

## Research Article

## Powdery mildew disease forecasting for apple orchards based on Internet of Things technology

Bahareh Jamshidi<sup>✉1</sup>, Hossein Khabbaz Jolfaei<sup>2</sup>



- <sup>1</sup> Smart Agricultural Research department, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
- <sup>2</sup> Plant Diseases Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

**Corresponding author**

<sup>✉</sup>b.jamshidi@areeo.ac.ir

**Abstract****Keyword**

Disease control, LoRa protocol, *Podosphaera leucotricha*, Smart agriculture, Wireless sensor network

Apple powdery mildew disease is one of the most important apple diseases which reduce crop yield and quality. Forecasting is one of the basic measures to control this disease. The aim of this research was to forecast powdery mildew disease in apple orchard based on Internet of Things technology and to investigate the possibility of controlling the disease based on smart solutions of this technology with on-line monitoring of environmental data. To this end, the architecture of the Internet of Things was considered as four layers including perception layer, transport layer, processing layer, and application layer. Environmental data in an apple orchard located in Tehran province (Damavand city) was collected on-line with wireless temperature and humidity sensors and sent to gateway through LoRa radio protocol. To determine forecasting algorithms of powdery mildew in the system, a field experiment was conducted in the form of randomized complete block design with seven treatments and each treatment in four replications. The results showed that treatment 1 in which trees were sprayed three times based on the environmental data (first spraying: at 10°C and 70% humidity, second spraying: at 15°C and 70% humidity, third spraying: at 20°C and 50% humidity) had the lowest percentage of disease severity and incidence in terms of numerical value. Then, the lowest percentage of severity and incidence of the disease was related to treatment four with two sprayings (first spraying: at 10°C and 70% humidity, second spraying: at 20°C and 50% humidity). The efficiency of treatments one and four for controlling the severity of the disease was 79.64% and 76.42%, respectively. To reduce the consumption of pesticides and its adverse effects on the health of consumers and the environment, these two spraying times were considered as the forecasting algorithm of powdery mildew disease in the designed system. The use of this system can help to effectively control powdery mildew disease in apple orchards and will lead to an increase in yield and the production of better-quality apples.

**Received:** 21 January 2024

**Revised:** 5 April 2024

**Accepted:** 5 May 2024

**Available online:** 19 February 2025

**How to cite:**

Jamshidi B, Khabbaz Jolfaei H, 2024. Powdery mildew disease forecasting for apple orchards based on Internet of Things technology. *Appl Res Plant Prot* 13 (4): 347–358.  
<https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2024.18012>



Copyright© 2023 University of Tabriz, Published by the University of Tabriz.

This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

## پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری برای باغ‌های سیب بر پایه فناوری اینترنت اشیا<sup>۱</sup> بهاره جمشیدی<sup>۱\*</sup>، حسین خباز جلفائی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> بخش تحقیقات هوشمندسازی کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
<sup>۲</sup> بخش تحقیقات بیماری‌های گیاهی، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

نویسنده مسئول: b.jamshidi@areeo.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

### چکیده

بیماری سفیدک پودری سیب یکی از مهم‌ترین بیماری‌های سیب است که باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود. پیش‌آگاهی یکی از اقدامات اساسی برای کنترل این بیماری است. هدف از این پژوهش، پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری در باغ سیب بر پایه فناوری اینترنت اشیا و بررسی امکان کنترل این بیماری بر اساس راه‌حل‌های هوشمند این فناوری با پایش برخط داده‌های محیطی بود. برای این منظور، معماری اینترنت اشیا به صورت چهارلایه شامل لایه ادراک، لایه انتقال، لایه پردازش و لایه کاربرد در نظر گرفته شد. داده‌های محیطی در یک باغ سیب واقع در استان تهران (شهرستان دماوند) با حسگرهای بی‌سیم دما و رطوبت نسبی هوا به صورت برخط جمع‌آوری و از طریق پروتکل رادیویی لورا به گیت‌وی ارسال شد. به منظور تعیین الگوریتم‌های پیش‌آگاهی بیماری سفیدک در سامانه، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و هر تیمار در چهار تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که تیمار یک که در آن بر اساس داده‌های محیطی، درختان سه بار سم‌پاشی شده بودند (سم‌پاشی اول: در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد، سم‌پاشی دوم: در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد، سم‌پاشی سوم: در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۵۰ درصد) از لحاظ مقدار عددی کم‌ترین درصد شدت بیماری و درصد وقوع بیماری را داشت. سپس، کم‌ترین درصد شدت و وقوع بیماری مربوط به تیمار ۴ با دو بار سم‌پاشی (سم‌پاشی اول: در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد، سم‌پاشی دوم: در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۵۰ درصد) بود. کارایی تیمارهای یک و چهار برای کنترل شدت بیماری به ترتیب برابر ۷۹٫۶۴ و ۷۶٫۴۲ درصد بود. برای کاهش مصرف سموم و عوارض سوء آن بر سلامت مصرف‌کنندگان و محیط زیست، این دو نوبت سم‌پاشی به عنوان الگوریتم پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری در سامانه طراحی شده در نظر گرفته شد. استفاده از این سامانه می‌تواند به کنترل موثر بیماری سفیدک پودری در باغ‌های سیب کمک کند و منجر به افزایش عملکرد و تولید سیب با کیفیت‌تر شود.

**کلمات کلیدی:** پروتکل لورا، شبکه حسگر بی‌سیم، *Podosphaera leucotricha*، کنترل بیماری، هوشمندسازی کشاورزی

### مقدمه

از تعدادی گره یا نود حسگر تشکیل شده است که در یک محیط گسترده پخش شده‌اند و به جمع‌آوری اطلاعات از محیط می‌پردازند (Feng et al. 2012; Ping et al. 2018; Jamshidi & Dehghanisani 2020). راه‌کارهای هوشمند اینترنت اشیا برای تصمیم‌گیری مبتنی بر داده و ارتباط بین داده و محیط در کشاورزی سبب ایجاد تغییرات بنیادی در تمام وجوه شیوه‌های مرسوم کشاورزی و بستر ساز توسعه الگوی جدیدی در کشاورزی به نام کشاورزی هوشمند شده است. کاربرد این راه‌حل‌ها یا به عبارت دیگر، کاربرد کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا در حوزه‌های مختلف کشاورزی مانند باغبانی می‌تواند سبب بهبود بهره‌وری کشاورزی با تولید بیشینه غذا از طریق استفاده بهینه از منابع پایه، کمینه‌کردن اثرات محیطی، کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد شود و دستیابی به اهداف توسعه پایدار کشاورزی

اینترنت اشیا (IoT)، یک فناوری نوظهور و در حال رشد در زمینه فناوری اطلاعات و ارتباطات است که اثر عمیق و معنی‌دار روی زندگی میلیاردها انسان و آینده جهان در زمینه‌های مختلف به ویژه کشاورزی خواهد داشت. این فناوری مرتبط با اینترنت، به جای تمرکز بر ارتباط بین افراد، بر ارتباط بین اشیا تمرکز دارد. منظور از اشیا، هر چیز بی‌جانی مانند حسگرها، محرک‌ها، دستگاه‌های مجهز به فناوری ارتباط بی‌سیم و غیره است که قابلیت جمع‌آوری داده، کنترل شدن و یا ارتباط از راه دور را داشته باشد. فناوری اینترنت اشیا با ایجاد یک شبکه ارتباطی گسترده و یکپارچه بین اشیا امکان هوشمندسازی محیط را فراهم می‌کند. اینترنت ارتباط بین اشیا، گسترش و توسعه اینترنت با استفاده از اصول پایه شبکه حسگر است. شبکه حسگر

را تسهیل کند (Jamshidi et al. 2023).

