مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (1) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (1) 2011

تخفيف تأثير الصقيع على الأشجار المثمرة باستخدام طريقة الترذيذ

الدكتور علي خلوف*

(تاريخ الإيداع 24 / 6 / 2010. قُبِل للنشر في 25/ 1 / 2011)

□ ملخّص □

يتضمن هذا البحث العديد من النقاط الهامة ، يبدأ بتوضيح ظاهرة الصقيع وما هي الآثار الضارة لها وما ينتج عنها من خسائر مادية و اقتصادية تنعكس سلبا" على الاقتصاد الوطني ، إذ تم إيضاح أنواع الصقيع و العوامل المساعدة على تشكله و الطرق الكلاسيكية المستخدمة لمكافحة الصقيع ، ومن ثم تناول البحث طريقة الترذيذ بالماء لمكافحة هذه الظاهرة و دراستها من جميع الجوانب الحرارية و الترموديناميكية . وتم التعريف بأجزاء الدارة الهيدروليكية المستخدمة في شبكة الترذيذ . في نهاية البحث وضعت خوارزمية لبرنامج حساب البارامترات الجوية من أجل الاستفادة منها في معرفة درجة حرارة تشغيل و إيقاف شبكة الترذيذ آليا" إذ أدرجت أمثلة تطبيقية عدة ضمن البحث وقد تبين أن استخدام الطريقة المقترحة يرفع درجة حرارة الوسط المحيط بالأشجار من $C^{o}(3-5)$ ويجنب حدوث الصقيع .

الكلمات المفتاحية: الصقيع ، درجة الحرارة الرطبة ، درجة الحرارة الجافة ، الترذيذ.

* أستاذ مساعد – قسم الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية – جامعة دمشق – دمشق – سورية .

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (1) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (1) 2011

Reducing the Effect of Frost on Fruit Trees by Using the Water Spraying System

Dr. Ali Khallouf *

(Received 24 / 6 / 2010. Accepted 25 / 1 / 2011)

□ ABSTRACT □

This research includes several important points. It begins with clarifying the concept of frost and the adverse effects of frost on the citizen and the national economy, explaining types of frost, the factors helping to form it, and different ways to combat it. This study examines the Spraying water method from all sides (thermal and thermodynamica), indicating parts of the hydraulic circuit used in this method. The research concludes with adding algorithm to the program calculating the Atmospheric parameters to know turn on/turn off Operating temperature and turn off the Spraying net, with several practical applications. This method raises temperature between (3-5)C^o

Key words: Frost, Wet temperature, Dry temperature, Spraying.

* **Associate Professor, Department of General Mechanics, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering , Damascus University, Damascus, Syria.**

مقدمة:

يعتبر الاقتصاد السوري إقتصادا" زراعيا" ، ولما كانت ظاهرة الصقيع تؤثر بشكل سلبي في هذا الاقتصاد، أتت فكرة البحث للتصدي لهذه الظاهرة و دراستها و إيجاد السبل الكفيلة بتخفيف آثارها السلبية ، إذ عرضت طريقة حديثة للتخفيف من آثار الصقيع و هي طريقة الترذيذ و تم إعطاء أمثلة عدة على مبدأ استخدام هذه الطريقة على حقل مزروع بأشجار التفاح في ريف دمشق.

أهمية البحث و أهدافه:

يهدف البحث إلى تسليط الضوء على طريقة فعالة لمكافحة الصقيع وهي طريقة الترذيذ والتعرف من خلالها إلى تأثير الرذاذ في رفع درجة حرارة الهواء المحيط بالأشجار في أثناء فترة الصقيع والتعرف على مكونات الدارة الهيدروليكية. و في نهاية البحث وضعت خوارزمية لبرنامج حساب البارامترات الجوية من أجل الاستفادة منها في معرفة درجة حرارة تشغيل و إيقاف شبكة الترذيذ وتم وضع عدة امثلة تطبيقية ضمن البحث مع مثال عددي للبرنامج و الخوارزمية المستخدمين في بحثنا هذا.

طرائق البحث ومواده:

أنجز هذا البحث اعتماداً على المراجع العلمية المختصة التي تبحث في هذا الاتجاه و المعطيات المأخوذة من مديرية الأرصاد الجوية بدمشق والمعلومات المأخوذة من مديرية زراعة سرغايا بريف دمشق.

-**الصقيع** : هو انخفاض درجة حرارة الهواء أو التربة إلى مادون نقطة التجمد (الصفر المئوي) ، والتي تؤدي إلى تحول بخار الماء إلى أبر ثلجية كبيرة أو صغيرة على الأشجار و النباتات .

ويشكل الصقيع الذي يحدث في فترة تفتح الأزهار خطرا" عليها وبالأخص مايسمى بالصقيع الربيعي إذ يحدث عندها إخفاق في عملية الإخصاب وتكوين البذور والثمار .

ومن المعروف أن النباتات تتضرر من الصقيع إذا كانت حرارة الوسط المحيط بالنبات أو أجزائه أخفض من عتبة المقاومة الخاصة بالنبات وطور نموه.

و تختلف النباتات في تحملها لدرجات الحرارة حسب أنواعها وأصنافها وأطوار نموها وبالنسبة للأشجار المثمرة تتحمل البراعم الزهرية درجة حرارة (3-) درجة مئوية وتتحمل الأزهار حتى (2-) درجة والثمار الصغيرة تتحمل (1-) درجة.

وأخطر فترة لجميع أشجار الفاكهة هي فترة سقوط بتلات الأزهار ويلاحظ أن أعضاء النبات الغضة الغنية بالماء أكثر تعرضاً للصقيع من غيرها. كما أن أضرار الصقيع لاتتعلق بالحرارة الدنيا التي تصل إليها أعضاء النبات فحسب ولكن تتعلق أيضاً باستمرارية الصقيع فمثلاً يمكن لنبات أن يتحمل درجة حرارة (4 -) درجة مئوية دون أي ضرر إذا كانت فترة التعرض قصيرة بينما درجة حرارة (3-) درجة مئوية تلحق به أضراراً فادحة إذا كانت فترة التعرض أطول.

مما يعطينا صورة أوضح عن التأثير السلبي للصقيع على الأشجار والمزروعات بأنواعها وخاصة الصقيع الربيعي بسبب حدوثه في طور نمو البراعم الزهرية. [3]

وأي خلل في إنتاج المحاصيل الزراعية سوف يكون له تأثير ضار على الاقتصاد الوطني بما يؤدي ذلك إلى ارتفاع حاد في أسعار الثمار و الفواكه و تأثر الصادرات الزراعية مما يؤثر سلبا" في دخل المواطن.

ويمكن أن نتفادى عن طريق استخدام أفضل الطرق في مكافحة الصقيع (طريقة الترذيذ) خسائر مادية كبيرة تفوق بكثير كلفة استخدامها. [1,2,3]

أنواع الصقيع:

1- الصقيع الأسود:

وهو يحدث عندما تكون الرطوبة الجوية غير مرتفعة و نتيجة لتجمد الماء داخل الأزهار وتحوله إلى بلورات، ويحدث هذا الثلج أكبر الأضرار للنبات إذ يعمل على تمزق خلايا الزهرة وتلفها وموتها وتحولها إلى اللون الأسود ومن حسن الحظ أن هذا النوع من الصقيع يحدث غالباً في الشتاء عندما تكون الأشجار المثمرة في طور السكون وتتحمل درجات حرارة منخفضة.

