

مروری بر توسعه سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای انتشار فناوری مدیریت یکپارچه آفات

زهرا رخ* | گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، مؤسسه آموزش عالی آپادانا، شیراز، ایران

چکیده

توسعه سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) برای انتشار فناوری‌های مدیریت یکپارچه آفات (IPM) نقش حیاتی در بهبود کارایی و پایداری مدیریت آفات در کشاورزی دارد. با توجه به پیچیدگی‌ها و چالش‌های مرتبط با مدیریت آفات در سیستم‌های کشاورزی، استفاده از DSS می‌تواند به کشاورزان و متخصصان کمک کند تا تصمیمات بهینه‌تری در زمینه انتخاب استراتژی‌های کنترل آفات اتخاذ کنند. این مقاله مروری، به بررسی پیشرفت‌ها و چالش‌های موجود در زمینه توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای مدیریت یکپارچه آفات می‌پردازد. در این تحقیق، ابتدا به تعریف مفاهیم مرتبط با DSS و IPM پرداخته شده و سپس انواع مختلف سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری که در این حوزه به کار گرفته شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سیستم‌هایی که به تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی پیش‌بینی، و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف می‌پردازند، به ویژه در کاهش مصرف سموم و بهبود کارایی استراتژی‌های مدیریت آفات مؤثر هستند. همچنین، عوامل مختلفی همچون دسترسی به داده‌های به‌روز، پیچیدگی‌های محیطی و اقتصادی، و پذیرش فناوری‌های جدید توسط کشاورزان به عنوان چالش‌های مهم در مسیر توسعه و اجرای DSS‌ها شناسایی شده‌اند. در نهایت، مقاله به بررسی رویکردی با معماری سه لایه برای غلبه بر این چالش‌ها و محدودیت‌ها در توسعه سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری می‌پردازد. هدف اصلی این مقاله تسهیل استفاده از فناوری‌های نوین برای بهبود مدیریت آفات و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی است.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری، مدیریت یکپارچه آفات، DSS، IPM، امنیت غذایی.

مقدمه

امنیت غذایی به معنای دسترسی همه افراد به غذای کافی، مغذی و سالم است که نیازهای تغذیه‌ای آنان را در طول زندگی تأمین کند. در قرن ۲۱، تهدیدات مختلفی مانند تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت جهانی، بحران‌های اقتصادی و به ویژه آفات و استفاده گسترده از سموم شیمیایی، امنیت غذایی را به چالش کشیده‌اند. در این میان، آفات و سموم شیمیایی دو عامل مهم هستند که تأثیرات عمیقی بر تولید، کیفیت و دسترسی به غذا دارند. آفات کشاورزی یکی از مهمترین تهدیدات برای تولید غذا در جهان هستند. آفات می‌توانند به محصولات زراعی به طور مستقیم آسیب رسانده و باعث کاهش تولید شوند. این آسیب‌ها شامل خسارات به برگ‌ها، ریشه‌ها، میوه‌ها و دانه‌ها است که در نهایت منجر به کاهش کیفیت و مقدار محصول می‌شود. از طرف دیگر، آفات می‌توانند بیماری‌های گیاهی و جانوری ایجاد کرده و روند رشد محصولات را مختل کنند. آفات کشاورزی به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری که شرایط برای رشد و تکثیر آنها فراهم است، به شدت تهدید کننده امنیت غذایی هستند.

برای کنترل آفات، استفاده از سموم شیمیایی رایج‌ترین روش در کشاورزی صنعتی است. این سموم می‌توانند به کاهش خسارات ناشی از آفات کمک کنند و در کوتاه‌مدت موجب افزایش تولید محصولات شوند. اما استفاده بی‌رویه و نادرست از سموم شیمیایی خود تهدیدات بزرگی برای امنیت غذایی ایجاد می‌کند. تهدیداتی همچون آلودگی منابع غذایی و محیط زیست و آسیب به تنوع زیستی.

برای حفاظت از امنیت غذایی در برابر آفات و سموم شیمیایی، یکی از راهکارها مدیریت یکپارچه آفات (IPM) می‌باشد که به‌عنوان یک رویکرد جامع برای کنترل آفات، استفاده از روش‌های مختلفی از جمله کنترل بیولوژیک، زراعی، مکانیکی و شیمیایی را در بر می‌گیرد. این روش‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که وابستگی به سموم شیمیایی را کاهش دهند و در عین حال به حفظ پایداری محیط زیست کمک کنند (Kogan, 1998).

سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری ابزارهای نرم‌افزاری هستند که به کاربران کمک می‌کنند تا در شرایط پیچیده و نامطمئن، تصمیمات بهینه بگیرند. این سیستم‌ها با استفاده از داده‌های ورودی، مدل‌های تحلیلی، و شبیه‌سازی‌ها، اطلاعاتی را برای اتخاذ تصمیمات آگاهانه در اختیار کاربران قرار می‌دهند. در زمینه مدیریت یکپارچه آفات (IPM)، سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری به‌طور خاص طراحی شده‌اند تا کشاورزان، مشاوران و دیگر ذینفعان را در انتخاب بهترین استراتژی‌های کنترل آفات یاری دهند. در کشاورزی، سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری هوشمند (IDSS) برای بهینه‌سازی تعدادی از چالش‌های برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری تحت محدودیت‌های متغیر استفاده شده‌اند (Padma et al., 2017).

هدف اصلی این تحقیق، بررسی و تحلیل نقش سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در انتشار فناوری‌های مدیریت یکپارچه آفات است. این مقاله سعی دارد تا اهمیت سیستم‌های DSS را در بهینه‌سازی فرآیندهای تصمیم‌گیری در کشاورزی و به‌ویژه در زمینه مدیریت آفات معرفی کند. همچنین تصویری جامع از وضعیت فعلی و پتانسیل‌های آینده استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در نشر و به کارگیری فناوری‌های IPM ارائه می‌دهد تا راهکارهای کاربردی برای مدیریت بهتر آفات و پایداری کشاورزی فراهم گردد.

این مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش "تعریف مفاهیم" اطلاعات پس‌زمینه‌ای درباره IPM و سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد. در بخش "نتایج بررسی مقالات مختلف" توضیحاتی در مورد مقالات مرتبط را بیان می‌کند و رویکردی با معماری سه لایه برای غلبه بر چالش‌ها و محدودیت‌های مربوطه را مورد تحلیل قرار می‌دهد و در نهایت، در بخش "بحث و نتیجه‌گیری" خلاصه و جمع‌بندی نهایی مقاله را ارائه می‌دهد.

تعریف مفاهیم

مدیریت یکپارچه آفات

مدیریت یکپارچه آفات تعریف استاندارد ندارد و بیش از ۱۰۰ تعریف مختلف توسط محققان ارائه شده است (Deguine et al., 2021) با این حال، بیشتر این تعاریف بر چهار اصل اساسی متمرکز هستند (Stenberg, 2017):

- (۱) ادغام تکنیک ها برای دستیابی به مدیریت آفات مؤثر و پایدار.
 - (۲) قابلیت اقتصادی-اجتماعی برای کاهش استفاده از سموم شیمیایی و به حداقل رساندن آثار منفی بر سلامت انسان و محیط زیست.
 - (۳) بهینه سازی راه حل های مبتنی بر طبیعت که اجازه استفاده از روش های کنترل طبیعی آفات را می دهد تا آثار منفی بر اکوسیستم کشاورزی به حداقل برسد.
 - (۴) استفاده از سموم شیمیایی به عنوان آخرین راه حل، زمانی که سایر روش های کنترل آفات نتوانسته اند نتایج مطلوب را به دست آورند.
- زمانی که فناوری های IPM به دقت ترکیب شوند، جمعیت آفات را به روشی محیط زیست پسند و مقرون به صرفه کنترل می کنند که منجر به تولید محصولات و میوه های بدون آفت و سم می شود (Niassy et al., 2022).

ارائه و انتشار فناوری های مدیریت یکپارچه آفات (IPM)

فناوری ها در مدیریت یکپارچه آفات نقشی حیاتی ایفا می کنند؛ چرا که این فناوری ها به کشاورزان کمک می کنند تا تصمیمات بهتری در زمینه پیش بینی، شناسایی و کنترل آفات بگیرند. فناوری های اطلاعات و ارتباطات (ICT) در IPM می توانند به کشاورزان کمک کنند. مانند:

سیستم های پشتیبان تصمیم گیری: این سیستم ها به کشاورزان کمک می کنند تا با استفاده از داده های مختلف (دما، رطوبت، اطلاعات مربوط به آفات و غیره)، تصمیمات بهینه برای زمان بندی و نوع کنترل آفات بگیرند.

پلتفرم های آنلاین و اپلیکیشن ها: استفاده از فناوری های موبایلی و پلتفرم های آنلاین که اطلاعات مربوط به وضعیت آفات، شرایط محیطی و پیشنهادات علمی را در اختیار کشاورزان قرار می دهند.

از جمله اهداف ارائه فناوری در IPM می توان به افزایش کارایی و اثربخشی کنترل آفات، کاهش استفاده از سموم شیمیایی و آسیب های زیست محیطی، پیش بینی و شناسایی دقیق تر آفات و کاهش هزینه ها و افزایش سودآوری اشاره کرد.

نتایج بررسی مقالات مختلف

بر اساس تحقیقات ما، انتشار استراتژی های پیشگیری IPM به طور قابل توجهی به پلتفرم های یادگیری مبتنی بر ICT و منابع بصری وابسته است. در حوزه پلتفرم های یادگیری مبتنی بر ICT، چندین پلتفرم منابع ارزشمندی مانند داده های آفات، هشدارهای فصلی، شناسایی میدانی، نقشه های توزیع، برگه های اطلاعاتی و نشریات مربوط به مناطق خاص یا به طور جهانی ارائه می دهند (Barratt et al., 2018).

در میان این پلتفرم ها، وبسایت Plantwise، که توسط مرکز کشاورزی و علوم زیستی بین المللی (CABI) توسعه یافته است، به خاطر تأثیر قابل تحسین خود در جامعه علمی برجسته است. Plantwise به ماموران ترویج اجازه می دهد

تا آفات و بیماری‌های زراعی را به سرعت و دقت تشخیص دهند و به کشاورزان کمک می‌کند تا استراتژی‌های مؤثر IPM را پیاده‌سازی کنند (Mason, 2021).

دیگر پلتفرم وب قابل توجه، Eurowheat.org است که به عنوان یک منبع جامع برای جمع‌آوری، تحلیل و انتشار اطلاعات حیاتی در مورد مدیریت بیماری‌های گندم در کشورهای عضو اتحادیه اروپا در بستر IPM طراحی شده است (Jørgensen et al., 2014). این پلتفرم به کشاورزان بینش‌های اساسی درباره وقوع بیماری‌های گندم، روش‌های پیشگیری و تمایز بیماری‌ها را ارائه می‌دهد. Eurowheat.org شامل دو بخش حیاتی، پاتوژن‌ها (عامل‌های بیماری‌زا) و مقاومت به قارچ‌کش‌ها است که به کنترل بیولوژیک آفات در کشت‌های گندم اختصاص دارد.

در مورد مواد بصری (بروشورها، نمودارها و ویدیوها)، گسترش ICT با افزایش استفاده از تلفن‌های همراه، کامپیوترها و تبلت‌ها، فرآیندهای یادگیری خودآموز را به طور قابل توجهی تقویت کرده است. مواد بصری به چالش‌هایی که کشاورزان در درک مفاهیم انتزاعی که نمایه ملموسی ندارند، روبه‌رو هستند، پاسخ می‌دهند. این چالش ممکن است به دلیل پیچیدگی‌های برخی از استراتژی‌های پیشگیری آفت زدگی ایجاد شود که نیاز به آشنایی بصری با دشمنان طبیعی و درک متوسطی از مفاهیم زراعی-کولوژیکی مرتبط با این فناوری‌ها دارد. به همین دلیل، مواد چاپی، ویدیوها و سایر منابع بصری به عنوان ابزارهای عملی برای انتشار فناوری‌های کنترل بیولوژیک ظهور کرده‌اند (Wyckhuys et al., 2018., Peshin et al., 2014).