تاکنون از راه‌حل‌های هوشمند فناوری اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه حسگر بی‌سیم به صورت عملی در باغ‌های میوه استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به پایش شرایط محیطی یک تاکستان واقع در شمال اسپانیا شامل دما و رطوبت نسبی هوا، فشار اتمسفری، مقدار بارش، باد، تابش فرابنفش، تابش خورشید، دما و رطوبت خاک، و رطوبت برگ با هدف کنترل سامانه‌های آبیاری (Bielsa 2012)؛ پایش شرایط محیطی مانند دما و رطوبت نسبی هوا، رطوبت و دمای خاک، مقدار بارش، تابش خورشید، و رشد قطری تنه و میوه درخت در یک باغ موز واقع در کلمبیا با هدف بهبود شرایط محصول، بهره‌وری و پایداری کشاورزی (Libelium 2016a)؛ پایش شرایط آب و هوایی شامل دما و رطوبت نسبی هوا، مقدار بارش، فشار اتمسفری، جهت و سرعت باد، رطوبت خاک، و رطوبت برگ در یک باغ زیتون در ایتالیا با هدف پیش‌آگاهی و کنترل آفت مگس میوه زیتون (Libelium 2016b)؛ و پایش شرایط محیطی مانند وضعیت آبی خاک در عمق‌های مختلف، قطر میوه، دما و رطوبت نسبی هوا در یک باغ کیوی واقع در کشور ایتالیا با هدف کنترل هوشمند آبیاری و بهبود تولید محصول (Libelium 2017) اشاره کرد. نتایج موفقیت‌آمیز کاربردهای عملی نشانگر آن است که فناوری اینترنت اشیا می‌تواند در حل چالش‌های مدیریتی باغ‌های میوه موثر باشد. در سال‌های اخیر پژوهش‌های مرتبط با کاربرد اینترنت اشیا و راه‌حل‌های هوشمند آن در باغ‌ها گسترش پیدا کرده است (Wang et al. 2019; Xu et al. 2022; Zhang et al. 2022; Zhang et al. 2023). از این رو، در این پژوهش از این فناوری برای حل چالش بیماری سفیدک پودری (Powdery Mildew) در باغ سیب استفاده شد.

بیماری سفیدک پودری با عامل قارچی *Podosphaera* E.S.Salmon (Ellis & Everh.) *leucotricha* از مهم‌ترین بیماری‌های درخت سیب به حساب می‌آید که انتشار جهانی دارد و هرکجا سیب کاشته می‌شود این بیماری هم وجود دارد (Behdad 1990; Wurms & chee, 2011). شدت این بیماری از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر تغییر می‌کند. این قارچ بیمارگر یک انگل اجباری است که می‌تواند به برگ، گل، میوه و سرشاخه‌ها حمله کند و باعث ریزش زودهنگام برگ‌ها، توقف رشد شاخه‌های مبتلا و در نتیجه کاهش محصول شود. در درختان به شدت آلوده، سطح میوه هم به صورت زنگار (زنگ‌زدگی) دیده می‌شود (Kolyaee et al. 2002). شناخت عامل، بیولوژی و پیش‌گیری، از اقدامات اساسی در کنترل بیماری سفیدک پودری سیب است

(Heidarian 2016). چنان‌چه بلافاصله هنگام آغاز فعالیت اینوکولوم اولیه، سم‌پاشی با قارچ‌کش‌های مناسب انجام شود در کنترل بیماری سفیدک پودری سیب بسیار موثر خواهد بود. کاهش اینوکولوم اولیه و محافظت از برگ، میوه و جوانه در برابر عفونت‌های ثانویه برای کنترل بیماری بسیار مهم است. استفاده به‌موقع از قارچ‌کش‌های موثر به‌طور گسترده‌ای برای جلوگیری از عفونت‌های جدید و کاهش تعداد هاگ‌های تولیدشده روی ضایعات جدید مفید خواهد بود (Holb 2014). در یک سیستم پیش‌آگاهی موفق در اروپای غربی برای به حداقل رساندن تلفات در باغ‌های تجاری، استفاده از قارچ‌کش‌ها پیش از این‌که بیماری شدید شود، توصیه شده است (Hickey & Yoder 1990). سم‌پاشی تنها بعد از ترکیدن جوانه‌ها وقتی فلس‌های جوانه باز می‌شوند و میسلیم‌های زمستان‌گذران می‌توانند در معرض قارچ‌کش‌ها قرار گیرند، موثر خواهد بود (Holb 2014). سم‌پاشی بلافاصله هنگام شروع فعالیت اینوکولوم اولیه، بسته به نوع رقم می‌تواند یک تا سه مرحله از سم‌پاشی‌های بعدی بکاهد (Grove 2002). در یک بررسی در اروپا توصیه شد که استفاده از قارچ‌کش‌ها در مرحله خوشه گل فشرده (Tight cluster) از مراحل فنولوژی گل‌دهی، آغاز و تا زمانی‌که رشد شاخه‌های انتهایی در اواسط تابستان متوقف شود، ادامه یابد و فاصله بین سم‌پاشی‌ها در طول مراحل رشد سریع برگ، قبل از ریزش گلبرگ‌ها هفت روز و پس از گل‌دهی ۱۴-۱۲ روز باشد (Holb 2014).

در دنیا مطالعه‌های بسیاری در خصوص تاثیر دما در جوانه‌زنی هاگ‌های *P. leucotricha* انجام شده است. در یک بررسی بهترین دما برای جوانه‌زنی کنیدی‌ها دمای ۲۵ درجه سلسیوس با ۴۹/۴ درصد جوانه‌زنی، سپس ۳۰ درجه سلسیوس با ۴۷ درصد جوانه‌زنی، و بعد از آن ۲۰ درجه سلسیوس با ۴۶/۱۹ درصد جوانه‌زنی بوده است. هم‌چنین، کم‌ترین جوانه‌زنی در دمای پنج و ۳۵ درجه سلسیوس ثبت شد. از سوی دیگر، در رطوبت نسبی ۹۵/۶ درصد و ۸۹/۹ درصد بیش‌ترین جوانه‌زنی کنیدی رخ داد (Jakab-Ilyefalvi 2016). در بررسی دیگری، کلنی‌های جوان *P. leucotricha* در دمای ۲۲ درجه سلسیوس بیش‌ترین رشد را داشتند و تاثیر دما بر سرعت رشد کلنی بیش از رطوبت محیطی بود (Xu & Butt 1998). در آزمایشی، درصد جوانه‌زنی کنیدی‌ها در پنج دما بین پنج تا ۳۰ درجه سلسیوس و هر یک در چهار رطوبت نسبی از ۱۴ تا ۹۸ درصد در برگ‌های جداشده و انکوبه‌شده ارزیابی شد. بهترین دما صرف نظر از رطوبت نسبی، ۲۰ درجه سلسیوس بود. با افزایش رطوبت میزان جوانه‌زنی

شود. این مقاله فقط به بخش پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری سیب در سامانه مذکور می‌پردازد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در یک باغ سیب دارای سابقه بیماری سفیدک پودری واقع در حوالی روستای سربندان، شرق روستای جابان، در دهستان ابرشیوه از توابع شهرستان دماوند استان تهران اجرا شد که وضعیت اقلیمی آن با وضعیت اقلیمی شهر دماوند مشابه است. دماوند یک منطقه کوهستانی است که در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز مرکزی و در قسمت شمال شرقی استان تهران واقع شده است. این شهرستان از نظر مختصات جغرافیایی، بین ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و بین ۳۵ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. میانگین بارش سالانه این شهرستان، حدود ۳۸۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۳ درجه سلسیوس است که دارای ۱۱۶ روز یخبندان در سال و اقلیم نیمه‌خشک سرد است. باغ انتخاب‌شده دارای وسعتی حدود ۲۰ هکتار با ارقام سیب گلدن دلشیز و رد دلشیز بود.