2-الصقيع الأبيض:

المقصود به تجمد الندى الملامس لسطح النبات وتحوله إلى بلورات ثلجية. وتحدث هذه البلورات بعض الأضرار في أنسجة الأزهار الملامسة لها ويحدث عندما تكون الرطوبة الجوية عالية. والصقيع الربيعي أشد خطراً من الشتوي بسبب حدوثه في فترة النمو ويترافق موعد حدوث الصقيع الربيعي مع طور الأزهار للأشجار المثمرة أي بدءاً من أوائل آذار في المناطق الساحلية والجنوبية الغربية الدافئة وفي أواخر آذار وأوائل نيسان في السهول الوسطى .[1,2,3]

العوامل المؤثرة في تشكل الصقيع:

أ- طبوغرافية الأرض: يتعلق حدوث الصقيع بالشكل الطبوغرافي للحقل فهو يحدث في المنخفضات والوديان أكثر من المرتفعات مثلا" بسبب تحرك الهواء البارد وانحداره لهذه الوديان.

ب- الارتفاع عن سطح البحر: حيث تنقص الحرارة بمعدل 0.6 درجة مئوية كلما ارتفعنا مئة متر عن سطح البحر.

جـ- الغيوم: تزداد شدة الصقيع عندما تكون السماء صافية خالية من الغيوم فالغيوم الكثيفة التي تغطي السماء تقلل إلى حد بعيد من خطر الصقيع إذ تعيد قسماً من إشعاع الأرض إليها ثانية فتحفظ حرارة الأرض.

د- الرطوبة: عندما يتجمد بخار الماء الموجود في الجو يطلق قدراً من الحرارة تخفض من حدة الصقيع وأحياناً تحول دون حدوثه.

هـ- سرعة الرياح و الكتل الهوائية الباردة: تزيد الريح من عملية الخلط الميكانيكية للهواء بين الطبقات الباردة و الدافئة فيه مما يؤدي الى التخفيف من حدة الصقيع وخاصة الصقيع الربيعي.

و- حالة الأرض الفيزيائية والغطاء النباتي: أثبتت بعض التجارب التي أجريت في بريطانيا بأن طبقات الهواء فوق الأرض العشبية أكثر برودة من طبقات الهواء التي تعلوها لذلك ينصح بقص الأعشاب تحت الأشجار المثمرة ربيعاً للتقليل من خطر الصقيع.

النتائج والمناقشة:

طرق مكافحة الصقيع:

1- الطرق السلبية لمكافحة الصقيع:

وهي عبارة عن إجراءات وقائية تساعد على التخفيف من الصقيع و من شدته ومنها:

– اختيار الموقع إذ تؤثر شروط المكان المحلية والموقع بالنسبة للتضاريس في المنطقة وشكل الحقل الطبوغرافي على تغير شدة الصقيع وطبيعة حدوثه.

– انتقاء الأصناف المتأخرة من الأشجار والتي هي أقل تضرراً في الأماكن الأكثر عرضة للصقيع.

– الأعمال الزراعية إذ تتخذ بعض الإجراءات التي تسهل تصريف الهواء البارد كما يوصى بقص الأعشاب تحت الأشجار المثمرة وتسوية الأرض بعد الحراثة لتسهيل انتقال الحرارة من طبقات التربة العميقة وتقليم الأشجار على نحو يبتعد تاج الشجرة عن سطح الأرض قدر الإمكان وتوجه صفوف الأشجار حسب التضاريس على نحو يساعد على تصريف الهواء البارد.

2-الطرق الإيجابية لمكافحة الصقيع:

وهذه الطرق يلجأ إليها لمنع حدوث الصقيع أو للتقليل من أضراره شريطة أن تكون مدروسة إذ تكون الجدوى الاقتصادية لعملية مقاومة الصقيع إيجابية، وتقسم طرق مكافحة الصقيع الإيجابية إلى طريقتين:

- **الطريقة البيولوجية:**

– زيادة مقاومة الأشجار وذلك بتحسين شروطها الغذائية والمائية.

– تأخير النمو والإزهار ويتم ذلك باختيار أصول ذات نمو متأخر أو استعمال محاليل ذات أساس هرموني وتعالج الأزهار المتضررة بأحداث نمو للثمار بدون تلقيح مباشر للبويضة باستعمال بعض المركبات التي تدخل فيها أنواع خاصة من المواد الحامضية.

- **الطريقة الفيزيائية :** إذ تتضمن

أ–التغطية و استخدام البيوت البلاستيكية:

وتتم بتغطية النبات بالزجاج أو المواد البلاستيكية أو بالقش أو القماش أو التراب إذ تحد التغطية من فقد الحرارة بالإشعاع أو فقدها عن طريق تيارات الحمل وتعمل على هذا المبدأ البيوت الزجاجية البلاستيكية .

وتعتبر الكلفة التأسيسية للبيوت البلاستيكية مرتفعة وهي تحتاج الى الصيانة الدورية وقد تتعرض هذه البيوت للتخريب و العطب في حال تعرضها لرياح قوية أو أجواء عاصفة.

ب– التدخين بوساطة حرق مواد عضوية:

مثل حرق الإطارات و الفيول وبعض المواد العضوية والأعشاب حيث إن وجود ذرات الدخان يمنع تكون الصقيع. ومن أبرز سلبيات هذه الطريقة التكلفة المرتفعة للمواد أحيانا وصعوبة تأمينها باستمرار و تلوث البيئة المحيطة.

جـ– استخدام أجهزة التدفئة:

يتم ذلك بحرق الوقود السائل أو الصلب أو أية مواد أخرى قابلة للاشتعال ضمن أجهزة تدفئة صغيرة الحجم لسهولة توزيعها بين الأشجار، وترفع هذه الوسائل حرارة الهواء من درجتين إلى ثلاث درجات ، ومن أبرز سلبياتها ما تشكله من خطر حريق النباتات و الأشجار المثمرة المزروعة وتلوث للبيئة أيضا".

د- استخدام السخانات الكهربائية:

وتستخدم هذه الطريقة لتسخين التربة مما يؤدي إلى تشكل طبقة دافئة من الهواء ملامسة للتربة تنتقل بالحمل للأعلى وتستخدم عادة في حالة المزروعات و الشتلات الصغيرة.

سيئة هذه الطريقة هي استخدام الكهرباء لأغراض التدفئة و هي غير مجدية اقتصاديا".

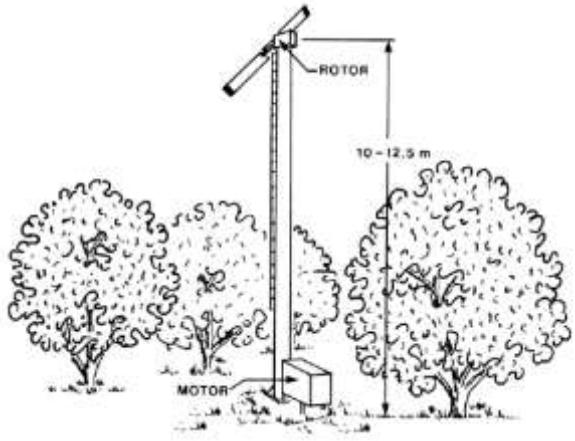
هـ- استخدام مواد عضوية أو هرمونات:

إذ يتم رش مواد عضوية أو هرمونية معينة على أزهار النبات وهي تسهم في تشكيل طبقة عازلة مع الجو المحيط وبالتالي حمايتها من الصقيع, ولكن هذه الطريقة لم تلق انتشارا" لخطرها على الصحة.

3- استخدام المراوح لتحريك الهواء:

وتتم بخلط الهواء البارد القريب من سطح الأرض مع الهواء الأكثر دفئاً المتوضع في الطبقات الأعلى و يتم اللجوء إلى مراوح برجية بارتفاع قد يصل إلى 10 أمتار و بقطر شفرات (4-2.5) متر وتدور من (1300-900) دورة في الساعة وتعد هذه الطريقة جيدة ولكنها تحتاج لتحقيق عدة شروط من اجل الوصول للفائدة المرجوة منها:

(أن يكون الحقل مستوياً – وأن يتم تشغيلها قبل حدوث الصقيع بنصف ساعة على الأقل). وتعتبر هذه الطريقة مكلفة من حيث الاستهلاك الكهربائي وتحتاج لصيانة دورية ومعظم الأشجار القريبة تتساقط أزهارها بسبب شدة سرعة الهواء الخارج من المروحة بينما الأشجار البعيدة عن المروحة قد لا يصلها الهواء بالسرعة الممكنة ، والشكل (1) يظهر إحدى هذه المراوح [4,5].



