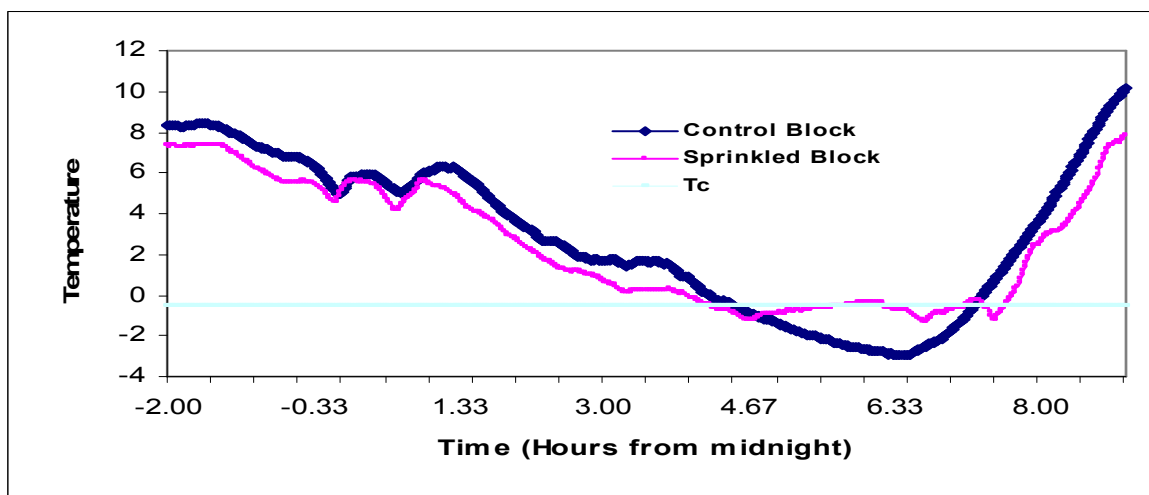
شکل ۸: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم شده ( $^{\circ}\text{C}$ ) در سرمای ۶ فروردین ۱۳



شکل ۹: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم‌شده (°C) در سرمای ۹ بهمن ۸۲



شکل ۱۰: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم‌شده (°C) در سرمای ۱۰ بهمن ۸۲



شکل ۱۱: مقایسه دماهای بلوک شاهد و تحت آبیاری با دمای بحرانی تنظیم‌شده (°C) در سرمای ۱۱ بهمن ۸۲

## عملکرد بیولوژیک سیستم

بررسی تأثیر سیستم بر در صد شکوفه‌های مرده و عملکرد محصول در بلوک‌های آبیاری شده و شاهد، پس از سه واقعه سرمازدگی رخ داده در فروردین ۸۲ از طریق شمارش شکوفه‌های مرده به روش وست‌وود [۱۲] و اندازه‌گیری محصول درخت انجام شد. بر اساس نتایج مشاهده شده به‌طور متوسط ۱۲٪ مرگ شکوفه در بلوک تحت آبیاری و ۴۱/۵٪ مرگ شکوفه‌ها در بلوک شاهد مشاهده گردید. همچنین، 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 به خوبی نشان داده می‌شود. مقایسه‌ای از درصد شکوفه‌های از بین رفته در این سرمازدگی‌ها به‌همراه عملکرد نهایی محصول در بلوک‌های شاهد و تحت آبیاری در جدول 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 ۳۶ درصد بیشتر از بلوک شاهد بود.

جدول ۱: درصد شکوفه‌های مرده و محصول درخت در تیمارهای مختلف

تیمار	شکوفه‌های از بین رفته (٪)	بازده نهایی (کیلوگرم در هر درخت)
بلوک تحت آبیاری بارانی	12*	25.2*
بلوک شاهد	41.5	18.5

\* اختلاف‌ها در سطح ۱٪ معنی‌دار هستند (آزمون t-student).