مطالعات پیشگامانه، مانند مطالعه‌ای که توسط وان مله و همکاران (Van Mele et al., 2005) انجام شده، از ویدیوها به عنوان ابزاری برای انتقال دانش به کشاورزان استفاده کرده‌اند. در این مورد، کشاورزان بنگلادشی در روش‌های نوآورانه و پایدار نشانه گذاری برنج آموزش دیدند که به طور قابل توجهی به ترویج پیشگیری IPM از طریق فیلم‌های آموزشی، کارتون‌های انیمیشنی و فیلم‌ها کمک کرد. موفقیت این تلاش‌ها منجر به ایجاد پروژه‌های متعدد، از جمله تولید ویدیوهای برای ترویج فناوری‌های مختلف IPM شد.

چالش اصلی در انتشار فناوری‌های IPM

چالش اصلی در انتشار فناوری‌های IPM از طریق ابزارهای ICT، اطمینان از شرایط دسترسی عادلانه است. این شرایط شامل چهار جنبه است (Wyckhuys et al., 2018) که به این شکل بیان شده است: (۱) دسترسی انگیزشی (اشاره به انگیزه کشاورزان برای استفاده مداوم از ابزار)، (۲) دسترسی مادی (در دسترس بودن تجهیزات دیجیتال و اتصال اینترنتی قابل اعتماد)، (۳) دسترسی مهارتی (توانایی کشاورز در بهره‌برداری مؤثر از تجهیزات دیجیتال) و (۴) دسترسی به استفاده (زمان تخصیص یافته برای استفاده). تأمین تمامی این شرایط برای تضمین یک تجربه یادگیری بهینه در دستیابی به فناوری مورد نظر حیاتی است. متأسفانه، این شرایط همیشه تضمین شده نیستند، به ویژه در برخی از مناطق گرمسیری در حال توسعه که دسترسی به اینترنت یا وجود ندارد یا به شدت محدود است.

سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای ترویج IPM

مطالعات متعددی استفاده از DSS را برای بهینه‌سازی و انتشار تاکتیک‌های IPM پیشنهاد می‌کنند (Phoksawat et al., 2019., Lagos-Ortiz et al., 2020., Pahmeyer et al., 2021). این DSS در انجام وظایفی همچون جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها (شامل آب و هوا، رشد محصول و جمعیت آفات)، انتخاب محصول، ارزیابی فناوری و ارزیابی مناسب بودن زمین بسیار ارزشمند است. اصول و مازول‌های این DSS معمولاً با فناوری‌های خاصی که خدمات

می دهند، هم راستا هستند. به عنوان مثال، در چرخش محصول، برخی DSS ها از مدل های برنامه ریزی خطی استفاده می کنند که بر اساس داده های آب و هوایی، سنجش از دور و سایر منابع عمل می کنند. در مقابل، دیگر DSS های چرخش محصول از الگوریتم های یادگیری ماشین بهره می برند که داده های تاریخی محصولات را تجزیه و تحلیل می کنند تا توصیه هایی در مورد چرخش محصول ارائه دهند.

در مورد اول، ابزار وب Fruchtfolge از یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) استفاده می کند. این مدل نوع و کیفیت خاک، تأثیرات محصولات قبلی و ساعات کاری ماهانه کشاورزان را در نظر می گیرد. این ابزار با استفاده از Node.js در سمت سرور و جاوا اسکریپت در سمت کلاینت توسعه یافته و از معماری سه لایه استفاده می کند. لایه ارائه شامل صفحات ورود، ورودی داده و نتایج است، در حالی که لایه کاربرد شامل موتور برنامه ریزی خطی است که مسئول محاسبات و تصمیم گیری است. لایه ذخیره سازی شامل یک پایگاه داده است که به پنج منبع داده خارجی از طریق سه رابط برنامه نویسی کاربردی (API) متصل می شود. معماری Fruchtfolge با توجه به طراحی سه لایه و API های توسعه یافته اش، بر کارایی، از طریق ماژولار بودن و تعامل پذیری تاکید دارد. با این حال، قابلیت استفاده از این ابزار در حال حاضر به زبان آلمانی محدود است.

در مورد دوم، از روش شناسی مدل حافظه بلند مدت کوتاه مدت توالی به توالی استفاده می شود (Dupuis et al., 2023). این رویکرد از یک مدل شبکه عصبی بازگشتی برای پیش بینی محتمل ترین سناریوهای چرخش محصول که باید در یک زمین در فصل های زراعی آینده پیاده سازی شوند، استفاده می کند و به الگوهای تاریخی کشت توجه دارد. به عنوان یک DSS مبتنی بر انتولوژی، می توان به پلتفرم وب AgriEnt اشاره کرد (Lagos-Ortiz et al., 2020)، که از دانش کارشناسان در مورد آفات حشره ای تأثیرگذار بر محصولات اکوادوری برای ارائه پشتیبانی تصمیم گیری در مدیریت آفات کشت استفاده می کند و از یک موتور استنتاج مبتنی بر قواعد بهره می برد. AgriEnt از یک معماری چهار لایه جامع پیروی می کند.

لایه ارائه شامل اجزای ضروری مانند صفحات ورود، تشخیص و پیشگیری است. لایه خدمات وب دارای یک API مبتنی بر انتقال حالت نمایشی است که مسئول پردازش تمام درخواست های ورودی می باشد. لایه معنایی بر اساس یک انتولوژی و موتور استنتاج مبتنی بر قواعد عمل می کند. انتولوژی به نام "AgriEnt-Ontology"، که با استفاده از نرم افزار Protégé (Knublauch et al., 2004) و زبان انتولوژی وب توسعه یافته، شامل دانش مربوط به محصولات، بیماری ها، علائم، حشرات، آفات حشره ای و توصیه های درمانی است. موتور استنتاج، علل بیماری محصولات را از طریق قواعد مبتنی بر زبان قاعده وب معنایی شناسایی می کند. در نهایت، لایه داده شامل یک مخزن مبتنی بر چارچوب توصیف منبع است که شامل نمونه های محصولات و مجموعه ای از اسناد مرتبط با IPM به صورت معنایی فهرست شده است.

