



کشاورزی نسل پنجم

هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و یادگیری ماشینی

تألیف:

لطیف احمد فیراسات نابی

ترجمه:

دکتر محمدرضا خالدیان

دانشیار دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

مهسا حیدری

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی

مرکز نشر دانشگاه گیلان

۱۴۰۳



دانشگاه گیلان
۱۳۵۳-۱۹۷۴

شابک: ۹-۳۲۵-۱۵۳-۶۰۰-۹۷۸

سرشناسه	: احمد، لطیف
عنوان و نام پدیدآور	Ahmad, Latief : کشاورزی نسل پنجم؛ هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و یادگیری ماشینی / تألیف لطیف احمد، فیراسات نابی ترجمه محمدرضا خالدیان، مهسا حیدری علی کمر؛ ویراستار علمی افشین اشرفزاده؛ ویراستار ادبی محدثه میرجعفری.
مشخصات نشر	: رشت: دانشگاه گیلان، انتشارات، ۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری	: ۳۰۳ ص.
شابک	: 978-600-153-325-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Agriculture 5.0 : artificial intelligence, IOT and machine learning, 2021.
عنوان دیگر	: هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و یادگیری ماشینی.
موضوع	: هوش مصنوعی -- کاربردهای کشاورزی Artificial intelligence -- Agricultural applications
شناسه افزوده	: نابی، فیراسات
شناسه افزوده	: Nabi, Firasath
شناسه افزوده	: خالدیان، محمدرضا، ۱۳۵۷ -، مترجم
شناسه افزوده	: حیدری علی کمر، مهسا، ۱۳۷۷-، مترجم
شناسه افزوده	: اشرفزاده، افشین، ۱۳۵۳-، ویراستار
شناسه افزوده	: دانشگاه گیلان. انتشارات
رده بندی کنگره	: S۴۹۴/۵
رده بندی دیویی	: ۶۳۰/۲۸۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۹۴۲۷۳۷

مرکز نشر دانشگاه گیلان

عنوان کتاب	: کشاورزی نسل پنجم؛ هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و یادگیری ماشینی
مؤلفان	: لطیف احمد، فیراسات نابی
مترجمان	: دکتر محمدرضا خالدیان، مهسا حیدری
ویراستار علمی	: دکتر افشین اشرفزاده
ویراستار ادبی	: محدثه میرجعفری
نوبت چاپ	: اول، ۱۴۰۳
ناشر	: مرکز نشر دانشگاه گیلان
شمارگان	: ۱۰۰۰ جلد

* هرگونه چاپ و تکثیر صرفاً در اختیار مرکز نشر دانشگاه گیلان است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
نویسندگان.....	خ
مقدمه مترجمین.....	ذ
فصل اول: مقدمه‌ای بر کشاورزی دقیق	
۱-۱- تاریخچه کشاورزی دقیق و پذیرش جهانی آن	۲
۲-۱- کشاورزی دقیق-مقدمه	۳
۱-۲-۱- دیدگاه خارجی	۴
۲-۲-۱- دیدگاه هندی	۵
۳-۱- نیاز و هدف کشاورزی دقیق	۸
۴-۱- اجزای کشاورزی دقیق	۹
۱-۴-۱- اطلاعات	۹
۲-۴-۱- فناوری	۱۰
۳-۴-۱- مدیریت	۱۰
۵-۱- ابزارها و روش‌ها	۱۱
۱-۵-۱- سامانه موقعیت‌یابی جهانی	۱۱
۲-۵-۱- سیستم اطلاعات جغرافیایی	۱۱
۳-۵-۱- شبکه‌های حسگر بی‌سیم	۱۲
۴-۵-۱- پهپادها و ربات‌های کشاورزی	۱۲
۵-۵-۱- ماهواره‌ها	۱۳
۶-۵-۱- سیستم آبیاری دقیق	۱۳
۷-۵-۱- نرم‌افزار	۱۳
۸-۵-۱- مدیریت عملکرد محصول	۱۴
۹-۵-۱- پلتفرم‌های آنلاین	۱۴
۱۰-۵-۱- سنجش از راه دور	۱۴