الشكل (1) يبين نموذج لإحدى المراوح المستخدمة لمكافحة الصقيع

طريقة الرذاذ المقترحة:

مبدأ هذه الطريقة يعتمد على ترذيذ الماء من أعلى الأشجار أو من أسفلها حيث إن فاعلية الرش من الأعلى أكثر من الرش من الأسفل، إذ يبدأ الرش فوق الأشجار في فترة انخفاض درجة حرارة الهواء إلى الصفر المئوي واقترابها من درجة الحرارة الحدية للنبات، ويقوم الرذاذ برفع درجة الحرارة حول الأشجار بحوالي (5-3) درجة مئوية.

كما يستخدم الري بالرذاذ لإطالة فترة السكون وذلك في الأيام التي يزيد معدل درجات الحرارة فيها عن الصفر المئوي في بداية الربيع ظهراً إذ تؤخر هذه العملية الإزهار من أسبوع إلى أربعة أسابيع.

وتزيد الفائدة من هذه الطريقة أكثر كلما اقتربنا من تحقيق الشروط التالية:

أ- كلما كان الرذاذ خفيفا" وقطر حباته صغيراً.

ب– كلما كان الرذاذ دافئاً بعض الشيء ويتم ذلك عن طريق سخان كهربائي صغير أو حتى باستخدام الطاقة الشمسية.

جـ– أن يشمل الرذاذ على أجزاء النبات كافة وخصوصا الأوراق و البراعم.

د– ألا يتم الرش إلا عند بلوغ درجة الحرارة الصفر المئوي أو أعلى من ذلك بقليل.

وتعتبر طريقة الرذاذ من أكثر الطرق اقتصادية، إذ يمكننا استعمال ماء الترذيذ وفق درجة حرارته من الشبكة الرئيسية أو من بئر أو خزان الماء بدون تسخينه أو رفع درجة حرارته، ولكن يمكننا أيضا" رفع درجة حرارته باستخدام وسائل اقتصادية ، كاستخدام الطاقة الشمسية (السخان الشمسي).

المفهوم الحراري و التيرموديناميكي لطريقة الترذيذ:

إن الدراسة الحرارية والتيرموديناميكة لهذه الطريقة تعتمد على بعض المفاهيم التيرموديناميكية الآتية:

(الرطوبة النسبية – درجة الحرارة الرطبة للهواء – درجة حرارة نقطة الندى – درجة الحرارة الحرجة للنبات)

تعرف درجة الحرارة الحرجة للنباتات بأنها درجة الحرارة التي تستطيع براعم الأزهار او الثمار أن تتحملها لمدة 30 دقيقة دون أن يصيبها أي ضرر أو تلف، وفيه يمكن أن يبدأ نظام عمل مكافحة الصقيع عند الاقتراب من هذه الدرجة.

والجدول (1) [9] يبين قيم درجات الحرارة الحرجة لبعض أزهار الثمار، إذ يوضح قيم حدية لدرجة الحرارة التي يمكن أن تقتل 10% من براعم الأزهار و قيم أخرى يمكن أن تؤدي لقتل 90% من البراعم [6,8].

الجدول (1) درجة الحرارة الحرجة لبعض الثمار

Critical temperature (T_c; °C) values for several deciduous fruit tree crops

CROP	STAGE	طور النبات	10% KILL	90% KILL
Apricots مشمش	Tip separates	إنفصال القمة	-4.3	-14.1
	Red calyx	قاعدة حمراء للزهرة	-6.2	-13.8
	First white	بداية التلون بالأبيض	9	-10.3
	First bloom	بداية الإزهار	3	-10.1
	Full bloom	إزهار كامل	9	-6.4
	In shuck	ظهور القشرة	-2.6	-4.7
	Green fruit	فاكهة خضراء	-2.3	-3.3
Cherries كرز	First swell	بداية الإنتفاخ	-11.1	-17.2
	Side green	بداية التلون بالأخضر	-5.8	-13.4
	Green tip	قمة خضراء	-3.7	-10.3
	Tight cluster	العنقود المغلق	-3.1	-7.9
	Open cluster	العنقود المفتوح	-2.7	-6.2
	First white	بداية التلون بالأبيض	-2.7	-4.9
	First bloom	بداية الإزهار	-2.8	-4.1
	Full bloom	إزهار كامل	-2.4	-3.9
	Post bloom	بعد الإزهار	-2.2	-3.6
Peaches خوخ	First swell	بداية الإنتفاخ	-7.4	-17.9
	Caylx green	التلون بالأخضر	-6.1	-15.7
	Caylx red	التلون بالأحمر	-4.8	-14.2
	First pink	بداية التلون	-4.1	-9.2
	First bloom	بداية الإزهار	-3.3	-5.9
	Late bloom	نهاية الإزهار	-2.7	-4.9
	Post bloom	بعد الإزهار	-2.5	-3.9

إن فاعلية هذه الطريقة تنحصر

في إنشاء شبكة ترذيذ مدروسة و طريقة تشغيل و إيقاف هذه الشبكة بشكل اتوماتيكي.. فمثلا عندما يرذذ الماء في الهواء الجوي وحول النباتات وتحت الشروط الجوية الجافة عندها سيحدث تبخير للماء المرذذ وهو ما يؤدي إلى استهلاك حرارة تؤخذ من الهواء. وتستمر هذه العملية حتى يصبح الهواء الجوي مشبعا" بالبخار وتنخفض درجة حرارة الهواء إلى درجة حرارة الهواء الرطبة وهذا ما يعرف بعملية التبريد بالبخار أو بالرذاذ ومن ثم يقوم الماء بإصدار الحرارة مرة أخرى باتجاه الهواء رافعا" درجة حرارته، وبالتالي هناك مرحلة قصيرة تنخفض فيها درجة حرارة الهواء قبل أن تعود للارتفاع مرة أخرى، لذا إن نظام الترذيذ بالماء يجب أن يعمل عندما تكون درجة حرارة الهواء الرطبة أعلى من درجة الحرارة الحرجة للنبات التي تسبب الصقيع للنبات. أما بالنسبة لدرجة حرارة نقطة الندى فهي لا تقاس إذ تحدد من المخطط السايكومتري. وتعتبر درجة حرارة نقطة الندى مهمة جدا في تحديد موعد تشغيل نظام الترذيذ. إذ يمكن الاستفادة من الجدول التالي لتحديد موعد تشغيل نظام الترذيذ وذلك بالاعتماد على درجة حرارة نقطة الندى و درجة حرارة الهواء الحرجة للنبات. [8]

الجدول (2) يبين درجة حرارة بدء تشغيل شبكة الترذيذ بالاعتماد على درجة الحرارة الحرجة ودرجة حرارة نقطة الندى

درجة حرارة بدء تشغيل نظام الترذيذ المستخدم لمكافحة الصقيع		
درجة الحرارة الجافة لبدء تشغيل نظام الترذيذ °C	مجال درجة حرارة نقطة الندى °C	درجة الحرارة الحرجة °C
7.2	-16.1 to -12.2	0
6.1	-12.2 to -8.8	
5.0	-8.8 to -6.1	
3.9	-6.1 to -4.4	
2.8	-4.4 to -2.2	
1.7	-2.2 to -0.6	
0.6	-0.6 to 0.0	
5.6	-17.8 to -12.8	-1.1
4.4	-12.8 to -9.4	
3.3	-9.4 to -6.7	
2.2	-6.7 to -4.4	
1.1	-4.4 to -2.8	
0	-2.8 to -1.1	
3.9	-17.8 to -13.3	-2.2
2.8	-13.3 to -10.0	
1.7	-10.0 to -7.2	
0.6	-7.2 to -5.0	
-0.6	-5.0 to -2.8	
-1.7	-2.8 to -2.2	
1.7	-17.8 to -12.2	-3.3
0.6	-12.2 to -8.8	
-0.6	-8.8 to -6.7	
-1.7	-6.7 to -4.4	
-2.7	-4.4 to -3.9	

أمثلة تطبيقية :

● إذا رغبنا بحماية محصول تفاح باستخدام نظام الترذيذ بالماء في أثناء مرحلة نمو البرعم Post Bloom (مرحلة مابعد الإزهار). إذ قيست درجة حرارة الهواء الجوي الجافة فكانت (6.1C°) ودرجة حرارة الهواء الرطبة (1.7C°) ، يراد تحديد درجة حرارة الهواء الخارجية المناسبة لبدء عمل شبكة الترذيذ.