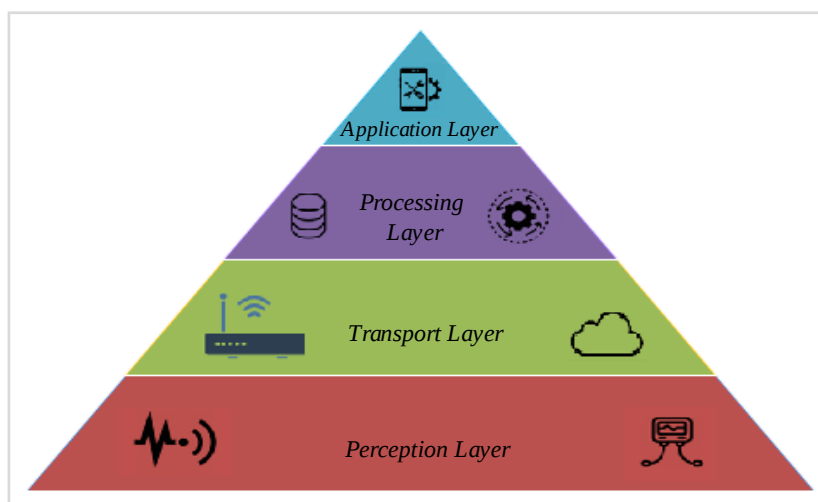
معماری اینترنت اشیا در این پژوهش به صورت چهار لایه شامل لایه ادراک، لایه انتقال، لایه پردازش، و لایه کاربرد در نظر گرفته شد (شکل ۱). لایه ادراک شامل حسگرها برای سنجش و جمع‌آوری لحظه‌ای و تا حدی پردازش داده‌ها و ارسال اطلاعات به نودهای حسگر است. در این لایه اتصال شبکه‌ای حسگرها توسط یک شبکه حسگر بی‌سیم فراهم می‌شود که مجموعه‌ای از نودهای حسگر سامان‌دهی‌شده در داخل یک شبکه مشترک است. لایه انتقال وظیفه برقراری ارتباط حسگرها با سایر اشیا هوشمند، دستگاه‌های شبکه و سرورها را بر عهده دارد و داده‌های حسگرها را از لایه ادراک به لایه پردازش و برعکس با یک پروتکل ارتباطی انتقال می‌دهد. لایه پردازش داده‌های دریافتی از لایه انتقال را ذخیره، پردازش، و تجزیه و تحلیل می‌کند. این لایه می‌تواند مجموعه متنوعی از خدمات را به لایه‌های پایین‌تر مدیریت و ارائه کند. برای این منظور، فناوری‌های بسیاری مانند پایگاه‌های داده، رایانش ابری و ماژول‌های پردازش کلان‌داده را به کار می‌گیرد. لایه کاربرد شامل برنامه‌های کاربردی تحت وب و اپلیکیشن‌های تلفن همراه برای ارائه خدمات خاص به کاربر است (Sethi & Sarangi 2017; Tzounis et al. 2017; Jamshidi & Dehghanisani 2020).

افزایش یافت به گونه‌ای که بیش‌ترین جوانه‌زنی در رطوبت نسبی ۹۸ درصد رخ داد که برابر ۷۰ درصد بود (Xu & Butt 1998; Holb 2014). وقوع بیماری در دماهای پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس به ترتیب معادل صفر، ۱۴، ۸۰، ۸۷، ۵۲، دو و صفر درصد بود (Grove 2002). رشد مسیلیوم و جوانه‌زنی کنیدی‌ها در دمای کم‌تر از چهار تا ۱۰ درجه سلسیوس و بیش از ۲۸ تا ۳۰ درجه سلسیوس، بسیار کند است (Holb 2014).

برخلاف دیگر بیماری‌های ایجادشده در برگ، برای ایجاد آلودگی به بیماری سفیدک پودری نیازی به خیس شدن برگ‌ها نیست. باوجود این که رطوبت مناسب برای ایجاد آلودگی مورد نیاز است ولی اگر کنیدی‌های قارچ عامل بیماری در آب غوطه‌ور شوند، جوانه نمی‌زنند بلکه می‌ترکند. رطوبت نسبی مورد نیاز برای جوانه‌زنی هاگ‌های *P. leucotricha* بین ۷۰ تا ۹۸ درصد است. در شرایط بهینه، بیماری بعد از ۴۸ ساعت از شروع آلودگی قابل مشاهده است و بعد از حدود پنج روز کنیدی‌های عامل بیماری تولید می‌شوند (Turechek et al. 2004). مدیریت بیماری سفیدک پودری عمدتاً برپایه پیش‌گیری یا کاهش آلودگی اولیه است. مصرف قارچ‌کش‌ها باعث کاهش عفونت اولیه و جلوگیری از عفونت ثانویه در برگ‌ها و جوانه‌ها می‌شود (Al-Rawashdeh 2013).

از آنجاکه چرخه زندگی *P. leucotricha* با فنولوژی میزبان دائمی آن یعنی سیب درختی تا حد زیادی هماهنگ است (Spotts 1984; Xu 1996; Mwanza et al. 2001; Garibaldi et al. 2005; Liang et al. 2012)، به طور سنتی برنامه‌های سم‌پاشی برای مدیریت سفیدک پودری سیب مبتنی بر فنولوژی میزبان است و این باعث شده است که در مواردی برخلاف نبود اینوکلوم موثر، تیمارها در مرحله نیمه‌سبز یا سبز ۱۰ میلی‌متری (Half-inch green) از مراحل فنولوژی گل‌دهی اعمال شود (Grove 2002).