روند تغییرات دما در سه واقعه سرمازدگی بهاره در باجگاه و سرمازدگی زمستانه در جهرم را می‌توان بدین گونه توصیف نمود که با شروع آبپاشی در همه وقایع سرمازدگی، دما در بلوک تحت آبیاری به‌طور نسبتاً سریعی افزایش یافت که این امر را می‌توان ناشی از افزایش ناگهانی رطوبت نسبی محیط دانست. اما بعد از مدتی با افزایش تبخیر، از دمای محیط حتی تا پایین‌تر از دمای شاهد کاسته شد و سپس با شروع یخ زدن آب روی اندام گیاهی دمای بلوک تحت آبیاری رو به افزایش گذاشت. بطور کلی نتایج حاصله از بررسی سرمازدگی بهاره نشانگر عملکرد کاملاً موفقیت‌آمیز سیستم آبیاری بارانی خودکار در مبارزه با این نوع سرمازدگی‌ها می‌باشد. این تأثیر همچنین در تعداد شکوفه‌های حفاظت شده و نیز در عملکرد نهایی محصول مشاهده گردید. به گونه‌ای که در بلوک بدون شاهد پس از سه واقعه سرمازدگی متوالی فروردین ۸۲، ۴۱/۵٪ مرگ شکوفه مشاهده شد در حالیکه در بلوک تحت آبیاری تنها ۱۲٪ شکوفه دچار خسارت سرما شده بودند.

## پیشنهادات

از آنجایی که عملکرد سیستم در یک شدت پاشش ثابت مورد ارزیابی قرار گرفته، توصیه می‌شود که این پژوهش با بکارگیری یک سیستم واقعی با شدت پاشش متغیر انجام گردد تا بتوان هم تأثیر آن را در مقابله با

سرمازدگی مورد بررسی قرار داد و هم میزان کاهش مصرف آب را بطور عینی مشاهده نمود. همچنین با توجه به اینکه در سیستم اجرا شده تنها پارامتر مورد بررسی دما می‌باشد، 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 کرد، تا بتوان اثر تغییرات این پارامترها را بر روند تغییرات زمانی دما مورد بررسی قرار داد.

### سپاسگزاری

انجام این مطالعه بدون همکاری صادقانه و صبورانه کار گروه پژوهش و فن‌آوری استان فارس، معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز و همچنین همکاری مدیریت محترم دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، امکان‌پذیر نبود که بدینوسیله مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارم.

### منابع

۱. وست‌وود. ام. ان. ۱۳۷۰. میوه‌کاری در مناطق معتدله. ترجمه رسول‌زادگان. ی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۷۶۰ص.
2. Barfield, B.J. and J.F. Gerber .1979. Modifying the Aerial Environmental of Crops. St. Joseph, MI: ASAE.
3. Businger, J.A. 1965. Frost protection with irrigation. *Agricultural Meteorology* 6(28): 74-80.
4. 3-Cranney, J.R. 1996. Apple crop outlook. *American Fruit Grower* 116(9):6-7.
5. Gerber, J.F and D.S. Harrison. 1964. Sprinkler irrigation for cold protection of citrus. *Transactions of the ASAE*, 7:464-468.
6. Gerber ,J.F. and J.D. Martsolf. 1964. Sprinkling for frost and cold protection. *Modification of the Aerial Environment of Crops*. pp 327-333. St. Joseph, Mich.: ASAE.
7. Hamer, P.J.C. 1980. An automated sprinkler system giving variable irrigation rates matched to measured frost protection needs. *Agric. Meteorol.* 21:281-293.
8. Heisey, L.W., P.H. Heinemann, C.T. Morrow, and R.M. Crassweller. 1994. Automation of an intermittent overhead irrigation frost protection system for an apple orchard. *Applied Engineering in Agriculture*, 10(5): 669- 675.
9. Koc, A.B., P.H. Heinemann, R.M. Crassweller and C.T. Morrow. 2000. Automated cycled sprinkler irrigation system for frost protection of apple buds. *Applied Engineering in Agriculture*. 16(3): 231 – 240.
10. Perry, K.B. 1979. Evaluation and refinement of sprinkler application rate models used in frost protection. Ph.D. thesis. Pennsylvania State University, University Park.
11. Perry, K.B. 1986. FROSTPRO, A model of overhead irrigation rates for frost/freeze protection of apple orchards. *Hortscience*, 21(4):1060-1061.
12. Stombaugh, T.S., P.H. Heinemann, C.T. Marrow, and B.L. Goulart. 1992. Automation of a pulsed irrigation system for frost protection of strawberries. *Applied Engineering in Agriculture*, 8(5): 597-602.