باستخدام المخطط السايكومتري فإن درجة حرارة نقطة الندى هي (-5C°) ، ومن الجدول (3) اللاحق فإن درجة الحرارة الحرجة لطور ما بعد الإزهار هو (-1.9C°).

من المعطيات السابقة (درجة حرارة نقطة الندى – درجة الحرارة الحرجة) ومن الجدول (2) فإن نظام الترذيذ يجب أن يعمل عند درجة حرارة لا تقل عن (0.6C°)

وللأمان فإننا نضيف درجة مئوية كاملة لتصبح درجة الحرارة المطلوبة (1.6C°) وبالتالي يجب أن يعمل نظام الترذيذ عند هذه الدرجة.

الجدول (3) درجة الحرارة الحرجة لزهرة التفاح

Critical temperature (T_C; °C) values for several deciduous fruit tree crops			
CROP	STAGE	10% KILL	90% KILL
Apples	Silver tip	-11.9	-17.6
	Green tip	-7.5	-15.7
	1/2" green	-5.6	-11.7
	Tight cluster	-3.9	-7.9
	First pink	-2.8	-5.9
	Full pink	-2.7	-4.6
	First bloom	-2.3	-3.9
	Full bloom	-2.9	-4.7
	Post bloom	-1.9	-3.0

● إذا رغبنا بحماية محصول تفاح باستخدام نظام الترذيذ بالماء ومرحلة نمو البراعم هي First bloom (مرحلة بداية الإزهار). مع العلم أن درجة حرارة الهواء الجوي الجافة هي (-1.5C°) ,والرطوبة النسبية (92%)ويراد تحديد درجة حرارة الهواء الخارجية المناسبة لبدء عمل شبكة الترذيذ. [9]

بالطريقة السابقة نفسها نستنتج من قيمة درجة الحرارة الجافة و الرطوبة النسبية قيمة درجة حرارة نقطة الندى باستخدام المخطط السايكومتري نجد أن قيمة درجة حرارة نقطة الندى هي ($-2.5C^o$) ومن الجدول (3) نجد أن درجة الحرارة الحرجة لهذا الطور($-2.3C^o$)، ومن الجدول (2) فإن نظام الترذيذ يجب أن يعمل عند درجة حرارة لا تقل عن (-1.7C°) ، وللأمان فإننا نضيف درجة مئوية كاملة لتصبح درجة الحرارة المطلوبة (-0.7C°) وبالتالي يجب أن يعمل نظام الترذيذ عندما تنخفض درجة حرارة الهواء إلى (-0.7C°) ونلاحظ بالتالي إن شبكة الترذيذ سوف تعمل وفق المعطيات المناخية السابقة لأن درجة الحرارة المسجلة (-1.5C°) أقل من (-0.7C°).

وجدنا سابقا" أن حساباتنا لبدء عمل شبكة الترذيذ تعتمد على المعطيات المناخية المتوقعة (درجة الحرارة الجافة أو الرطبة أو الرطوبة النسبية) وعلى استخدام المخطط السايكومتري و لتجنب مشكلة التوقع و الاستعانة بالمخطط السايكومتري

فإنه يمكننا معرفة درجة الحرارة في ليالي الصقيع بالطريقة التالية [9]:

يجب علينا في البداية قياس درجة الحرارة الجافة (t_o) في التوقيت الذي يلي غروب الشمس بساعتين (ؤ) ويمكن ذلك بقياسها بوساطة مقاييس الحرارة المناسبة.

ثم نقوم بالحصول على درجة الحرارة الجافة (t_p) التي تسبق شروق الشمس مباشرة في الصباح (τ_p) الذي يلي ليلة الصقيع وذلك من قبل المراصد أو النشرات الجوية أو بوساطة طريقة Allen التي سنشرحها لاحقا".[9]

عندها يتم الحصول على قيمة ثابتة (b') من العلاقة:

$$b' = \frac{t_p - t_o}{\sqrt{h}} \qquad (1)$$

t_o : درجة الحرارة الجافة المأخوذة بعد ساعتين من الغروب في التوقيت τ_o (C^o).

t_p :درجة الحرارة الجافة المتوقعة قبل شروق شمس الصباح التالي عند τ_p (C^o).

h :المدة الزمنية بالساعة بين التوقيتين السابقين ويعطى بالعلاقة:

$$h = (24 - \tau_o) + \tau_p \qquad (2)$$

إذ تحدد قيم (τ_p)،(τ_o) وفق نظام التوقيت 24 .

مثلا": الساعة 6:00 مساء توضع 18:00مساء.

بعد ذلك يمكننا تحديد درجة الحرارة الجافة (t_i) في أي وقت من هذه الليلة بدءا" من الساعتين التاليتين لغروب الشمس حتى موعد شروق شمس الصباح التالي من العلاقة التالية:

$$t_i = t_o + b'\sqrt{\tau_i} \qquad (3)$$

t_i : درجة الحرارة الجافة عند وقت محدد من الليلة المتوقع حدوث الصقيع فيها(C^o).

τ_i : المدة الزمنية بين توقيت أخذ درجة الحرارة (t_i) و τ_o.

وهكذا نجد انه تمكنا من حساب درجة الحرارة الجافة (T_i) إنطلاقا" من درجتي الحرارة (t_p) و (t_o).

لتحديد درجة حرارة نقطة الندى عند (τ_i) يجب تحديد بارامتر آخر غير (t_i)، ولتكن درجة الحرارة الرطبة (t_{wi}).

وحسب منشورات منظمة الفاو العالمية فإنه يمكن الحصول على درجة الحرارة الرطبة بدقة مقبولة انطلاقا" من درجة حرارة نقطة الندى (t_{do})عند التوقيت (τ_o) بعد غروب الشمس بساعتين.

ومن التجارب الكثيرة تم إثبات ان درجة حرارة نقطة الندى تظل ثابتة تقريبا" وتساوي قيمة درجة حرارة نقطة الندى البدائية (t_{do})عند التوقيت (τ_o).

طالما أن درجة الحرارة الجافة (t_o) أكبر من (t_{do}) وفي حال الشرط الأخير لم يتحقق أي ان (t_o) < (t_{do}) فإنه يمكن إعتبار درجة حرارة نقطة الندى طوال تلك الليلة مساويا" لـ (t_o).

تتحدد درجة الحرارة الرطبة بالعلاقة:

$$t_{wi} = t_i - \left(\frac{es - ed}{\Delta + \gamma}\right) \qquad (4)$$

t_{wi} : درجة الحرارة الرطبة (C^o).

t_i : درجة الحرارة الجافة (C^o).

es : الضغط الجزئي للبخار المشبع عند درجة حرارة الهواء الجافة (Kpa).

ed : ضغط الجزئي للبخار المشبع عند درجة حرارة نقطة الندى (Kpa).