اثرات متغیرهای آب و هوا در دو جنبه از چرخه زندگی قارچ *P. leucotricha* قابل توجه است: جوانه‌زنی اولیه کنیدی، و توسعه بعدی در طول دوره تلقیح. در این پژوهش تلاش شد تا با بهره‌گیری از فناوری اینترنت اشیا و پایش برخط شرایط محیطی مانند دما و رطوبت نسبی هوا در باغ سیب، زمان مناسب برای کنترل بیماری سفیدک پودری سیب تعیین و در سامانه هوشمندی که برای مدیریت باغ سیب طراحی شد، به منظور پیش‌آگاهی و هشدار زمان سم‌پاشی علیه این بیماری استفاده

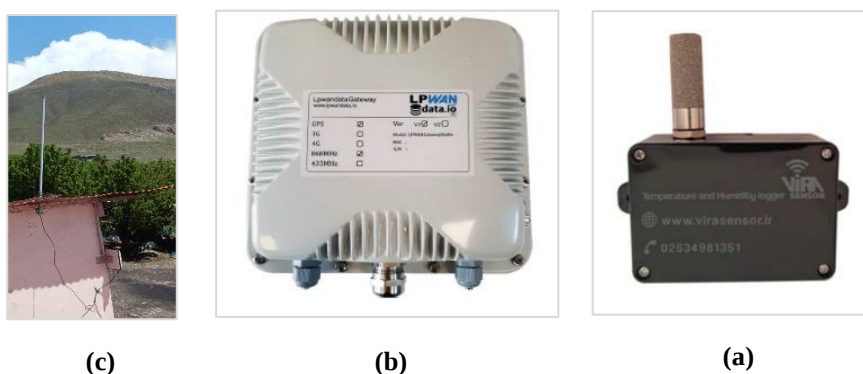


شکل ۱. معماری چهار لایه اینترنت اشیاء.

**Figure 1.** Four-layer architecture of the Internet of Things.

باشد. پروتکل رادیویی لورا یک پلتفرم بی‌سیم دوربرد و کم‌مصرف است که این ویژگی، آن را به یک پلتفرم عالی بی‌سیم ویژه اینترنت اشیاء تبدیل کرده است. گیتوی مورد استفاده در این پژوهش گیتوی لورا (LoRaGateway) (شکل ۲b,c) ساخت شرکت لاوان پایش ونداد (LPWAN DATA) مدل LPWANGatewayRadio بود. این گیتوی شامل یک برد اصلی (LpwanCore Board) است که قابلیت اتصال به باتری قابل شارژ را دارد و از پنل خورشیدی برای شارژ باتری و استفاده هم‌زمان توسط برد اصلی پشتیبانی می‌کند. هم‌چنین، دارای سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) است. این برد، پلتفرم ارتباطی بین رادیو گیتوی و اینترنت است. رادیو گیتوی با اتصال به سوکت مخصوص روی برد اصلی مجموعاً به عنوان گیتوی لورا قابل استفاده است.

در این پژوهش برای دریافت برخط داده‌های محیطی شامل دما و رطوبت نسبی هوا از نود حسگر بی‌سیم دما و رطوبت نسبی هوا THI ساخت شرکت ویراسنسور (Virasensor) استفاده شد (شکل ۲a). این نود، مبتنی بر اینترنت اشیاء است و برای اندازه‌گیری مستمر دما و رطوبت نسبی هوا در مکان‌هایی که نیاز به پایش مداوم دارند، کاربرد دارد. بازه اندازه‌گیری دما توسط حسگر،  $-35$  تا  $+75$  درجه سلسیوس با دقت  $0.1$  درجه سلسیوس و بازه اندازه‌گیری رطوبت نسبی حسگر، صفر تا  $100$  درصد با دقت  $0.3$  درصد است. منبع تغذیه آن باتری لیتیوم است که به دلیل مصرف بسیار کم، طول عمر باتری تقریباً دو سال است. این نود بی‌سیم، دما و رطوبت نسبی هوای باغ را اندازه‌گیری و داده‌های جمع‌آوری‌شده را از طریق پروتکل رادیویی لورا (LoRaWAN) به سمت گیتوی ارسال می‌کند. فاصله نود حسگر بی‌سیم تا گیتوی می‌تواند تا  $1/5$  کیلومتر



شکل ۲. (a) نود حسگر بی‌سیم دما و رطوبت نسبی هوا، (b) گیتوی، (c) نصب گیتوی و آنتن در باغ.

**Figure 2.** a) Wireless temperature and humidity sensor node, b) gateway, c) gateway and antenna installation in the orchard.

مدیریت کامل عملکرد سامانه از پلتفرم مدیریتی اینترنت اشیا طراحی شده توسط شرکت موج آینده فراخن استفاده شد که عملکردهای اصلی آن شامل مدیریت اتصال حسگرها و سخت‌افزارها؛ مدیریت پروتکل‌های ارتباطی مختلف؛ فراهم کردن امنیت و احراز هویت حسگرها و کاربران برای اتصال به سامانه؛ جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و مصورسازی و تجزیه و تحلیل داده‌های ذخیره‌شده؛ پایش و مدیریت پیوسته فعالیت‌ها در سامانه؛ و مدیریت کاربران است. از دیگر قابلیت‌های این پلتفرم می‌توان به مدیریت داشبوردها؛ ارسال هشدارها از طریق ایمیل و پیامک؛ ارتباط با سامانه‌های Third party مانند سامانه‌های هواشناسی، پردازشگر تصاویر ماهواره‌ای و مازول‌های یادگیری ماشین اشاره کرد.

پوشش رادیویی گیت‌وی لورا در مناطق باز و حومه شهر تا ۱۵ کیلومتر نیز می‌رسد. پس از دریافت داده‌های حسگرها، گیت‌وی اطلاعات را روی یک لینک ارتباطی مبتنی بر اینترنت اشیا به سمت سرور شبکه می‌فرستد. سپس اطلاعات توسط سرور شبکه در اختیار نرم‌افزار طراحی شده برای کاربران قرار می‌گیرد. بنابراین، گیت‌وی و سرور شبکه مانند یک واسط بین نرم‌افزار کاربر و نودهای حسگر عمل می‌کند و امکان رسیدن داده‌ها به نرم‌افزار را فراهم می‌کند. در سامانه پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری طراحی شده بر پایه اینترنت اشیا، داشبوردی برای نمایش نتایج شامل داده‌های برخت حسگرهای دما و رطوبت نسبی هوا، اطلاعات هواشناسی منطقه، مراحل فنولوژی گل‌دهی سیب، هشدارها، توصیه‌های سم‌پاشی و غیره ایجاد شد. برای

جدول ۱. تیمارهای آزمایش به منظور کنترل بیماری سفیدک پودری سیب.

**Table 1.** Experimental treatments to control apple powdery mildew disease.

| Treatment Code | First Spraying                                | Second Spraying                           | Third Spraying                    |
|----------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1              | Temperature:10°C,<br>Humidity:70%             | Temperature:15°C,<br>Humidity:70%         | Temperature:20°C,<br>Humidity:50% |
| 2              | Temperature:15°C,<br>Humidity:70%             | Temperature:20°C,<br>Humidity:50%         | -                                 |
| 3              | Temperature:15°C,<br>Humidity:70%             | -                                         | -                                 |
| 4              | Temperature:10°C,<br>Humidity:70%             | Temperature:20°C,<br>Humidity:50%         | -                                 |
| 5              | Temperature:20°C,<br>Humidity:50%             | -                                         | -                                 |
| 6              | Tight Cluster stage of flowering<br>phenology | Fruit Set stage of flowering<br>phenology | -                                 |
| 7              | Control (without spraying)                    | Control (without spraying)                | Control (without spraying)        |

استفاده از سم‌پاش پستی لانس‌دار اعمال شد.

به منظور تعیین درصد وقوع بیماری و درصد شدت آن، سه هفته بعد از آخرین سم‌پاشی از درخت‌های هر کرت به طور تصادفی ۱۰ سرشاخه حدود ۴۰ سانتی‌متری چیده و در کیسه‌های دسته‌دار به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه، ۱۰۰ برگ از ۱۰ شاخه هر تکرار برداشته و برای تعیین درصد وقوع بیماری و درصد شدت آن استفاده شد.