سیستم های پشتیبان تصمیم گیری نظارتی

در بسیاری از موارد، DSS های نظارتی معمولاً از دو ماژول اساسی تشکیل شده اند (Rincon et al., 2023). ماژول اول به شناسایی آفات مدیریت شده توسط DSS کمک می کند و برخی سیستم ها حتی این قابلیت را برای شناسایی دشمنان طبیعی آفات هدف نیز گسترش می دهند تا کنترل پایداری را ترویج دهند. ماژول دوم که معمولاً به عنوان "محاسبه گر آستانه اقتصادی" شناخته می شود، طراحی شده است تا با استفاده از معیارهای ارزیابی اقتصادی مستقر و

داده‌های ارائه شده توسط کشاورز، جمعیت آفتی را محاسبه کند که در آن اجرای یک فناوری IPM از نظر اقتصادی توجیه پذیر می‌شود و هزینه‌های از دست رفتن محصول را برابر می‌سازد.

پلتفرم وب AGROSAVIA یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری است که برای مدیریت کرم برگ‌خوار گوجه‌فرنگی در گوجه‌فرنگی‌های گلخانه‌ای طراحی شده است. این ابزار با استفاده از فریم‌ورک شاینی توسعه یافته است. معماری نرم‌افزاری AGROSAVIA از یک رویکرد دو لایه پیروی می‌کند، به طوری که لایه ارائه از HTML، CSS و جاوااسکریپت استفاده می‌کند و لایه کاربردی از قابلیت‌های محاسباتی زبان R بهره می‌برد و بر فرآیندهای پیچیده محاسباتی تمرکز می‌کند و عملیات ذخیره‌سازی پایدار را کنار می‌گذارد.

سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای کنترل آفات

با پیشرفت‌های اخیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات، یک روند قابل توجه ظهور می‌کند: سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای کنترل آفات به طور فزاینده‌ای با وجود یک مازول که به کشاورزان در انتخاب مناسب‌ترین فناوری کمک می‌کند، مشخص می‌شوند. این فرآیند به عنوان مشکل کنترل آفات IPM شناخته می‌شود، که شامل اتخاذ تصمیمات در مورد فناوری‌های IPM برای اراضی زراعی زمانی است که فعالیت آفات از آستانه‌های تعیین شده فراتر رود (del Aguila et al., 2015., Cañadas et al., 2017). در متن زیر، ما ۳ ابزاری را معرفی خواهیم کرد که با این ویژگی نوآورانه توسعه یافته‌اند.

اولین ابزار، Web-Pest، یک سیستم وب مبتنی بر دانش ماژولار طراحی شده برای پشتیبانی از مشکل کنترل آفات IPM است که به حرفه‌ای‌های کشاورزی این امکان را می‌دهد تا مشاهدات زراعی را وارد کنند. این داده‌ها سپس توسط یک موتور استدلال با استفاده از زنجیره‌سازی معکوس پردازش می‌شوند؛ به عبارتی، یک روش استدلال که با هدف آغاز می‌شود و به عقب برمی‌گردد تا شواهد حمایتی و فرضیات را پیشنهاد دهد و قوانین موجود در پایگاه دانش سیستم را ارزیابی کند. توصیه‌های Web-Pest عواملی مانند قطعه زمین، تاریخ نمونه‌برداری، مرحله فنوتیپیک گیاه، درصد حضور پاتوژن و وضعیت موجودات مفید را در نظر می‌گیرد. معماری نرم‌افزاری Web-Pest از طراحی سه لایه پیروی می‌کند. لایه رابط کاربری شامل صفحات وب و یک رابط مشترک برای تعامل با منطق کسب و کار زیرین است. لایه مدیریت شامل یک عامل Web-Pest برای فرآیند تصمیم‌گیری و یک موتور مبتنی بر قوانین برای انجام استدلال و استنتاج است. موتور مبتنی بر قوانین به زبان برنامه‌نویسی C کدگذاری شده است. لایه پایداری شامل دو پایگاه داده است: یکی برای ذخیره مشاهدات وارد شده به سیستم و دیگری برای مدیریت نمایندگی دانش.