۱۵.....	۶-۱-مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی
۱۶.....	۷-۱-کاربرد نرخ متغیر و فناوری نرخ متغیر
۱۸.....	۸-۱-پذیرش کشاورزی دقیق هوشمند
۱۹.....	۱-۸-۱-دامنه پذیرش کشاورزی دقیق در هند
۲۰.....	۲-۸-۱-استراتژی برای اتخاذ کشاورزی دقیق در هند
۲۱.....	۹-۱-برخی تصورات غلط در مورد کشاورزی دقیق
۲۲.....	۱-۹-۱-موانع پیش روی کشاورزان در استفاده از کشاورزی دقیق هندی
۲۲.....	۲-۹-۱-وضعیت فعلی کشاورزی دقیق در هند
۲۳.....	۳-۹-۱-وضعیت کشاورزی دقیق در برخی از کشورهای در حال توسعه
۲۴.....	۱۰-۱-نتیجه گیری
۲۵.....	منابع

فصل دوم: کشاورزی دقیق هوشمند

۲۸.....	۱-۲-کشاورزی مدرن
۲۹.....	۲-۲-دیجیتالی شدن کشاورزی-کشاورزی دیجیتال
۳۱.....	۳-۲-انتقال به کشاورزی دقیق هوشمند
۳۳.....	۴-۲-مزایای کشاورزی دقیق هوشمند
۳۳.....	۱-۴-۲-مدیریت مؤثر محصول
۳۴.....	۲-۴-۲-مدیریت عالی خاک
۳۴.....	۱-۲-۴-۲-نظارت از راه دور و آسان مزرعه
۳۵.....	۳-۴-۲-سامانه هوشمند و مدیریت کیفیت آب
۳۵.....	۴-۴-۲-ربات های کشاورزی هوشمند
۳۵.....	۵-۴-۲-دقت بالا در پیش بینی، تشخیص و کنترل بیماری
۳۶.....	۶-۴-۲-کاهش نیروی کار
۳۶.....	۷-۴-۲-از کشاورزی دقیق به کشاورزی نسل پنجم
۳۶.....	۸-۴-۲-گلخانه هوشمند

۳۷.....	۵-۲- نتیجه گیری
۳۸.....	منابع
فصل سوم: پذیرش شبکه حسگر بی سیم در کشاورزی هوشمند	
۴۲.....	۳-۱- حسگرها و شبکه حسگر بی سیم
۴۲.....	۳-۱-۱- زیرسامانه قدرت
۴۳.....	۳-۱-۲- زیرسامانه محاسباتی
۴۴.....	۳-۱-۳- زیرسامانه ارتباطی
۴۵.....	۳-۱-۴- زیرسامانه حسگر
۴۶.....	۳-۱-۵- شبکه های حسگر بی سیم چندرسانه ای
۴۶.....	۳-۱-۶- شبکه های حسگر بی سیم تلفن همراه
۴۷.....	۳-۲- تکامل شبکه حسگر بی سیم
۵۱.....	۳-۳- معرفی شبکه حسگر بی سیم در کشاورزی
۵۲.....	۳-۴- ویژگی حسگرهای مبتنی بر کشاورزی
۵۴.....	۳-۴-۱- استانداردها و پروتکل های ارتباطی
۵۴.....	۳-۴-۱-۱- وای فای
۵۵.....	۳-۴-۱-۲- بلوتوث
۵۵.....	۳-۴-۱-۳- سرویس بسته امواج رایویی نسل ۳ و نسل ۴
۵۶.....	۳-۴-۱-۴- وایمکس
۵۶.....	۳-۴-۲- ضرورت های سخت افزاری خاص
۵۹.....	۳-۴-۳- نیازهای نرم افزاری خاص
۶۲.....	۳-۵- انواع حسگرهای مورد استفاده در سامانه کشاورزی شبکه حسگرهای هوشمند
۶۴.....	۳-۵-۱- حسگرهای نوری
۶۵.....	۳-۵-۲- حسگرهای الکترو شیمیایی
۶۶.....	۳-۵-۳- حسگرهای الکترو مکانیکی
۶۷.....	۳-۵-۴- حسگرهای موقعیت یا مجاورت