Δ : ثابت البخار المشبع عند درجة حرارة الهواء (Kpa/C^o).

γ : ثابت المخطط السايكومتري (Kpa/C^o).

وتعطى قيم الثابتين الأخيرين بالعلاقة:

$$\Delta = \frac{4098.es}{(t_i + 237.3)^2} \qquad (5)$$

$$\gamma = 0.00163\frac{P_B}{\lambda} \qquad (6)$$

P_B : الضغط البارومتري (Kpa).

λ :الحرارة الكامنة للتبخير (MJ/Kg).

إذ تعطى بالعلاقة التالية:

$$\lambda = 2.501 - 2.361\times10^{-3}.t_i \quad (7)$$

تعطى قيمة ضغط البخار المشبع (ed) عند درجة حرارة نقطة الندى بواحدة (Kpa) بالعلاقة:

$$ed = 0.6108.\exp\left(\frac{17.27t_d}{t_d + 237.3}\right) \qquad (8)$$

t_d : درجة حرارة نقطة الندى في الوقت المطلوب (C^o) وقيمتها تستنتج حسب الملاحظة السابقة.

أما قيمة ضغط البخار المشبع (es) عند درجة حرارة الهواء الجافة بواحدة (Kpa) بالعلاقة:

$$es = 0.6108.\exp\left(\frac{17.27t_i}{t_i + 237.3}\right) \qquad (9)$$

t_i : درجة الحرارة الجافة في الوقت المطلوب (C^o) . [9]

أما قيمة الضغط البارومتري المتعلق بارتفاع المنطقة المدروسة فتعطى بالعلاقة:

$$P_B = 101.3\left[\frac{293 - 0.0065E_L}{293}\right]^{5.26} \qquad (10)$$

E_L : ارتفاع المنطقة المدروسة عن سطح البحر (m).

من خلال حل هذه المعادلات نحصل على البارامترين المطلوبين وهما درجة الحرارة الجافة (t_i) ودرجة الحرارة الرطبة (t_{wi}).

ثم نستنتج قيمة درجة حرارة نقطة الندى المصححة من العلاقة:

$$td = 237.3(\frac{b}{1-b}) \qquad (11)$$

تحدد قيمة الثابت (b) من العلاقة:

$$b = \frac{\ln(e / 0.6108)}{17.27} \qquad (12)$$

حيث (e): قيمة ضغط بخار الماء وتعطى بالعلاقة التالية:

$$e = ew - 0.000660(1 + 0.00115T_{wi})(t_i - t_{wi})P_B \qquad (13)$$

حيث (ew) ضغط البخار المشبع عند درجة الحرارة الرطبة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$ew = 0.6108.\exp\left(\frac{17.27t_{wi}}{t_{wi} + 237.3}\right) \qquad (14)$$

بعد إيجاد قيمة (t_d) نستعين بالجدول (2) وبقيمة درجة الحرارة الحرجة للنبات مستخرجين منه درجة الحرارة التي يجب تشغيل رشاشات المياه فيها.

ويمكن من القيم السابقة استنتاج بعض القيم الترموديناميكة الأخرى مثل الرطوبة النسبية التي تعطى بالعلاقة التالية:

$$RH = 100 \times (\frac{e}{es}) \qquad (15)$$

• نبين في الجدول (4) بارامترات الهواء في الساعة (t_i=14.00h) مساء وذلك اعتمادا" على البارامترات الناتجة باستخدام العلاقات السابقة والمبينة بالجدول اللاحق باعتبار (τ_o=21.06h) (t_o=5C^o) (t_{do}=-10C^o) (τ_p=6.05h) صباحا"،(t_p=-7C^o)، حيث أن إرتفاع المنطقة المدروسة هو 1400 متر فوق سطح البحر .

الجدول (4) يبين قيم البارامترات الواردة سابقا"

t_{dp}	h	t_{di}	b`	b	e	e_s
-10	8.99	-10	-4.002	-0.043	0.289	0.458
e_d	P_B	λ	e_w	Δ	γ	
0.286	85.809	2.510	0.396	0.034	0.055	

حيث t_{dp} درجة حرارة نقطة الندى قبل شروق شمس الصباح التالي

ومنه نجد قيم بارامترات الهواء عند الساعة الثانية مساء".

t_i=-3.9C^o t_{wi}=-5.8C^o t_d=-9.8C^o RH=63%

<u>أما طريقة (ALLEN) لتحديد درجة الحرارة (t_p) [9]:</u>

فهي طريقة تجريبية اعتمدت في توصيات منظمة الفاو تعتمد هذه الطريقة على تدوين المعلومات المناخية لـ 50 ليلة صقيع للمنطقة المراد دراستها وهذه المعلومات هي درجة الحرارة بعد غياب الشمس بساعتين ودرجة الحرارة عند التوقيت المطلوب توقع الحرارة عنده وفي حالتنا هي درجة الحرارة التي تسبق شروق الشمس مباشرة.

ولكن من شروط ليالي الصقيع المأخوذة مايلي:

- صقيع إشعاعي ربيعي.
- سماء صافية.
- هدوء الرياح (يمكن أخذ الليالي التي تكون سرعة الرياح لا تتجاوز 2 m/sec).

ويضاف عامل آخر غير درجتي الحرارة السابقتين وهو درجة حرارة نقطة الندى بعد غياب الشمس بساعتين في ليلة الصقيع المأخوذة وذلك للحصول على نتائج أكثر دقة ولكن يكتفى بالكثير من الحالات ببارامترين تفاديا" لتعقيد الطريقة.

بعد أخذ سجلات درجة الحرارة المأخوذة في ليالي الصقيع عند التوقيت المطلوب توقعه (قبل شروق شمس الصباح التالي مباشرة) (t_n) و درجة الحرارة بعد غياب الشمس بساعتين (t_o).

ثم يتم أخذ البارامترين السابقين في كل ليلة وتحديدهما على مخطط يكون فيه محور السينات (x) هو محور درجة الحرارة (t_o) ومحور العينات (y) هو محور درجة الحرارة (t_n).

بعدها يتم الوصل الخطي بين أكبر عدد من النقاط وبشكل متوسط ومن ثم يتم حساب ميل هذا الخط واستنتاج المعادلة الناظمة له. بعد ذلك:

نقوم بتعويض قيمة درجة الحرارة المقاسة بعد غياب الشمس بساعتين في الليلة التي نريد توقع حدوث الصقيع فيها لنحصل على درجة الحرارة المطلوبة.

مثال تطبيقي:

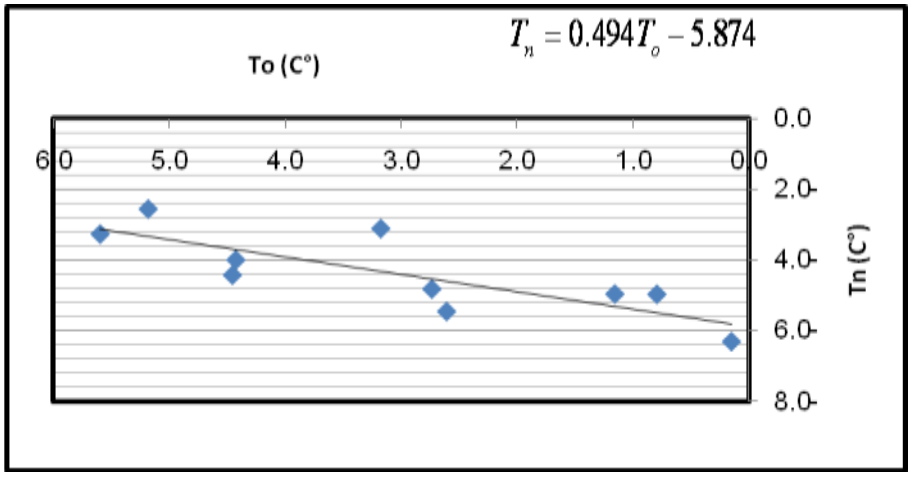
لتكن لدينا قيم درجات الحرارة (t_n,t_o) التالية لـ 10 ليالي مبينة في الجدول (5):