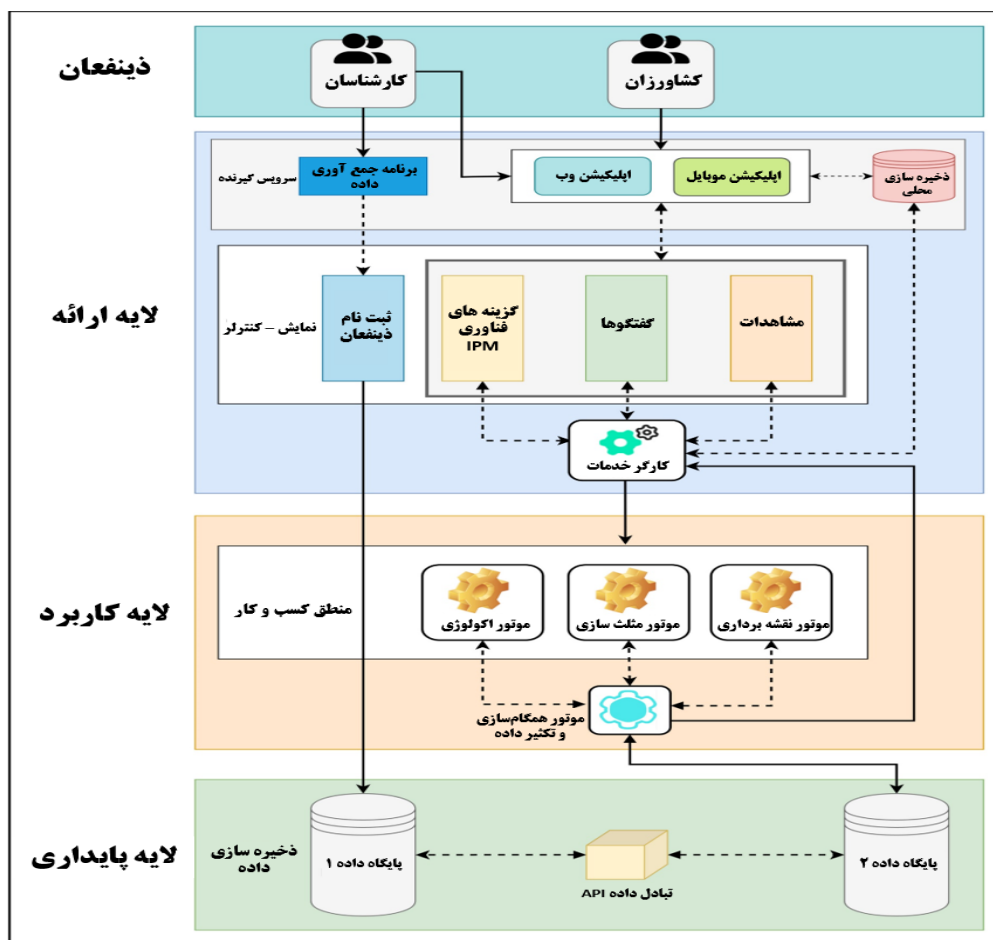
دومین ابزار، SAVIA، یک پلتفرم وب مبتنی بر جاوا است که در تعیین درمان‌های لازم زمانی که آستانه‌های اقدام آفت‌ها برآورده می‌شوند، کمک می‌کند و به طور عمده بر برآورد ریسک آفت تمرکز دارد تا جایگزین مشاهدات دستی کارشناسان در مدیریت زراعی شود. نوآوری آن در تولید کل کد خود از طریق یک رویکرد توسعه مبتنی بر مدل نهفته است. این رویکرد امکان مشخص کردن قوانین توصیه‌ای را با استفاده از زبان مدل‌سازی مفهومی فراهم می‌کند که تحت تبدیلات مدل به یک برنامه وب و مبتنی بر قوانین تبدیل می‌شود. SAVIA از الگوی مدل-نمایش-کنترلر در معماری نرم‌افزاری خود پیروی می‌کند و از اجزای JSF و JBoss Rich Faces برای نمایه‌ها و از موتورهای JESS برای کنترلرها و مدل‌ها استفاده می‌کند. این معماری جداسازی نگرانی‌ها را ترویج می‌کند و نگهداری و گسترش را تسهیل می‌کند، اما لایه پایداری داده‌ها را ندارد.

سومین ابزار، سیستم کمک تصمیم گیری دانشگاه ایالت واشنگتن، توسط دانشگاه ایالت واشنگتن توسعه یافته و در این مقاله (Jones et al., 2010) برای مدیریت آفات درختان میوه واشنگتن مستند شده است. این ابزار پیش‌بینی‌هایی درباره آفات و بیماری‌های گیاهی ارائه می‌دهد، توصیه‌های مدیریتی را ارائه می‌کند و یک پایگاه داده سموم حشره‌کش با اطلاعات مربوط به اثرات غیرمستقیم را شامل می‌شود. سیستم کمک تصمیم‌گیری دانشگاه ایالت واشنگتن از معماری نرم‌افزاری مبتنی بر پایگاه داده MySQL استفاده می‌کند که داده‌های آب و هوا، مدل‌های حشرات و بیماری‌ها و ردیابی وضعیت آفات را بر اساس زمان فیزیولوژیکی ادغام می‌کند. این طراحی، رابط‌ها را از زیرروال‌های مدل جدا می‌کند و نگهداری، سفارشی‌سازی رابط و ترجمه زبان، از جمله به اسپانیایی، را تسهیل می‌کند. به همین ترتیب، SOPRA (Samietz et al., 2011)، یک ابزار وب‌محور برای کنترل آفات باغ، شامل ماژول‌های پیش‌بینی وضعیت و جمعیت آفات است، تدابیر کنترلی را توصیه می‌کند و داده‌های آب و هوای محلی مانند تابش خورشیدی و دما را در نظر می‌گیرد.

در حالی که پیشرفت‌های قابل توجهی در حوزه DSS برای IPM حاصل شده است، چندین محدودیت پایدار مانع از پذیرش گسترده آن‌ها برای انتشار فناوری‌های کنترل می‌شود. همان‌طور که در مقاله (Rossi et al., 2012) و مثال‌های مطرح شده پیشین مشاهده شد، تمایل شایعی وجود دارد که بیشتر DSS‌ها بر رفع نگرانی‌های خاص تمرکز کنند، که معمولاً به کنترل آفات منفرد محدود می‌شود. این رویکرد غالباً با واقعیت‌های پیچیده‌ای که کشاورزان با آن‌ها روبرو هستند، که به طور مکرر با چندین مشکل آفت همزمان مواجه می‌شوند، همخوانی ندارد. علاوه بر این، عدم وجود رابط‌های کاربرپسند مانع قابل توجهی ایجاد می‌کند، زیرا بسیاری از کشاورزان سواد کامپیوتری محدودی دارند و با مواجهه با ابزارهای پیچیده یا غیر شهودی سردرگم می‌شوند.