۶۷.....	۳-۵-۵-حسگر آب و هوا و رطوبت
۶۸.....	۳-۵-۶-حسگرهای بینایی و تصویربرداری
۶۸.....	۳-۵-۷-حسگرهای مبتنی بر تلفن هوشمند
۶۸.....	۳-۶-حسگرهای دقیق در مقابل حسگرهای هوشمند
۶۹.....	۳-۷-تأثیر حسگرهای بی‌سیم بر کشاورزی سنتی
۷۰.....	۳-۸-کاربرد نرخ متغیر مبتنی بر حسگر
۷۰.....	۳-۹-برنامه شبکه حسگر بی‌سیم در کشاورزی دقیق
۷۲.....	۳-۹-۱-تجزیه و تحلیل خاک و خصوصیات آن
۷۲.....	۳-۹-۲-سنجش عملکرد
۷۲.....	۳-۹-۳-مدیریت علف‌های هرز
۷۲.....	۳-۹-۴-تشخیص و طبقه‌بندی بیماری
۷۳.....	۳-۹-۵-مدیریت آبیاری
۷۳.....	۳-۹-۶-مدیریت گلخانه
۷۳.....	۳-۹-۷-پایش آب و هوا
۷۴.....	۳-۱۰-مسائل و چالش‌های امنیتی برای پیاده‌سازی شبکه حسگر بی‌سیم
۷۵.....	۳-۱۱-نتیجه
۷۷.....	منابع

فصل چهارم: سامانه کشاورزی مبتنی بر اینترنت اشیا

۸۶.....	۴-۱-مقدمه
۸۷.....	۴-۱-۱-اینترنت اشیا
۹۱.....	۴-۱-۱-۱-چیزی که شیء در اینترنت اشیا به آن اشاره دارد
۹۵.....	۴-۱-۲-دستگاه‌های اینترنت اشیا و اشیای هوشمند
۹۷.....	۴-۲-کشاورزی با اینترنت اشیا
۱۰۱.....	۴-۲-۱-مدل مرجع ساده شده از اینترنت اشیا
۱۰۲.....	۴-۲-۲-ساختار چهار مرحله‌ای اینترنت اشیا

۳-۲-۴- ساختار اینترنت اشیاء در کشاورزی	۱۰۳
۳-۴- مروری کوتاه بر شبکه اینترنت اشیاء	۱۰۵
۳-۴-۱- مدل سازمان بین‌المللی استاندارد، اتصال داخلی سامانه و مدل سازمان بین‌المللی استاندارد اتصال داخلی سامانه ساده‌شده	۱۰۷
۳-۴-۲- لایه‌های مدل اتصال داخلی سامانه سازمان بین‌المللی استاندارد ساده‌شده	۱۰۷
۳-۴-۳- ارگان‌های استانداردسازی	۱۱۱
۳-۴-۴- برخی از فناوری‌ها و استانداردهای شبکه اینترنت اشیاء	۱۱۱
۴-۴- ویژگی‌های اینترنت اشیاء	۱۱۵
۴-۴-۱- پلتفرم‌های مختلف اینترنت اشیاء برای کشاورزی هوشمند	۱۱۷
۴-۴-۲- سخت‌افزار	۱۲۳
۴-۴-۳- سیستم‌های عامل	۱۲۴
۴-۴-۵- چالش‌های بین عملیاتی	۱۲۵
۴-۴-۶- کاربردهای اینترنت اشیاء در کشاورزی هوشمند	۱۲۶
۴-۴-۷- چالش‌های پیاده‌سازی اینترنت اشیاء در کشاورزی	۱۳۱
۴-۴-۸- مسائل مربوط به امنیت و حریم خصوصی یک اینترنت اشیاء	۱۳۳
۴-۸-۱- انواع تهدید	۱۳۴
۴-۹-۱- ادغام پلتفرم ابری با اینترنت اشیاء	۱۳۵
۴-۹-۱- ادغام کلان‌داده‌ها در کشاورزی هوشمند	۱۳۵
۴-۹-۲- پلتفرم ابری برای ذخیره‌سازی کلان‌داده‌های کشاورزی	۱۳۷
۴-۱۰- نتیجه	۱۴۰
منابع	۱۴۱

فصل پنجم: (هوش مصنوعی) کشاورزی هوشمند

۵-۱- مقدمه	۱۵۰
۵-۲- دسته‌بندی هوش مصنوعی	۱۵۴
۵-۲-۱- نوع اول (براساس سطح هوشمندبودن)	۱۵۴