الجدول (5) يبين قيم درجات الحرارة to، tn

t_o (C^o)	3.2	0.8	0.2	2.6	4.4	5.2	2.7	1.2	4.5	5.6
t_n (C^o)	-3.1	-5	-6.3	-5.4	-4	-2.5	-4.8	-5	-4.4	-3.3

نقوم بتمثيل النقاط السابقة على مخطط (t_o, t_n) = (x,y)

ونقوم بالوصل بين النقاط بشكل خطي بحيث يكون مارا بالقرب بأكبر عدد من النقاط:



الشكل (2) العلاقة الخطية بين (to و tn)

من القيم السابقة نستنتج المعادلة الناظمة التالية [9]

$$t_n = 0.494t_o - 5.874 \qquad (16)$$

يتم تعويض (t_n) بـ (t_p) ونحصل على قيمة الأخيرة بتعويض قيم (t_o) في المعادلة التي تصبح على الشكل التالي:

$$t_p = 0.494t_o - 5.874 \qquad (17)$$

والآن يكفي تعيين قيمة الحرارة بعد غياب الشمس بساعتين (t_o) لنحصل على قيمة درجة الحرارة في صباح اليوم التالي (t_p).

فمثلا" تم قياس قيمة (t_o) وكانت ($5C^o$) فتكون قيمة (tp) :($-3.4C^o$).

<u>الأجزاء الرئيسية لشبكة الترذيذ:</u>

يبين الشكل (3) شبكة الترذيذ المقترحة و مكوناتها و المستخدمة في حقل مزروع بالتفاح

شبكة الأنابيب و المضخة.

ومن خلال الدراسة الهيدروليكية لشبكة الأنابيب في حقل التفاح المدروس والمكونة من 25 مرش ماء وبغزارة للرشاش الواحد قدرها 0.265 m^3/h فإن قيمة الغزارة على الخط الرئيسي للشبكة الموصول مع المضخة هي 6.6 m^3/hتقريبا".

ويكون حجم الخزان اللازم[10]

$$V = Q \times \tau \qquad (20)$$

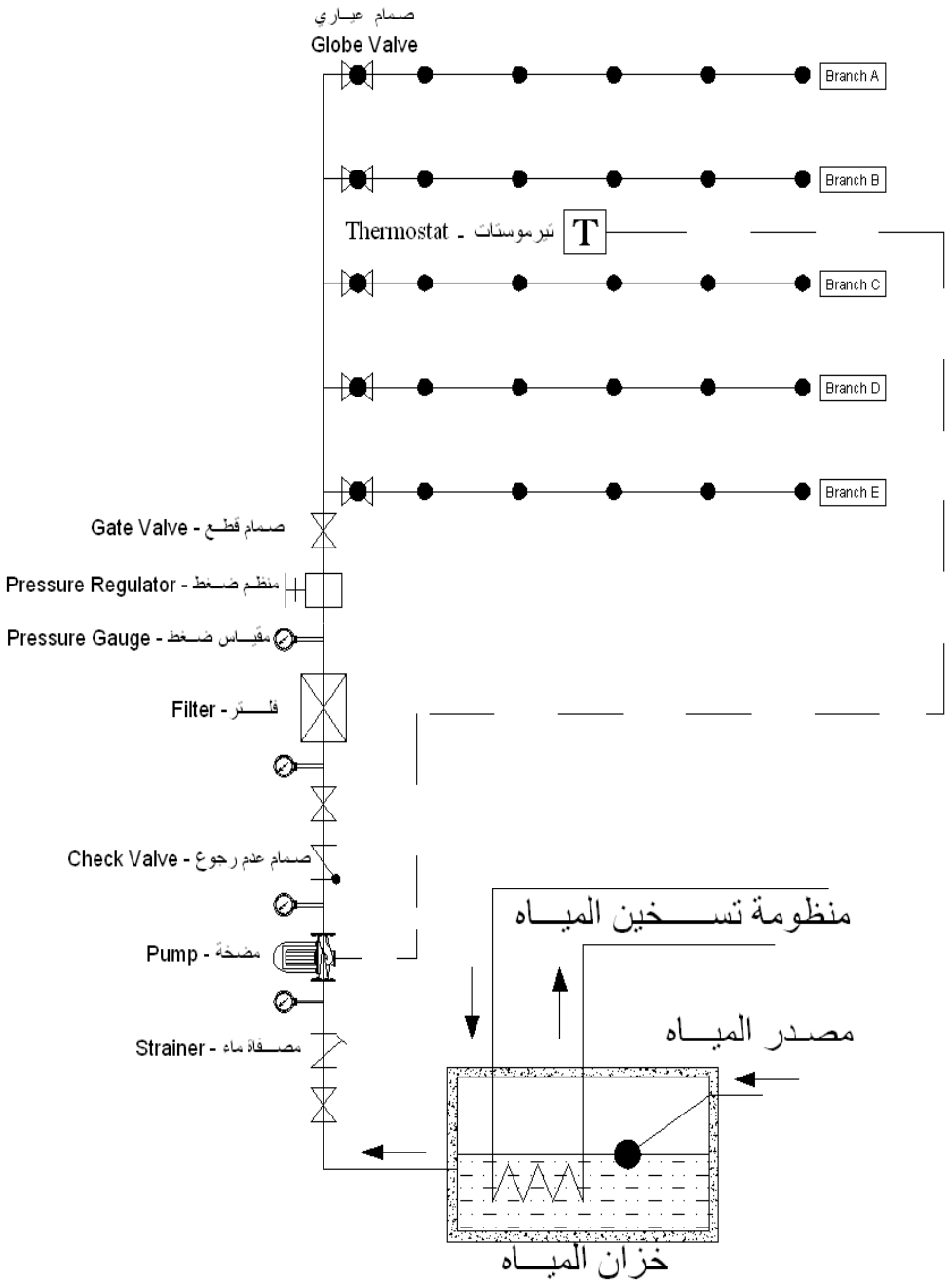
V: حجم الخزان (m^3).

Q: الغزارة الكلية المطلوبة بالساعة (m^3/hr).

τ: ساعات التشغيل ولتكن ثلاث ساعات $(1hr)$.

$$V = 6.6 \times 3 \approx 20(m^3)$$

و تجدر الإشارة إلى أن الأنابيب تحمل عادة على محامل خشبية أو بلاستيكية أو معدنية وتركب بأعلى الأنبوب الرشاشات المزودة بالفالات ويكون ارتفاع هذه الحوامل عادة بما يتناسب مع ارتفاع النباتات المراد حمايتها من الصقيع على نحو تؤمن حماية كاملة لها والشكل (4) يوضح طريقة تركيب هذه الأنابيب و الحوامل.