رفع محدودیت‌های مربوط به انتخاب، پیاده‌سازی و پذیرش فناوری‌های IPM

رفع محدودیت‌های مربوط به انتخاب، پیاده‌سازی و پذیرش فناوری‌های IPM به رویکردهای نوآورانه DSS نیاز دارد. به این منظور، نویسندگان (Tonle et al., 2024) یک معماری نرم‌افزاری نوین را پیشنهاد داده‌اند که برای غلبه بر محدودیت‌ها طراحی شده است. این معماری از رویکرد طراحی متمرکز بر کاربر پیروی می‌کند و هدف آن ارائه حمایت جامع به کشاورزان و کارشناسان، از جمله متخصصان IPM است. DSS ساخته شده بر پایه این معماری، عملیات مختلفی از جمله جمع‌آوری داده‌ها، ثبت و تجسم مشاهدات، پشتیبانی چت در زمان واقعی و مشاوره در زمینه پیاده‌سازی فناوری‌های IPM را تسهیل می‌کند. همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌کنید، این معماری سه‌لایه است و برای ارائه همزمان حمایت به کاربران طراحی شده است. رویکرد متمرکز بر کاربر آن، طیف وسیعی از کاربران با سطوح مختلف مهارت دیجیتال را در بر می‌گیرد. با این حال، موفقیت در پیاده‌سازی به رفع چالش‌هایی مانند آموزش کاربران، اطمینان از کیفیت داده‌ها، تأمین منابع کافی، مقیاس‌پذیری برای جذب پایگاه‌های کاربری در حال رشد و سفارشی‌سازی برای مناطق و زبان‌های مختلف بستگی دارد. در نهایت، این معماری پتانسیل عظیمی برای انقلاب در شیوه‌های مدیریت آفات با ارائه توصیه‌های سفارشی فناوری‌های IPM و تقویت تبادل دانش و همکاری در جامعه کشاورزی دارد. این بخش لایه‌ها و اجزای معماری این رویکرد را ارائه می‌دهد.



لایه ارائه

DSS ناشی از این معماری می تواند از طریق چندین کانال، از جمله برنامه های جمع آوری داده مانند Open Data Kit و Enketo، برنامه های وب و برنامه های موبایل، دسترسی پیدا کند و پلتفرم متنوعی را برای کاربران فراهم کند. به ویژه، برنامه جمع آوری داده، که به طور عمده برای کارشناسان طراحی شده، دارای ماژول "ثبت نام ذینفعان" است. این ماژول جمع آوری اطلاعات شرکت کنندگان را در رویدادهای ترویج فناوری، ساده می کند. این امکان را برای پژوهشگران و کارشناسان فراهم می آورد تا داده های ضروری برای ردیابی شرکت کنندگان و نظارت بر پذیرش فناوری را جمع آوری کنند و با اصول طراحی کاربر محور برای رابط های کاربر پسند هم راستا باشد. برنامه های وب و موبایل به سه ماژول اصلی DSS دسترسی می دهند. ماژول اول، "گزینه های فناوری IPM"، به عنوان یک مخزن دانش عمل می کند و شامل اطلاعاتی درباره حشرات، شکارچیان طبیعی آنها، توصیه های عمومی و پیشنهادات کارشناسان برای کنترل آفات با حفظ اکوسیستم است. همچنین توصیه های فناوری IPM شخصی سازی شده ای را بر اساس زمینه های اکولوژیکی محلی کاربر ارائه می دهد. ماژول دوم، "گفتگوها"، فضایی همکارانه برای کاربران جهت شرکت در بحث ها و به اشتراک گذاری تصاویر مرتبط با مسائل حشرات، ایجاد می کند. ماژول سوم، "مشاهدات"، به طور اختصاصی برای کارشناسان طراحی شده و به آنها اجازه می دهد تا داده های مربوط به رویدادهای غیرمعمول مرتبط با آفات یا محصولات را ثبت، ذخیره و تحلیل کنند. برای اطمینان از عملکرد بدون وقفه، معماری شامل یک پایگاه داده محلی است که قابلیت های سیستم را حتی در شرایط ناپایدار اینترنت حفظ

می کند. علاوه بر این، یک مؤلفه کارگر خدمات یکپارچه شده است که به تسهیل کش کردن منابع، دسترسی آفلاین و ارتباط مؤثر با لایه کاربرد کمک می کند.

لایه کاربرد

لایه کاربرد به عنوان ستون فقرات سیستم عمل می کند و مسئول اجرای منطق تجاری اصلی است. در این لایه، سه موتور مجزا فعالیت می کنند که هر یک به حل محدودیت های خاصی که قبلاً شناسایی شده اند، اختصاص دارد: موتور اکولوژی کشاورزی، موتور مثلث سازی، و موتور نقشه برداری.

هدف اصلی موتور اکولوژی کشاورزی تأمین ماژول "گزینه های فناوری IPM" با یک فهرست سفارشی از فناوری های IPM است که با ویژگی های اکولوژیکی خاص محل کاربر هم راستا می باشد. برای دستیابی به این هدف، موتور از یک رویکرد دو مرحله ای استفاده می کند. در مرحله اول، یک الگوریتم طبقه بندی اکولوژیکی کشاورزی به کار گرفته می شود که از دامنه وسیعی از متغیرهای بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی، از جمله آب و هوا، خاک ها، منابع آبی و عوامل جمعیتی استفاده می کند که همگی به وسیله مختصات جغرافیایی میدان تعیین می شوند (Kombat et al., 2021). پس از آن، یک الگوریتم دوم از نتایج این طبقه بندی به همراه اطلاعات مربوط به آفت هدف استفاده می کند. این اطلاعات دو پرسش مجزا را در پایگاه داده تحریک می کند. پرسش اول فناوری های IPM سازگار با آفت را بازیابی می کند، در حالی که پرسش دوم فناوری هایی را شناسایی می کند که با کلاس اکولوژیکی میدان هم خوانی دارند. با اعمال معیارهای از پیش تعیین شده مانند اثربخشی، در دسترس بودن، هزینه و پایداری، موتور نتایج این دو پرسش را تلفیق کرده و فهرستی از مناسب ترین فناوری های IPM برای کنترل آفت را به طور خاص برای زمینه اکولوژیکی محلی تولید می کند.

هدف موتور مثلث سازی بهبود تجربه کاربری با ادغام ویژگی ای برای شناسایی کاربران نزدیک در ماژول "گفتگوها" است. این قابلیت می تواند کاربردهای متنوعی داشته باشد، از جمله اتصال کشاورزان برای شبکه سازی و همکاری یا شناسایی خریداران یا تأمین کنندگان بالقوه برای محصولات کشاورزی. این موتور می تواند به طور قابل توجهی به تسهیل اشتراک گذاری دانش درباره فناوری های کنترل زیستی و فرهنگی کمک کند. در واقع، کاربرانی که از نظر جغرافیایی به یکدیگر نزدیک هستند، احتمالاً به یک ناحیه اکولوژیکی مشابه تعلق دارند و توصیه های مشابهی برای مدیریت آفات دارند. با استفاده از این رویکرد مبتنی بر نزدیکی، این موتور می تواند اشتراک گذاری دانش و همکاری بین کاربران همسایه را تسهیل کند و به آنها اجازه دهد بازخورد و دانشی را که در طول و بعد از اجرای فناوری های توصیه شده به دست آورده اند، به اشتراک بگذارند.