۱۵۵.....	۵-۲-۲- نوع دوم (بر اساس عملکرد).
۱۵۶.....	۵-۳- زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی
۱۵۶.....	۵-۳-۱- یادگیری ماشینی.....
۱۵۶.....	۵-۳-۲- یادگیری عمیق
۱۵۶.....	۵-۳-۳- پردازش زبان انسان
۱۵۷.....	۵-۳-۴- سیستم متخصص
۱۵۷.....	۵-۳-۵- رباتیک
۱۵۷.....	۵-۳-۶- دید ماشینی
۱۵۸.....	۵-۳-۷- تشخیص گفتار
۱۵۸.....	۵-۴- چرخه زیست یک مدل مبتنی بر هوش مصنوعی.....
۱۶۱.....	۵-۵- پیشنهادها ساخت یک مدل کشاورزی مبتنی بر هوش مصنوعی یا یادگیری ماشینی ...
۱۶۲.....	۵-۶- مزایای هوش مصنوعی در کشاورزی
۱۶۳.....	۵-۷- نتیجه
۱۶۴.....	منابع.....

فصل ششم: کشاورزی مبتنی بر یادگیری ماشینی

۱۶۸.....	۶-۱- فناوری‌های شناختی
۱۶۸.....	۶-۲- فناوری‌های شناختی
۱۷۱.....	۶-۲-۱- یادگیری ماشین در کشاورزی
۱۷۱.....	۶-۲-۲- یادگیری ماشین در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و اینترنت اشیا.....
۱۷۲.....	۶-۳- فناوری‌های شناختی
۱۷۲.....	۶-۳-۱- یادگیری نظارت‌شده
۱۷۴.....	۶-۳-۱-۱- الگوریتم تصمیم
۱۷۴.....	۶-۳-۱-۲- ماشین‌های بردار پشتیبان.....
۱۷۴.....	۶-۳-۱-۳- شبکه‌های عصبی
۱۷۴.....	۶-۳-۱-۴- نزدیک‌ترین همسایه

۱۷۵.....	۵-۱-۳-۶ شبکه‌های بیزی
۱۷۵.....	۲-۳-۶ یادگیری بدون نظارت
۱۷۶.....	۱-۲-۳-۶ تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی
۱۷۶.....	۲-۲-۳-۶ خوشه‌بندی K-Means
۱۷۶.....	۳-۳-۶ یادگیری نیمه‌نظارتی
۱۷۷.....	۴-۳-۶ یادگیری تقویتی
۱۷۷.....	۴-۶ شبکه‌های عصبی مصنوعی و یادگیری عمیق
۱۸۰.....	۵-۶ کاربردهای کلی یادگیری ماشین
۱۸۰.....	۶-۶ کاربردهای کلی یادگیری ماشین
۱۸۲.....	۷-۶ برنامه‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی
۱۸۳.....	۱-۷-۶ مدیریت خاک
۱۸۳.....	۲-۷-۶ سامانه آبیاری هوشمند
۱۸۴.....	۳-۷-۶ پیش‌بینی آب‌وهوا
۱۸۴.....	۴-۷-۶ پهنادهای کشاورزی
۱۸۴.....	۵-۷-۶ ربات‌های کشاورزی
۱۸۵.....	۶-۷-۶ مقابله با چالش‌های کار
۱۸۵.....	۷-۷-۶ تراکتورهای بدون راننده
۱۸۶.....	۸-۷-۶ کاشت محصول
۱۸۶.....	۹-۷-۶ سیستم‌های نظارت بر محصول
۱۸۸.....	۱۰-۷-۶ تصمیم‌گیری در مورد حداقل قیمت پشتیبانی
۱۸۸.....	۱۱-۷-۶ توسعه کشاورزی دقیق به کشاورزی نسل پنج
۱۸۸.....	۱۲-۷-۶ گلخانه
۱۸۹.....	۸-۶ نتیجه
۱۹۰.....	منابع