الشكل (3) الأجزاء الرئيسية لشبكة التزنيذ

الشكل (4) توضع الحمالات والأنابيب

مثال تطبيقي: بفرض لدينا في حقل تفاح 25 رشاش و غزارة الرشاش $0.265m^3/h$ وضغط التشغيل له 1.5bar ومع اعتبار السرعة الوسطية مابين (0.6 - 1.5 m/sec)

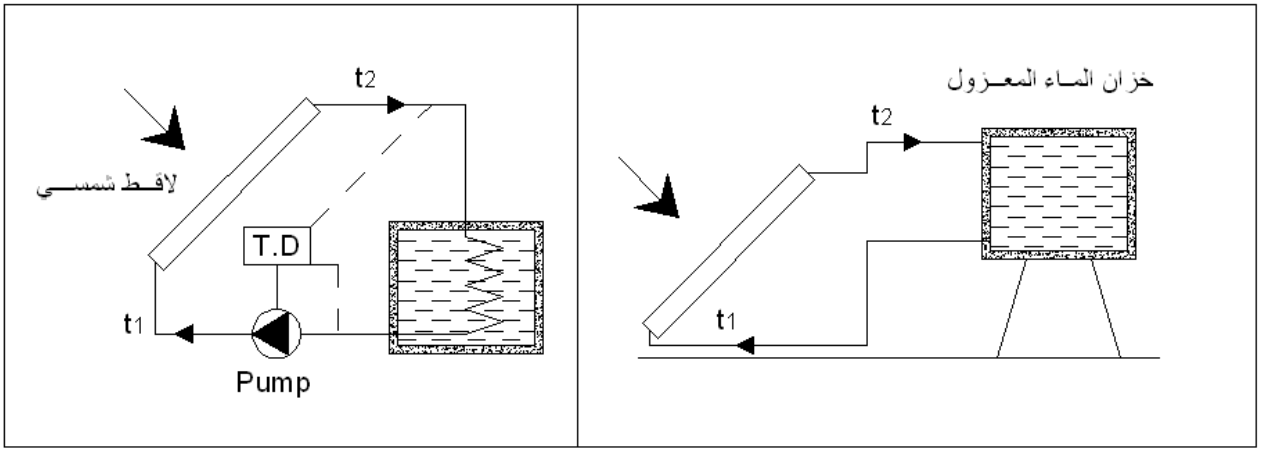
وبالاعتماد على الجداول الخاصة بأنابيب البولي إيتيلين المستخدمة والتي تربط بين (الغزارة – سرعة الجريان – انخفاض الضغط – قياس الأنبوب). تم حساب أقطار الشبكة اللازمة وضياعات الضغط فيها ، وبحساب ضغط التشغيل الواجب أن تعطيه المضخة (آخذين بالإعتبار ضغط التشغيل للرشاش و الدارة الأسوأ)

بالتالي نختار مضخة طاردة مركزية وفق المواصفات التالية:

الغزارة	الضاغط
$6.625m^3/h$	27.5m.w

ويمكن زيادة فعالية طريقة الترذيذ باستخدام منظومة تسخين المياه (منظومة الطاقة الشمسية):

إن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية دون استعمال وسائط تركيز لأشعة الشمس تتم بوساطة مجمعات مستوية تثبت بوضع مائل بزاوية قدرها (45^o) باتجاه الجنوب وبهذه الطريقة نحصل على درجات حرارة دون ($100C^o$) وهي مناسبة لأغراض الحصول على الماء الدافئ أو الساخن. وتعتبر طريقة الحصول على الماء الدافئ في منظومتنا (شبكة الترذيذ) بوساطة الطاقة الشمسية طريقة داعمة بغرض التوفير إذ لا يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية في أثناء حدوث الصقيع في الليل أو الصباح الباكر ، و إنما يتم تسخين الماء في الخزان المعزول حراريا" نهارا" في أثناء سطوع الشمس لتعمل منظومة الطاقة الشمسية ليلا" مع مصدر حراري آخر كالسخان الكهربائي. نستخدم في منظومة الطاقة الشمسية مجمعات (لواقط) شمسية مستوية مع أو دون مضخة تسريع بالإضافة إلى الخزان المعزول حراريا". في حال تم الاستغناء عن المضخة و الاعتماد على حركة الماء التثاقلية فيجب ان يكون الخزان بمستوى أعلى من اللواقط وأن يتم الاستغناء عن وشيعة التبادل الحراري داخل الخزان لأنها تولد انخفاض ضغط لا يمكن تجاوزه الا بوساطة المضخة و الشكل (5) يوضح ذلك:



الشكل (5) توصيل الخزان الحراري مع اللواقط الشمسية

هنا تعمل المضخة في أثناء سطوع الشمس بواسطة تيرموستات تفاضلي (T.D) وهي تستمر بالعمل طالما ان درجة حرارة الماء الراجع إلى اللاقط (t_1) أصغر من درجة حرارة الماء الخارج من اللاقط باتجاه الخزان الحراري (t_2).

- **مؤشرات عمل النظام المقترح:**

لتحديد الزيادة في درجة حرارة الهواء المحيط نتيجة استخدام نظام الترذيذ بالماء يجب علينا تحديد قيمة معدل كمية المياه المستخدمة للترذيذ (AR) **(Application Rates)**. [8,11]

وهو يعبر عن عمق المياه المطبقة على مساحة معينة من الحقل، أي عمق المياه المطبقة على المجال التي يقوم الرشاش بتغطيته في عملية الترذيذ. ويعطى بالعلاقة التالية:

$$AR = \frac{Q \times 2446}{A} \qquad (21)$$

AR: معدل عمق كمية المياه المستخدمة (mm/hr).

Q : تدفق الماء المرذذ في الرشاش الواحد ($0.265 m^3/h$ =1.17 g.p.m).

A: المساحة التي يقوم الرشاش بترذيذها ($feet^2$).(بأخذ رشاش مساحة تغطيته $1024\ feet^2$).

$$AR = \frac{1.17 \times 2446}{1024} \approx 3(mm/hr)$$

وحسب الجدول (6) [8] وتبعا" لقيمة AR نستنتج قيمة الازدياد في درجة حرارة الهواء المحيط وهي ($5C^o$).

الجدول (6) درجة الحماية العظمى التي نحصل عليها بالترذيذ تبعا" لقيم AR.

Maximum Degree of Protection That May be Obtained by Irrigation		
	Application Rate AR	Protection
Undertree sprinkling ترذيذ أسفل الأشجار	2.25 mm/hr. 4.5 mm/hr.	up to 2.2°C up to 2.8°C
Overtree sprinkling ترذيذ فوق الأشجار	2.75 mm/hr. 4.0 mm/hr.	up to 4.4°C up to 6.7°C

يلاحظ من خلال استخدام طريقة الترذيذ أنه تم رفع درجة حرارة الوسط المحيط بالأشجار من (3-5) درجات مئوية على الأقل ، أما طريقة تشغيل و إيقاف الشبكة المستخدمة يتم توضيحه وفق الجدول اللاحق(7) والذي يحوي العمود الأول منه على تسلسل أيام شهر آذار اما العمود الثاني فهو يحوي على قيم درجات الحرارة الجافة الصغرى المسجلة في شهر آذار من عام 2008 بمحطة الأرصاد الجوية بسرغايا وذلك لدراسة شبكة ترذيذ لحقل مزروع بأشجار التفاح . اما العمود الثالث فهو قيم الرطوبة النسبية ويمكن استنتاج قيم الأخيرتين بوساطة المعادلات السابقة (1إلى 15). ونحصل باستخدام نفس هذه المعادلات على قيم درجة حرارة نقطة الندى الواردة في العمود الرابع ويمكن الحصول عليها أيضا" باستخدام المخططات السايكومترية. أما العمود الخامس فهي درجة الحرارة الحرجة لأشجار التفاح

(بطور Post Bloom) المزروعة في الحقل المدروس (درجة الحرارة الحرجة لهذا الطور حسب الجدول (3)

هي : $2C^o$-). العمود السادس يوضح درجة حرارة التي يجب أن تعمل عليها المنظومة (بدء عمل المنظومة) وتم الشرح سابقا" في هذا البحث كيفية تحديدها. أما العمود الأخير فهو قيم درجات الحرارة الجافة بعد إستخدام منظومة الترذيذ وذلك بزيادة قدرها ($5C^o$) حسب الرشاشات و الغزارات المستخدمة.