در عملکرد این موتور، ورودی هایی شامل مختصات جغرافیایی آدرس کشاورز، مختصات جغرافیایی مزرعه آنها و دو شعاع مشخص شده دریافت می شود. ابتدا، این موتور مزرعه کشاورز را از نظر اکولوژیکی طبقه بندی می کند و از الگوریتمی مشابه با "موتور اکولوژی" استفاده می کند. سپس، با استفاده از شعاع اول به عنوان ورودی، این موتور تمام مزرعه های نزدیک به مزرعه کشاورز با همان طبقه بندی اکولوژیکی را شناسایی می کند. پس از آن، با استفاده از الگوریتم دیگری، فهرست کاربران مرتبط با این مزرعه های همسایه را تعیین می کند. موتور مختصات جغرافیایی آدرس این کاربران را بازیابی کرده و از شعاع ورودی دوم برای شناسایی کاربران نزدیک به کشاورز استفاده می کند و در نهایت فهرست کاربران نزدیک را به عنوان نتیجه نهایی ارائه می دهد. یک تقویت ممکن برای بهبود کارایی این موتور و ماژول "گفتگوها" این است که تکنیک های پردازش زبان طبیعی و شبکه های عصبی کانولوشن را برای معرفی یک

چت بات نوآورانه ادغام کند. این چت بات می تواند آفات را شناسایی کند یا مشکلات محصولات را از تصاویری که کاربران ارائه می دهند، تشخیص دهد و با موتور اکولوژی همکاری کند تا فناوری های مناسب IPM را پیشنهاد دهد. موتور نقشه برداری عمدتاً از ماژول "مشاهدات" پشتیبانی می کند و یک نقشه تعاملی برای تجسم رکوردهای کارشناسان ارائه می دهد. همچنین می تواند مشاهدات را بر اساس معیارهایی مانند کشور، محصول یا آفت فیلتر کرده و به کاربران اجازه دهد آنها را در فرمت های مختلف دانلود کنند. این موتور ورودی هایی از معیارهای فیلتر کردن ماژول "مشاهدات" می گیرد و مشاهدات مرتبط و مختصات جغرافیایی آنها را از طریق یک پرس و جو در پایگاه داده بازیابی می کند. سپس این مشاهدات به یک رابط برنامه نویسی کاربردی نقشه برداری منتقل می شوند تا برای ارائه یک نقشه تعاملی از مشاهدات فیلتر شده به خروجی تبدیل شوند.

یک چالش مهم این موتور می تواند مسئله مقیاس پذیری باشد. با افزایش تعداد مشاهدات، زمان پردازش برای بازیابی و تجسم داده ها ممکن است به طور تصاعدی افزایش یابد، که منجر به زمان پاسخ دهی کند و تجربه کاربری ضعیف می شود. در قسمت پایینی این سه موتور، یک موتور همگام سازی و تکثیر داده نیز در معماری وجود دارد که خدمات همگام سازی و تکثیر داده ها را بین لایه های مختلف فراهم می کند. این موتور با انجام ارتباطات منظم بین پایگاه داده محلی لایه ارائه، موتورهای لایه کاربرد و پایگاه های داده لایه پایداری، از یکپارچگی داده ها اطمینان حاصل می کند. این یک جزء حیاتی در حفظ صحت و قابلیت اعتماد داده های سیستم است و اطمینان می دهد که داده ها حتی در غیاب اتصال اینترنتی در دسترس هستند.

لایه پایداری

این لایه از معماری شامل دو سیستم ذخیره سازی است. اولی یک پایگاه داده رابطه ای است که به برنامه جمع آوری داده ها متصل است و عمدتاً در رویدادهای انتشار فناوری برای ثبت داده های ذینفعان مانند نام ها، تماس ها، آدرس ها، مزارع و فناوری های IPM آموزشی استفاده می شود. دومی یک پایگاه داده NoSQL است که توسط برنامه های وب و موبایل از طریق سه موتور لایه کاربردی مورد استفاده قرار می گیرد. این پایگاه داده شامل فهرست کاربرانی با نقش های مختلف (کارشناسان، نمایندگان ترویج، کشاورزان)، مشاهدات صادر شده توسط کارشناسان و یک فهرست دسته بندی شده از فناوری های IPM است که هسته سیستم توصیه گر را تشکیل می دهد. همچنین لازم به ذکر است که دو سیستم ذخیره سازی باید شامل رمزگذاری داده ها و کنترل های دسترسی قوی نیز باشند تا از محرمانگی و مالکیت داده های ارائه شده توسط کشاورزان اطمینان حاصل کنند و بدین ترتیب حریم خصوصی و امنیت را تضمین کنند.

بحث و نتیجه گیری

ترویج پذیرش فناوری های مدیریت یکپارچه آفات (IPM) در کشورهای در حال توسعه چالشی بزرگ برای جامعه علمی به شمار می رود. برای رفع این چالش، ابزارهای نوآورانه انتشار با ویژگی های پیشرفته ضروری هستند تا یادگیری و پذیرش این فناوری ها را تسهیل کنند. بر اساس بررسی ابزار انتشار فناوری های کنترل بیولوژیکی و فرهنگی، این مطالعه محدودیت های کلیدی را که مانع از استفاده منظم کشاورزان می شود، شناسایی کرده است. برای غلبه بر این چالش ها و بهبود تجربه کاربری، یک رویکرد طراحی متمرکز بر کاربر به صورت یک معماری نرم افزاری برای سیستم های پشتیبان تصمیم گیری ویژه کشاورزان و کارشناسان بررسی شده است. این معماری به مسائل دسترسی با ادغام یک پایگاه داده محلی برای استفاده آفلاین، یک موتور نقشه برداری برای بصری سازی داده های کاربرپسند و

یک برنامه جمع آوری داده ها برای ثبت نام ساده کاربران می پردازد. همچنین، از طریق یک مازول گفت و گو که با یک موتور مثلث سازی ترکیب شده، به مسائل بازخورد کاربر و اشتراک گذاری دانش پرداخته می شود تا شبکه سازی بین کاربران DSS تسهیل شود.