فصل هفتم: کشاورزی هوشمند داده محور

۱-۷-مقدمه.....	۱۹۶
۲-۷-جمع آوری و مدیریت کلان داده های زمان واقعی کشاورزی	۱۹۹
۳-۷-تبدیل داده های مزرعه ای به دیدگاه های معنادار	۲۰۲
۴-۷-پردازش و تجزیه و تحلیل پیش بینی کننده داده های کشاورزی	۲۰۵
۱-۴-۷-چرخه تحلیل پیش بینی و انواع آن	۲۰۶
۱-۴-۷-۱-رویکرد سنتی	۲۰۸
۲-۴-۷-۱-رویکرد آماری	۲۰۸
۳-۴-۷-۱-رویکرد داده کاوی	۲۰۹
۴-۴-۷-۱-طبقه بندی و روش های رگرسیونی	۲۰۹
۵-۴-۷-۱-رویکرد مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین	۲۱۱
۵-۷-مدل سازی پیش بینی	۲۱۲
۶-۷-نتیجه	۲۱۳
منابع	۲۱۵

فصل هشتم: سامانه های تصمیم گیری و سامانه های پشتیبانی تصمیم

۱-۸-مقدمه.....	۲۲۲
۲-۸-سامانه های پشتیبانی تصمیم گیری کشاورزی هوشمند	۲۲۵
۳-۸-ویژگی ها و عملکرد یک سامانه پشتیبانی تصمیم گیری کشاورزی هوشمند	۲۲۷
۴-۸-تصمیم گیری هوشمند با استفاده از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و اینترنت اشیا برای کشاورزان	۲۲۹
۱-۴-۸-اطلاعات درست در زمان مناسب برای تصمیم درست	۲۳۰
۱-۴-۸-۱-برخی از سامانه های پشتیبانی تصمیم رایج کشاورزی	۲۳۰
۵-۸-نتیجه	۲۳۲
منابع	۲۳۴

فصل نهم: آینده و کشاورزی نسل ۵,۰

۲۳۸.....	۱-۹-مقدمه‌ای بر کشاورزی نسل ۴,۰.....
۲۴۰.....	۲-۹-تکنولوژی نانو و کشاورزی هوشمند.....
۲۴۱.....	۱-۲-۹-کاربردهای نانوتکنولوژی در کشاورزی هوشمند.....
۲۴۲.....	۳-۹-تقویت زنجیره ارزش کشاورزی با بلاکچین.....
۲۴۳.....	۱-۳-۹-کاربردهای احتمالی بلاکچین در کشاورزی نسل ۵,۰.....
۲۴۴.....	۴-۹-محاسبات لبه مه برای کشاورزی هوشمند.....
۲۴۶.....	۵-۹-نقش کلان داده‌ها در کشاورزی.....
۲۴۶.....	۱-۵-۹-مقدمه‌ای بر کلان داده‌ها.....
۲۴۷.....	۱-۱-۵-۹-تعریف کلان داده.....
۲۴۸.....	۲-۱-۵-۹-چرخه کلان داده‌ها.....
۲۴۸.....	۲-۵-۹-ویژگی‌های کلان داده‌ها.....
۲۵۰.....	۳-۵-۹-انواع کلان داده‌ها.....
۲۵۰.....	۱-۳-۵-۹-برخی دیگر از انواع کلان داده.....
۲۵۱.....	۴-۵-۹-مزایای کلان داده‌ها.....
۲۵۱.....	۵-۵-۹-کاربردهای کلان داده.....
۲۵۲.....	۶-۵-۹-کلان داده‌های کشاورزی.....
۲۵۲.....	۷-۵-۹-استفاده از کلان داده‌های کشاورزی.....
۲۵۳.....	۶-۹-ورود به کشاورزی نسل ۵,۰.....
۲۵۳.....	۷-۹-نتیجه.....
۲۵۵.....	منابع.....

فصل دهم: اثرات اجتماعی و اقتصادی

۲۶۲.....	۱-۱۰-تأثیر اجتماعی و اقتصادی هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و اینترنت اشیا در کشاورزی.....
۲۶۲.....	دقیق هوشمند.....
۲۶۳.....	۱۰-۲-وجود تالارهای گفت‌وگو برای نوآوری و تجاریسازی فناوری کشاورزی دقیق هوشمند.....