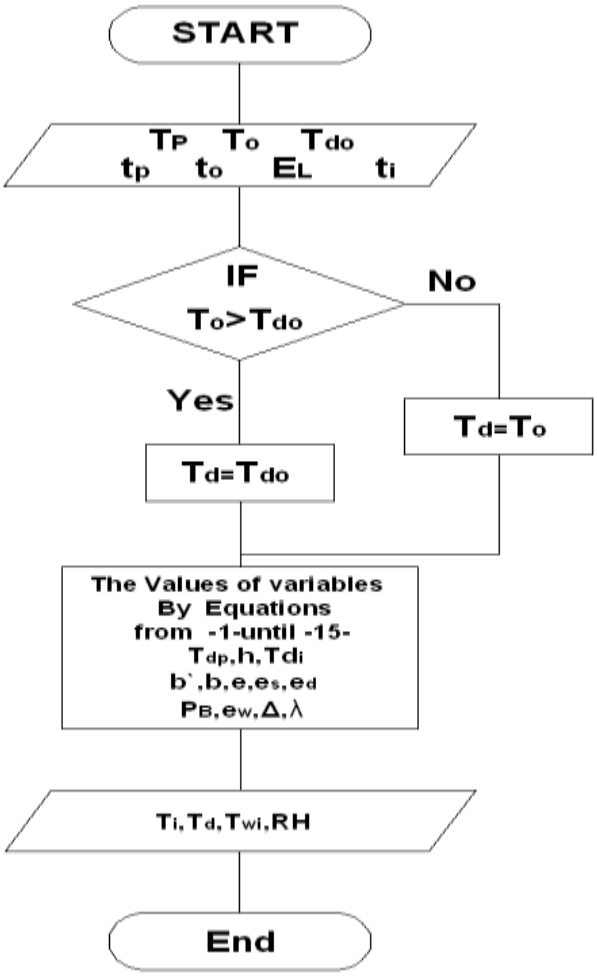
الجدول (7) النتائج وقيم البارامترات المطلوبة لعمل النظام المقترح

شهر آذار 2009 اليوم	درجة الحرارة الجافة الصغرى C°	الرطوبة النسبية %	درجة حرارة نقطة الندى C°	درجة الحرارة الحرجة C°	درجة حرارة التي يجب أن تعمل عليها المنظومة مع إضافة درجة مئوية واحدة كعامل أمان C°		حالة المنظومة	درجة الحرارة الجافة بعد استخدام منظومة الترذيذ C°
1	-3.6	97	-4	-2	-0.6	0.4	تعمل	1.4
2	-3.8	95	-4.4	-2	-0.6	0.4	تعمل	1.2
3	-0.7	96	-1.2	-2	-1.7	-0.7	تعمل	4.3
4	-0.5	97	-0.9	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
5	-1.5	92	-2.5	-2	-1.7	-0.7	تعمل	3.5
6	4.4	77	0.7	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
7	2.2	75	-1.6	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
8	8.8	72	4	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
9	2.5	82	-0.2	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
10	-0.4	97	-0.8	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
11	-1	96	-1.5	-2	-1.7	-0.7	تعمل	4
12	-0.7	90	-2	-2	-1.7	-0.7	تعمل	4.3
13	1.4	80	-1.5	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
14	1.8	94	0.9	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
15	1	94	0.1	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
16	-3.4	83	-5.6	-2	0.6	1.6	تعمل	1.6
17	-5.8	83	-7.9	-2	1.7	2.7	تعمل	-0.8
18	1.2	80	-1.6	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
19	-3.8	84	-5.8	-2	0.6	1.6	تعمل	1.2
20	1.3	95	0.6	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
21	-1	95	-1.6	-2	-1.7	-0.7	تعمل	–
22	-3.8	83	-6	-2	-0.6	0.4	تعمل	1.2
23	1	96	0.4	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
24	0	96	-0.5	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
25	-1	93	-1.9	-2	-1.7	-0.7	تعمل	4
26	-2.8	94	-3.5	-2	-0.6	0.4	تعمل	2.2
27	-1.6	96	-2.1	-2	-1.7	-0.7	تعمل	3.4
28	0.3	96	-0.2	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–
29	-1	90	-2.3	-2	-1.7	-0.7	تعمل	4

30	-1.7	92	-2.7	-2	-1.7	-0.7	تعمل	3.3
31	0	85	-2	-2	-1.7	-0.7	لا تعمل	–

خوارزمية طريقة الحل:

من أجل تسهيل استخدام طريقة الترذيذ يمكن الاستعانة ببرنامج حاسوبي يعتمد على الخوارزمية التالية والموضحة بالشكل (6) إذ يسمح البنامج بتحديد قيم ti,td,twi و الرطوبة النسبية RH لمعرفة درجة حرارة بدء التشغيل النظام المقترح و تجنب حدوث الصقيع كما في الجدول (7).



الشكل (6) يبين خوارزمية البرنامج المستخدم

الاستنتاجات والتوصيات:

- ☒ إن هذه الطريقة صديقة للبيئة و لا تسبب أي ضرر على المزروعات.
- ☒ لا تحتاج إلى فني مختص فهي بسيطة في تصميمها وعمليات استثمارها.

- ☒ يمكن استخدام شبكات الري نفسها كشبكات للترذيذ بإضافة بعض الوصلات الخاصة مما يقلل من كلفة إنشائها.
- ☒ كلفة تشغيل هذه الطريقة منخفضة مقارنة بالطرق الأخرى التي تعتمد على الاستهلاك الكهربائي أو أستهلاك الوقود.
- ☒ تعتبر هذه الطريقة مناسبة جدا" وأكثر اقتصادية في حالة الحقول الكبيرة نسبيا".
- ☒ سهولة تأمين مصدر مائي مستمر لها و خاصة انها تستخدم في المناطق الزراعية.

المراجع:

[1] : مكتبة شبكة المعرفة الريفية ،الصقيع التنبؤ بحدوثه ومقاومته .
http://www.reefnet.gov.sy/reef/index.php?option=com_content&view=article&id=372&Itemid=429

[2] : الصقيع وأنواعه وكيفية وقاية النبات من أخطاره : منتدى الخيرات الزراعية
http://www.alkherat.com/vb/showthread.php?s=823a55f55cf94f4648b68235c508c4cb&t=1774

[3] : مجلة الزراعة ، وزارة الزراعة السورية ، العدد الخامس و العشرون ، 2008 ، ص 22.

[4] : م. أمينة حج قنبر ، شجرة التفاح (كيف نعتني بها من الزراعة وحتى تخزين الثمار)، ، شبكة المعرفة الريفية، http://www.reefnet.gov.sy/agri/Apple_Tree.htm

[5] : موسوعة ويكيبيديا العالمية ،الصقيع.
http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%82%D9%8A%D8%B9

[6] : د.م مروان شرباتي، هندسة التدفئة و التكييف ، جامعة دمشق ، كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية (2002-2003) دمشق .

[7] : د.م مفيد هلال ،الترموديناميك التكنيكي، جامعة دمشق ، كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية (1990-1991) دمشق.

[8]: TED W, V. *B.C. frost protection guide*. Irrigation Industry Association of British Columbia , U.K,1988 , 49P.

[9] : Snyder ,R.; J. Paulo de Melo-Abreu, *frost protection: fundamentals, practice, and economics* . FAO,2004,8 Chapters.

[10] :المؤسسة العامة للتعليم،الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج ،الإنتاج النباتي (أنظمة الري والصرف) ، المملكة العربية السعودية، 2004، عدد الصفحات 52.

[11] : Rowan, M.; Mancl, K. ; Caldwell ,H., - *on-site sprinkler irrigation of treated wastewater in ohio*. Ohio State University,USA, 2004,40P.

[12] : د.م رضوان عبد الغني المصري ،التدفئة و تكييف الهواء ، جامعة البعث ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية (2002) حمص.