درصد وقوع بیماری بر اساس تعداد برگ‌های دارای علائم و بدون علائم بیماری سفیدک پودری مشخص و طبق رابطه ۱

به منظور تعیین الگوریتم بهینه پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری در سامانه و ارائه بهترین زمان سم‌پاشی بر اساس داده‌های آب و هوایی در باغ مورد بررسی، آزمایش‌هایی انجام شد. این آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار (جدول ۱) و هر تیمار شامل چهار تکرار اجرا شد. شکل ۳ یک نمونه از تیمار و تکرار انتخاب شده در باغ را نشان می‌دهد. قارچ‌کش مورد استفاده برای کلیه تیمارها سم بوسکالید + پیراکلواستروبین (بلیس® ۳۸٪ WG) با دوز ۰/۷ در هزار بود. در این بررسی هر تکرار شامل یک درخت سیب حدود ۲۰-۲۵ ساله بود. بین درخت‌های مورد آزمایش یک درخت بدون تیمار برای اجتناب از تاثیر تیمارها روی هم در نظر گرفته شد. تیمارها با

محاسبه شد.

رابطه (۲)

$$S(\%) = \frac{\sum(x_i n_i)}{XN} \times 100$$

که در آن:  $S$  = درصد شدت بیماری،  $x_i$  = درجه بیماری نمونه  $i$  ام،  $n_i$  = تعداد نمونه‌های با درجه بیماری مشابه،  $X$  = بیشینه درجه آلودگی، و  $N$  = تعداد کل نمونه‌های مربوط به هر تکرار است.

پس از محاسبه درصد وقوع و درصد شدت بیماری سفیدک پودری سیب، برای هر کرت مقادیر مرتبط در نرم‌افزار آماری SAS (v. 9.1) تجزیه واریانس شدند و با توجه به معنی‌دار بودن اختلاف تیمارها، میانگین تیمارها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

$$I(\%) = \frac{\sum x}{N} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:  $I$  = درصد وقوع بیماری،  $x$  = تعداد نمونه‌های دارای علائم بیماری، و  $N$  = تعداد کل نمونه‌های شمارش شده است.

برای تعیین درصد شدت بیماری، علائم روی هر برگ، بر اساس درصد تخمینی پوشش لکه روی سطح برگ از صفر تا ۷ طبقه‌بندی شدند (Wang et al. 1995): درجه صفر: بدون علامت، درجه یک: ۵-۰/۱ درصد، درجه دو: ۱۵-۵/۱ درصد، درجه سه: ۳۰-۱۵/۱ درصد، درجه چهار: ۴۵-۳۰/۱ درصد، درجه پنج: ۶۵-۴۵/۱ درصد، درجه شش: ۸۵-۶۵/۱ درصد، درجه هفت: آلودگی برگ‌ها بیش از ۸۵ درصد. سپس، با استفاده از رابطه ۲ درصد شدت بیماری تعیین شد.



شکل ۳. انتخاب تیمار و تکرار در باغ.

Figure 3. Treatment and replication selection in the orchard.

## نتایج و بحث

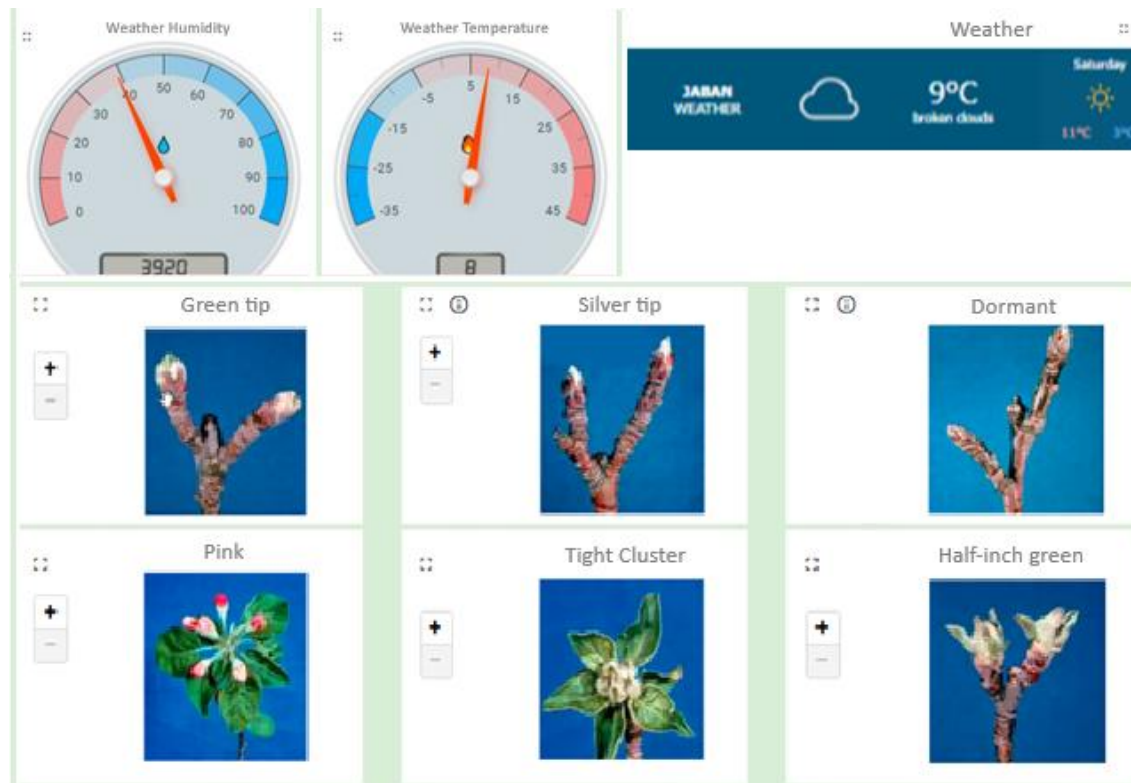
شکل ۴ بخشی از داشبورد طراحی شده سامانه را نشان می‌دهد که در آن دما و رطوبت نسبی هوای باغ به صورت برخط به همراه اطلاعات هواشناسی منطقه و مراحل فنولوژی گل‌دهی سیب نمایش داده شده است. در این داشبورد، هشدارهای سم‌پاشی بر پایه الگوریتم‌های پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری سیب به همراه توصیه‌های سم‌پاشی (نوع سم پیشنهادی و دوز آن) همچنین هشدار شارژ باتری‌ها قابل مشاهده است.

به منظور تعیین الگوریتم بهینه پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری در سامانه، ابتدا بررسی‌های اولیه برای تطبیق دما و رطوبت نسبی هوا با مراحل فنولوژی گل‌دهی سیب و زمان‌های

سم‌پاشی که در آزمایش‌های قبلی برای کنترل بیماری سفیدک پودری سیب به‌دست آمده بود، در درختان سیب موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور انجام و نتایج به صورت مشاهده‌ای ارزیابی شد. بر اساس اطلاعات مشاهده‌ای به‌دست‌آمده از بررسی‌های اولیه، سه نوبت سم‌پاشی، نوبت اول: دما ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد، نوبت دوم: دما ۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد، و نوبت سوم: دما ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰ درصد ملاک زمان‌های هشدار سم‌پاشی در سامانه قرار گرفت که بر اساس آن در سال اول توسط باغدار در کل باغ مورد بررسی اعمال شد. این نوبت‌های سم‌پاشی با آن‌چه از آزمایش‌های قبلی برای کنترل بیماری سفیدک

همین اساس در سال دوم برای تایید نهایی و ارائه بهترین زمان سم‌پاشی بر اساس داده‌های آب و هوایی در باغ مورد بررسی، آزمایش‌هایی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار اجرا و بر اساس نتایج آن‌ها الگوریتم پیش‌آگاهی در سامانه اصلاح شد.