۲۶۷.....	۱-۲-۱۰- تجزیه و تحلیل هزینه و سود فناوری کشاورزی دقیق هوشمند
۲۶۸.....	۱-۲-۲- سیاست کشاورزان نسبت به سیاست آکادمی ملی مدیریت تحقیقات کشاورزی شورای
۲۷۰.....	تحقیقات کشاورزی هند
۲۷۱.....	۱-۲-۲-۱۰- درک و نگرانی کشاورزان
۲۷۲.....	۳-۱۰- نتیجه
۲۷۳.....	منابع

فصل یازدهم: تأثیرات زیست محیطی و قوانین

۲۷۶.....	۱-۱۱- تأثیر بالقوه بر محیط زیست با فناوری های مختلف کشاورزی دقیق هوشمند
۲۷۷.....	۲-۱۱- سیاست گذاری و حکمرانی
۲۷۸.....	۱-۲-۱۱- رویدادهای فعلی سیاست و مقررات در هند
۲۷۹.....	۲-۲-۱۱- تحقیق و توسعه مورد نیاز در هند
۲۸۰.....	۳-۱۱- نتیجه گیری و چشم انداز آینده
۲۸۱.....	منابع
۲۸۳.....	واژه نامه

نویسندگان

دکتر لطیف احمد (علوم کشاورزی)، در حال حاضر به عنوان یک دانشمند در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مناطق خشک، دانشگاه کشاورزی و فناوری شالمیر، رانگرت، ایالت کشمیر کشور هند فعالیت می‌کند. او مدرک کارشناسی خود را در رشته کشاورزی از دانشکده علوم کشاورزی، کالج CCS-SDS، الیگار و مدرک کارشناسی‌ارشد و دکتری خود را در رشته علوم کشاورزی از مدرسه کشاورزی، موسسه کشاورزی الله‌آباد، نایینی الله‌آباد هند دریافت کرده است. نویسنده بیش از ۸۵ مقاله پژوهشی که در مجلات ملی و بین‌المللی منتشر شده است. او دو کتاب، هشت فصل کتاب و ۱۹ بولتن توسعه را نوشته است. وی در بیش از ۳۵ کنفرانس و برنامه‌های آموزشی ملی و بین‌المللی شرکت کرده است و عضو انجمن علمی است. ایشان جایزه بهترین پروپوزال تحقیقاتی را از گروه SERB-DST دریافت کرده است. حوزه‌های علاقه وی شامل آگرومتئورولوژی، مطالعات تغییرات آب و هوا، مدل‌سازی و شبیه‌سازی رشد گیاهان، کشاورزی دقیق، مدیریت آب و علوم محصولات کشاورزی است.

دکتر فرصت نبی (علوم کامپیوتر)، یک پژوهشگر جوان است که دکتری خود را در رشته علوم کامپیوتر از دانشگاه بابا غلام شاه بادشاه، راجوری، ایالت کشمیر هند به پایان رسانده است. او چندین مقاله تحقیقاتی را در مجلات بین‌المللی و مجموعه مقالات کنفرانس منتشر کرده است. او تخصص خود را در توسعه و ارائه راه‌حل‌های نوآورانه برای کشاورزان با کمک ابزارها و فنون مبتنی بر کامپیوتر، به‌ویژه استفاده از شبکه‌های حسگر و یادگیری ماشین برای تشخیص بیماری و نظارت بر سبزیجات دارد. او عضو ارزیابی مرکز نوآوری MHRD هند است و برنده جوایز ملی از سازمان‌ها است. علایق پژوهشی او شبکه حسگر بی‌سیم، یادگیری ماشین، هوش مصنوعی و کاربرد آن‌ها در کشاورزی دقیق است.