با رسیدگی به این چالش های شناسایی شده و ادغام مازول ها و موتورهای بررسی شده، انتظار می رود این معماری به طور قابل توجهی انتشار فناوری های IPM را بهبود بخشد. علاوه بر این، این معماری پایه ای برای تلاش های تحقیق و توسعه آینده را ایجاد می کند تا یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری مرجع برای ارائه فناوری IPM بر اساس بینش های به دست آمده از این مطالعه ایجاد کند.

منابع

- Kogan, M. (1998). *Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments*. Annual review of entomology, 43(1), 243-270.
- Padma, T., Mir, S. A., & Shantharajah, S. P. (2017). *Intelligent decision support system for an integrated pest management in apple orchard*. Intelligent Decision Support Systems for Sustainable Computing: Paradigms and Applications, 225-245.
- Deguine, J. P., Aubertot, J. N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A., & Ratnadass, A. (2021). *Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review*. Agronomy for Sustainable Development, 41(3), 38.
- Stenberg, J. A. (2017). *A conceptual framework for integrated pest management*. Trends in plant science, 22(9), 759-769.
- Niassy, S., Murithii, B., Omuse, E. R., Kimathi, E., Tonnang, H., Ndlela, S., ... & Ekesi, S. (2022). *Insight on fruit fly IPM technology uptake and barriers to scaling in Africa*. Sustainability, 14(5), 2954.
- Barratt, B. I. P., Moran, V. C., Bigler, F., & Van Lenteren, J. C. (2018). *The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future*. BioControl, 63, 155-167.
- Mason, P. G. (Ed.). (2021). *Biological control: global impacts, challenges and future directions of pest management*. Csiro Publishing.
- Jørgensen, L. N., Hovmøller, M. S., Hansen, J. G., Lassen, P., Clark, B., Bayles, R., ... & Berg, G. (2014). *IPM strategies and their dilemmas including an introduction to www. eurowheat.org*. Journal of Integrative Agriculture, 13(2), 265-281.
- Wyckhuys, K. A., Bentley, J. W., Lie, R., Nghiem, L. T. P., & Fredrix, M. (2018). *Maximizing farm-level uptake and diffusion of biological control innovations in today's digital era*. BioControl, 63, 133-148.
- Peshin, R., Jayaratne, K. S. U., & Sharma, R. (2014). *IPM extension: a global overview*. Integrated pest management, 493-529.
- Van Mele, P., Zakaria, A. K. M., & Bentley, J. W. (2005). *Watch and learn: video education for appropriate technology*. Innovations in rural extension: Case studies from Bangladesh, 77-88.
- Phoksawat, K., Mahmuddin, M., & Ta'a, A. (2019). *Intercropping in Rubber Plantation Ontology for a Decision Support System*. Journal of Information Science Theory & Practice (JISaP), 7(4).
- Lagos-Ortiz, K., Salas-Zárate, M. D. P., Paredes-Valverde, M. A., García-Díaz, J. A., & Valencia-García, R. (2020). *AgriEnt: A knowledge-based web platform for managing insect pests of field crops*. Applied Sciences, 10(3), 1040.
- Pahmeyer, C., Kuhn, T., & Britz, W. (2021). 'Fruchtfolge': A crop rotation decision support system for optimizing cropping choices with big data and spatially explicit modeling. Computers and Electronics in Agriculture, 181, 105948.
- Dupuis, A., Dadouchi, C., & Agard, B. (2023). *Methodology for multi-temporal prediction of crop rotations using recurrent neural networks*. Smart Agricultural Technology, 4, 100152.
- Knublauch, H., Fergerson, R. W., Noy, N. F., & Musen, M. A. (2004). *The Protégé OWL plugin: An open development environment for semantic web applications*. In The Semantic Web-

- ISWC 2004: Third International Semantic Web Conference, Hiroshima, Japan, November 7-11, 2004. Proceedings 3 (pp. 229-243). Springer Berlin Heidelberg.
- Rincon, D. F., Rivera-Trujillo, H. F., & Borrero-Echeverry, F. (2023). *A real-time decision-making tool based on dynamic thresholds for Phthorimaea absoluta management in greenhouse tomato*. Crop Protection, 167, 106196.
- del Aguila, I. M., Canadas, J., & Túnez, S. (2015). *Decision making models embedded into a web-based tool for assessing pest infestation risk*. Biosystems Engineering, 133, 102-115.
- Cañadas, J., del Aguila, I. M., & Palma, J. (2017). *Development of a web tool for action threshold evaluation in table grape pest management*. Precision Agriculture, 18, 974-996.
- Jones, V. P., Brunner, J. F., Grove, G. G., Petit, B., Tangren, G. V., & Jones, W. E. (2010). *A web-based decision support system to enhance IPM programs in Washington tree fruit*. Pest Management Science: formerly Pesticide Science, 66(6), 587-595.
- Samietz, J., Graf, B., Höhn, H., Schaub, L., Höpli, H. U., & Razavi, E. (2011). *Web-based decision support for sustainable pest management in fruit orchards: development of the Swiss system SOPRA*. Efficient Decision Support Systems-Practice and Challenges From Current to Future, InTech, 373-388.
- Rossi, V., Caffi, T., & Salinari, F. (2012). *Helping farmers face the increasing complexity of decision-making for crop protection*. Phytopathologia Mediterranea, 457-479.
- Tonle, F. B., Niassy, S., Ndadji, M. M., Tchendji, M. T., Nzeukou, A., Mudereri, B. T., ... & Tonnang, H. E. (2024). *A road map for developing novel decision support system (DSS) for disseminating integrated pest management (IPM) technologies*. Computers and Electronics in Agriculture, 217, 108526.
- Kombat, R., Sarfatti, P., & Fatunbi, O. A. (2021). *A review of climate-smart agriculture technology adoption by farming households in sub-saharan africa*. Sustainability, 13(21), 12130.