پودری بر اساس مراحل فنولوژی گل‌دهی سیب به‌دست‌آمده بود (یعنی سم‌پاشی به ترتیب در مراحل نوک‌سبز یا بازشدن جوانه‌ها (Green tip)، صورتی‌شدن (Pink)، و میوه‌بندی (Fruit set) تطابق داشت. بررسی‌های مشاهده‌ای نشان داد که بیماری به خوبی کنترل شد و مورد رضایت کامل باغدار نیز قرار گرفت. بر



شکل

۴. بخشی از داشبورد سامانه طراحی شده.

**Figure 4.** Part of the designed system dashboard.

۲۳/۰۰ در گروه بعدی قرار گرفت. البته این تیمار به دلیل داشتن حرف آماری مشترک با تیمار ۶ نیز در یک گروه آماری طبقه‌بندی شد. دو تیمار ۳ و ۵، هم از لحاظ درصد وقوع بیماری و هم درصد شدت بیماری در یک گروه آماری و قبل از شاهد قرار گرفتند و شاهد با شدت بیماری ۳۶/۶۴ و وقوع بیماری ۶۳/۲۵ در آخرین گروه آماری واقع شد (جدول ۳). بیش‌ترین کارایی برای کنترل شدت بیماری مربوط به تیمار ۱ و معادل ۷۹/۶۴ درصد و بعد از آن تیمار ۴ و معادل ۷۶/۴۲ درصد بود، و کم‌ترین کارایی مربوط به تیمارهای ۳ و ۵ و حدود ۴۷ درصد بود (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از ارزیابی برگ‌های درخت‌های تیمار شده نشان داد که در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری بین اثر تیمارها بر کاهش درصد شدت بیماری و وقوع بیماری وجود دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های درصد وقوع بیماری و درصد شدت بیماری ( $P=5\%$ ) نشان داد که کم‌ترین درصد شدت بیماری (۷/۴۶، ۸/۶۴، ۹/۵۴) به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱، ۴ و ۶ بود. کم‌ترین درصد وقوع بیماری (۱۵/۷۵، ۱۸/۲۵، ۲۳/۰۰) نیز به ترتیب در این تیمارها دیده شد و بدون اختلاف آماری معنی‌دار همگی در یک گروه آماری واقع شدند. سپس تیمار ۲ با شدت بیماری ۱۳/۴۶ و وقوع بیماری

جدول ۲. تجزیه واریانس درصد شدت بیماری و درصد وقوع بیماری سفیدک پودری.

**Table 2.** Variance analysis of powdery mildew disease severity and disease incidence percentages.

| Source of Variation          | Degrees of Freedom | Disease Severity |         | Disease Incidence |         |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------|-------------------|---------|
|                              |                    | Percentage       |         | Percentage        |         |
|                              |                    | Mean Square      | F Value | Mean Square       | F Value |
| block                        | 3                  | 19.16            | 2.45    | 56.90             | 1.49    |
| Treatment                    | 6                  | 414.90           | 53.24*  | 1081.11           | 28.48*  |
| Error                        | 18                 | 7.79             | -       | 37.96             | -       |
| Total                        | 27                 | -                | -       | -                 | -       |
| Coefficient of Variation (%) | -                  | 17.08            |         | 19.38             |         |

\*Significant difference at 5% level

جدول ۳. مقایسه میانگین درصد شدت بیماری و درصد وقوع بیماری سفیدک پودری.

**Table 3.** Comparison of the mean for powdery mildew disease severity and disease incidence percentages.

| Treatment | Mean of Disease Severity Percentage* | Effectiveness Percentage (Based on the Disease Severity Compared to the Control) | Mean of Disease Incidence Percentage* |
|-----------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1         | 7.46 <sup>d</sup>                    | 79.64                                                                            | 15.75 <sup>d</sup>                    |
| 2         | 13.46 <sup>c</sup>                   | 63.26                                                                            | 26.00 <sup>c</sup>                    |
| 3         | 19.28 <sup>b</sup>                   | 47.38                                                                            | 37.75 <sup>b</sup>                    |
| 4         | 8.64 <sup>d</sup>                    | 76.42                                                                            | 18.25 <sup>cd</sup>                   |
| 5         | 19.32 <sup>b</sup>                   | 47.27                                                                            | 38.50 <sup>b</sup>                    |
| 6         | 9.54 <sup>cd</sup>                   | 73.96                                                                            | 23.00 <sup>cd</sup>                   |
| 7         | 36.64 <sup>a</sup>                   | -                                                                                | 63.25 <sup>a</sup>                    |

\*The different letters are significantly different at 5% level (Duncan's test).

به‌گونه‌ای بود که زمان‌های سم‌پاشی تیمار ۴ (بر اساس دما و رطوبت نسبی) و ۶ (بر اساس فنولوژی) منطبق شده بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که تیمار ۴ و ۶ هم از لحاظ درصد شدت بیماری و هم از لحاظ درصد وقوع بیماری در یک گروه آماری قرار گرفتند. شایان ذکر است که دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد در سال اول، مصادف با مرحله نوک‌سبز بود. بنابراین، ممکن است دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد با مرحله نوک‌سبز جوانه‌های سیب و یا مرحله خوشه‌بندی جوانه‌های سیب همراه شود زیرا عوامل گوناگونی غیر از دما و رطوبت نسبی (مثل رطوبت خاک، تغذیه و غیره) در فنولوژی دخالت دارند. بر اساس نتایج این پژوهش، چنان‌چه سم‌پاشی فقط بر اساس دما و رطوبت نسبی (که عوامل اصلی در چرخه زندگی بیمارگر هستند)، انجام شود نتایج موثرتری به همراه خواهد داشت. از آنجاکه تیمارهای ۴ و ۶ با تیمار ۱ که سه بار سم‌پاشی شده بود، هم‌گروه بودند، می‌توان گفت دو بار سم‌پاشی با یک قارچ‌کش سیستمیک مناسب مثل بلیس® ۳۸٪ WG در

نتایج نشان داد که از لحاظ مقدار عددی، تیمار ۱ که درختان سه بار بر اساس دما و رطوبت نسبی هوا سم‌پاشی شده بودند (سم‌پاشی اول: در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد، سم‌پاشی دوم: در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد، سم‌پاشی سوم: در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۵۰ درصد)، کم‌ترین درصد شدت بیماری و درصد وقوع بیماری را داشت. بعد از تیمار ۱، کم‌ترین درصد شدت بیماری مربوط به تیمار ۴ و سپس تیمار ۶ بود. در تیمار ۴ درختان بر اساس دما و رطوبت نسبی دو بار سم‌پاشی شده بودند (سم‌پاشی اول: در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد، و سم‌پاشی دوم: در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۵۰ درصد). در تیمار ۶ نیز درختان دوبار سم‌پاشی شده بودند با این تفاوت که سم‌پاشی درختان این تیمار بر اساس فنولوژی گل‌دهی سیب انجام شده بود. به این ترتیب که سم‌پاشی اول در مرحله خوشه‌بندی جوانه‌ها (Tight cluster) و سم‌پاشی دوم در مرحله میوه‌بندی (Fruit set) بود. در سال اجرای این آزمایش، شرایط آب و هوایی

نوبت سوم: ۱۰ روز پس از سم‌پاشی دوم معرفی کردند (Khabbaz Jolfaee et al. 2002; Khabbaz Jolfaee et al. 2018). پژوهشگران دیگری قارچ‌کش تتراکونازول را طی سه نوبت سم‌پاشی (قبل از تورم جوانه‌ها، بعد از گل و دو هفته بعد) پیشنهاد کردند (Karimi-Shahri & Heydarian 2010). در کشورهای اروپایی نیز که میزان بارندگی زیاد و رطوبت هوا بالاست پیشنهاد می‌شود استفاده از قارچ‌کش‌ها از مرحله خوشه‌بندی جوانه‌ها آغاز و تا زمانی که رشد شاخه‌های انتهایی در اواسط تابستان متوقف شود، ادامه یابد و فاصله بین سم‌پاشی‌ها در طول مراحل رشد سریع برگ، قبل از ریزش گلبرگ‌ها ۷ روز و پس از گل‌دهی ۱۲-۱۴ روز باشد (Holb 2014). اما بررسی حاضر نشان داد به دلیل بروز شرایط خشکسالی، کمبود بارندگی و بالا رفتن میانگین دمای هوا در کشور، چنان‌چه دو نوبت سم‌پاشی در زمان مناسب و با قارچ‌کش موثر انجام شود برای کنترل بیماری سفیدک پودری سیب کفایت می‌کند. به این ترتیب از مصرف بیهوده سموم که می‌تواند برای کاربر سم‌پاش، مصرف‌کننده محصولات کشاورزی و محیط زیست عوارض سوء داشته باشد و از طرف دیگر موجب افزایش هزینه تولید شود، کاسته می‌شود. بر این اساس، سامانه طراحی‌شده، الگوریتم پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری بر اساس این یافته، دو نوبت سم‌پاشی بر اساس دما و رطوبت پیشنهادی (به ترتیب دما ۱۰ و ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ و ۵۰ درصد)، اصلاح شد. با توجه به این‌که بارندگی موجب شسته‌شدن قارچ‌کش و باد موجب پراکنده‌شدن و هدررفت قارچ‌کش می‌شود، به کاربر توصیه می‌شود که اگر در زمان هشدار سامانه برای هر یک از نوبت‌های سم‌پاشی، باد و باران رخ دهد می‌توان یک یا چند روز سم‌پاشی را به تاخیر انداخت تا قارچ‌کش مصرفی بیش‌ترین کارایی را داشته باشد.

به طور کلی در این پژوهش، پیش‌آگاهی بیماری سفیدک پودری در باغ سیب بر پایه فناوری اینترنت اشیا و شبکه حسگر بی‌سیم با پایش برخط داده‌های محیطی (دما و رطوبت نسبی هوا) انجام شد. بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام‌شده با تیمارهای مختلف، الگوریتم پیش‌آگاهی مناسب بر پایه داده‌های برخط حسگرهای دما و رطوبت نسبی هوا در باغ با هدف کاهش مصرف سم ضمن داشتن نتیجه مطلوب در کنترل بیماری سفیدک پودری سیب تعیین شد و در سامانه ملاک هشدار زمان سم‌پاشی قرار گرفت. به طوری‌که، اعلان اولین سم‌پاشی توسط سامانه در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد و سم‌پاشی دوم، در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۵۰ درصد بود. به این

زمان مناسب برای کنترل بیماری سفیدک پودری سیب کفایت می‌کند. اما در تیمار ۳ و ۵ که تنها یک‌بار سم‌پاشی انجام شده بود، کنترل بیماری رضایت‌بخش نبود. به طوری‌که کارایی این دو تیمار در کاهش شدت بیماری نسبت به شاهد حدود ۴۷ درصد بود اما کارایی تیمارهای ۱، ۴ و ۶ به ترتیب معادل ۷۹/۶۴، ۷۶/۴۲ و ۷۳/۹۶ درصد بود.

در تیمار ۲ نیز همانند تیمار ۴ دو بار سم‌پاشی انجام شده بود با این تفاوت که سم‌پاشی اول در تیمار ۲ کمی دیرتر و در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بود اما سم‌پاشی اول در تیمار ۴ در دمای ۱۰ درجه و مصادف با مرحله خوشه‌بندی جوانه‌ها بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، اگر سم‌پاشی اول زودتر و در مراحل ابتدایی بازشدن جوانه‌ها که تازه میسلیم‌های زمستان‌گذران فعال شده‌اند و درصد کمی کنیدی تولید کرده‌اند انجام شود کنترل بیماری رضایت‌بخش‌تر خواهد بود. از سوی دیگر، اگر سم‌پاشی آخر در دمای ۲۰ درجه سلسیوس که حدوداً مصادف است با مرحله میوه‌بندی، انجام شود چون دمای بهینه برای جوانه‌زنی کنیدی‌ها ۲۰ درجه سلسیوس است هم از جوانه‌زنی کنیدی‌هایی که با سم‌پاشی اول از بین نرفته‌اند و هم از آلوده‌شدن میوه‌ها جلوگیری خواهد شد زیرا آلودگی میوه و بروز علائم زنگار ناشی از این بیماری از بازارپسندی آن می‌کاهد. از طرف دیگر، اگر سم‌پاشی اول در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و سم‌پاشی دوم در دمای ۲۰ درجه سلسیوس انجام شود دیگر نیازی به سم‌پاشی بین این دو دما یعنی دمای ۱۵ درجه نخواهد بود. نتایج به‌دست‌آمده نیز این مطلب را تایید می‌کند زیرا در درختان تیمار ۱ که سه نوبت سم‌پاشی شد از نظر آماری با تیمار ۴ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

در سال‌های گذشته در برخی از بررسی‌ها چهار نوبت سم‌پاشی برای کنترل بیماری سفیدک پودری سیب پیشنهاد می‌شد. پژوهشگران قارچ‌کش‌های تریمیدال و توپاس را طی چهار بار سم‌پاشی (پیش از بازشدن جوانه گل، بعد از ریزش کامل گلبرگ‌ها، زمان فندقه‌شدن میوه سیب و سه هفته بعد هم‌زمان با شدت آلودگی) معرفی کردند (Filsouf et al. 1998). در سال‌های بعد که میانگین بارندگی در کشور کاسته شد، مطالعات بعدی سه نوبت سم‌پاشی را برای کنترل بیماری پیشنهاد کردند. پژوهشگران طی سه بررسی جداگانه قارچ‌کش‌های فلینت، استروبی، لونا سنسیشن و بلیس را برای کنترل بیماری سفیدک سطحی سیب طی سه نوبت سم‌پاشی شامل نوبت اول: جوانه‌ها در مرحله سبز کامل، نوبت دوم: اوایل مرحله صورتی‌شدن گل‌ها،

تولید و افزایش کمی و کیفی محصول کمک کند.

### سپاسگزاری

از شرکت موج آینده فراخن بابت همکاری‌ها و تامین تجهیزات و زیرساخت‌های موردنیاز برای اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

### References

- Al-Rawashdeh Z, 2013. Ability of mineral salts and some fungicides to suppress apple powdery mildew caused by the fungus *Podosphaera leucotricha*. *Asian Journal of Plant Pathology* 7: 54-59.
- Behdad E, 1990. Diseases of Fruit Trees in Iran. Neshat Publications, Isfahan, 293 PP.
- Bielsa A, 2012. Smart Agriculture project in Galicia to monitor vineyards with Waspnote. Available on [www.libelium.com](http://www.libelium.com)
- Feng C, Wu H, Zhu H, Sun X, 2012. The design and realization of apple orchard intelligent monitoring system based on internet of things technology. *Advanced Materials Research* 546-547: 898-902.
- Filsouf F, Behdad E, Hasanpour H, 1998. Study of apple powdery mildew disease and its chemical control in Semirom. 13th Iranian Plant Protection Congress, August 23-27, Karaj, Iran. P. 234.
- Garibaldi A, Gilardi G, Gullino ML, 2005. First report of powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha* on *Photinia* × *fraserii* in Italy. *Plant Disease* 89: 1362.
- Grove GG, 2002. Epidemiology and control of apple powdery mildew. Final report. Project Number: 13C-3361-4795.
- Heidarian A, 2016. Powdery mildew disease of apple tree and its management methods. Agricultural Research, Education and Extension Organization, No. 50701, 14 PP.
- Hickey KD, Yoder KS, 2014. Powdery Mildew. In: Sutton TB, Aldwinckle HS, Agnello AM, Walgenbach JF (eds). *Compendium of Apple and Pear Diseases*. Second Edition. APS Press, St. Paul M.N.
- Holb IJ, 2014. Apple powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha*: Some aspects of disease management. *International Journal of Horticultural Science* 20: 29-33.
- Jakab-Ilyefalvi Zs, 2016. Light microscopy of apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*) and influence of climatic conditions on primary infections in nursery and orchard. *Journal of Horticulture, Forestry & Biotechnology* 20: 51-55.
- Jamshidi B, Dehghanisanij H, 2020. Big IoT data from the perspective of smart agriculture. *Roshd -e-Fanavari* 63(16): 12-22.
- Jamshidi B, Dehghanisanij H, Kazem Alilou V, 2023. Cost-effective smart agriculture technologies for small-scale farmers. *Journal of Agricultural Information Sciences & Technology* 6(2): 45-54.
- Karimi-Shahri M, Heydarian A, 2010. Investigation of the effect of tetraconazole fungicide on apple powdery mildew. Final Report of the Research Project of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center. 12PP.
- Khabbaz Jolfaee H, Irani H, Karbalaee Khiavi H, Farrokh Eslamlou E, Abidi A, 2002. Evaluation of the effect of Flint (WG 50%) and Strobi (WG 50%) fungicides and their comparison with common pesticides against apple powdery mildew. Final Report of the Research Project of the Iranian Plant Protection Research Institute. 10PP.
- Khabbaz Jolfaee H, Karimi-Shahri MR, Irani H, Zaker M, 2016. Evaluation of the efficacy of Luna Sensation® 500 SC fungicide against *Podosphaera leucotricha*, the disease agent of apple powdery mildew. Final Report of the Research Project of the Iranian Plant Protection Research Institute. 16PP.

- Khabbaz Jolfaee H, Zaker M, Hanifeh S, Karbalaee Khiavi H, 2018. Evaluation of the efficacy of Bliss® WG 38 fungicide against *Podosphaera leucotricha*, the causal agent of apple powdery mildew disease. Final Report of the Research Project of the Iranian Plant Protection Research Institute. 16PP .
- Koliaee R, Khabbaz Jolfaee H, Mirkamali, H. 2002. A Guide to Apple Pests, Diseases and Weeds. Agricultural Education Press, Tehran. 262 PP.
- Liang C, Xing HH, Cho SE, Shin HD, 2012. First report of powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha* on *Photinia serrulata* in China. *Plant Disease* 96: 1695.
- Libelium 2015. Sustainable farming and the IoT: Cocoa research station in Indonesia. Available on [www.libelium.com](http://www.libelium.com)
- Libelium 2016a. Improving banana crops production and agricultural sustainability in Colombia using sensor networks. Available on [www.libelium.com](http://www.libelium.com)
- Libelium 2016b. Monitoring weather conditions to prevent pest in olives. Available on [www.libelium.com](http://www.libelium.com)
- Libelium 2017. Smart irrigation system to improve kiwi production in Italy. Available on [www.libelium.com](http://www.libelium.com)
- Mwanza EJM, Waithaka SK, Simons SA, 2001. First report of powdery mildew caused by *Podosphaera leucotricha* on *Prunus africana* in Kenya. *Plant Disease* 85: 1285.
- Ping H, Wang J, Ma Z, Du Y, 2018. Mini-review of application of IoT technology in monitoring agricultural products quality and safety. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering* 11(5): 35–45.
- Sethi P, Sarangi SR, 2017. Internet of Things: Architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical & Computer Engineering* Volume 2017, Article ID 9324035: 1–25 .
- Spotts RA, 1984. Infection of Anjou pear fruit by *Podosphaera leucotricha*. *Plant Disease* 68: 857–859.
- Turechek WW, Carroll JE, Rosenberger DA, 2004. Powdery mildew of apple. Available on [www.nysipm.cornell.edu/factsheets/treefruit/diseases/pm/apple\\_pm.pdf](http://www.nysipm.cornell.edu/factsheets/treefruit/diseases/pm/apple_pm.pdf)
- Tzounis A, Katsoulas N, Bartzanas T, Kittas C, 2017. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering* 164: 31–48.
- Wang Y, Liu Y, He P, Chen J, Lamikanra O, Lu J, 1995. Evaluation of foliar resistance to *Uncinula necator* in China wild Vitis species. *Vitis* 34:159–164.
- Wang Z, Wang Y, Lan P, Sun F, 2019. The application of the internet of things technology in apple production. IEEE 11th International Conference on Advanced Infocomm Technology (ICAIT), October 18–19, Jinan, China, 109–112.
- Wurms KV, Chee AA, 2011. Control of powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*) in apple seedlings using anhydrous milk fat and soybean oil emulsions. *New Zealand Plant Protection* 64: 201–208.
- Xu L, Xiaoning S, Zhipeng L, Huijuan X, 2022. Design and simulation of intelligent orchard system based on internet of things. 12th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), November 18–20, Xiamen, China. 146–150.
- Xu X, Butt DJ, 1998. Effects of temperature and atmospheric moisture on the early growth of apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*) colonies. *European Journal of Plant Pathology* 104: 133–140.
- Xu X, 1996. The effects of constant and fluctuating temperatures on the length of the incubation period of apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*). *Plant Pathology* 45: 924–932.
- Zhang P, Chen X, Li S, Zhang C, Hu Y, 2023. Development of the internet of smart orchard things based on multi-sensors and LoRa technology. *Intelligent and Converged Networks* 4(4): 342–354.
- Zhang P, Wang S, Bai M, Bai Q, Chen Z, Chen X, Hu Y, Zhang J, Li Y, Hu X, Shi Y, Deng J, 2022. Intelligent spraying water based on the internet of orchard things and fuzzy PID algorithms. *Journal of Sensors* 2022: 4802280.