مقدمه مترجمین

با رشد جوامع و افزایش نیازهای غذایی جهان، کشاورزی به عنوان یکی از بخش‌های اقتصادی حیاتی مطرح شده است. در دوران فناوری اطلاعات و ارتباطات، استفاده از فناوری‌های نوین به منظور بهبود عملکرد و بهره‌وری در کشاورزی اهمیت بیشتری یافته است. این فناوری‌ها، از جمله اینترنت اشیا، کشاورزی دقیق و شبکه‌های حسگر بی‌سیم، به تحولات چشمگیری در حوزه کشاورزی منجر شده‌اند. بنابراین، مترجمین اثر حاضر با هدف تأمین منابع علمی لازم در این زمینه، تصمیم به ترجمه کتاب "کشاورزی نسل پنجم" گرفتند. این کتاب، که به طور اصلی به بررسی ارتباط بین اینترنت اشیا و کشاورزی دقیق می‌پردازد، یک منبع جامع و نوین در این حوزه است. هدف ما از ترجمه این کتاب، انتقال دانش و اطلاعات مفید و کاربردی به خوانندگان فارسی‌زبان است تا بتوانند با آگاهی کامل، از مزایا و امکاناتی که این فناوری‌ها در کشاورزی به ارمغان می‌آورند، بهره‌برداری کنند. با تکیه بر تجربه و دانش فنی خود در حوزه ترجمه و درک مفاهیم کشاورزی و فناوری‌های نوین، سعی شده است تا ترجمه‌ای دقیق، روان و قابل فهم ارائه شود.

امیدواریم که این کتاب برای علاقه‌مندان به کشاورزی و فناوری‌های نوین، منبعی مفید و الهام‌بخش باشد. همچنین، امیدواریم که ترجمه ما، باعث دسترسی آسانتر به مفاهیم و دانش مرتبط با کشاورزی دقیق و اینترنت اشیا شود و در توسعه این حوزه در کشورمان نقشی مثبت ایفا کند.

محمد رضا خالیدیان،

دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

مهسا حیدری،

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی

فصل اول

مقدمه‌ای بر کشاورزی دقیق

۱-۱- تاریخچه کشاورزی دقیق^۱ و پذیرش جهانی آن

جامعه کشاورزی ایالات متحده در دهه ۱۹۸۰، کشاورزی دقیق را با یک روند آرام و تدریجی و در یک بازه ۱۰ تا ۱۵ ساله، به دلیل وجود شبههاتی درباره سودآوری آن، پذیرفت؛ زیرا هیچ مدرک قانونی ای مبنی بر سودآوری آن وجود نداشت و پذیرش آن غیراقتصادی بود. برخی از دلایل خاص عبارت بودند از: فقدان اطلاعات واقعی در آن زمان، نگرش کشاورز، محدودیت‌های اقتصادی در دستیابی به فناوری و نیز خود فناوری. بعداً مشخص شد که دو دلیل عمده است:

- تمایل

تمایل مستقیماً با در دسترس بودن اطلاعات درباره کشاورزی دقیق، دقت در اطلاعات و احتمال نتایج مثبت نسبت دارد.

- توانایی پذیرش

در اوایل سال ۲۰۰۰، مشخص شد که اتخاذ کشاورزی دقیق به موارد زیر مربوط می‌شود:

- میزان ارتباط بین مسأله موجود و فناوری

- سهولت استفاده از فناوری

- از همه مهم‌تر، سود مربوط به پذیرش فناوری یادشده

در مراحل اولیه اجرای کشاورزی دقیق، بهبود راندمان تنها عامل محرک بود و البته کافی نبود. با توجه و آرنهولت بررسی کردند که سود مرتبط با کشاورزی دقیق، بزرگ‌ترین عامل کمک‌کننده است [۱]. در طول ده سال اول، در قرن بیست و یکم، پیشرفت تصاعدی برای پذیرش کشاورزی دقیق در بین تولیدکنندگان و همچنین مشاغل تجاری مشاهده شد.

دلیل این رشد سریع در پذیرش، طی ۱۵ سال گذشته، به عوامل خاصی مربوط می‌شود:

(۱) از نظر راندمان، بهره‌وری و سودآوری که به روشی سازگار با محیط‌زیست اجرا می‌شود،

امکان توسعه پژوهش‌های مدیریت مواد مغذی فراهم شده است.

(۲) قیمت‌گذاری مقرون به صرفه کالاها منجر به سود خالص بالا و سرمایه‌گذاری‌های کلان در فناوری‌های پیشرفته شد.

(۳) سامانه‌های هدایت خودکار نه تنها راندمان کشاورزی را بهبود بخشید، بلکه کار عملی کشاورزان را نیز کاهش داد.

(۴) تعداد افراد ماهری که در مورد هر دو حوزه کشاورزی و فناوری، اطلاعات داشتند، افزایش یافت.

^۱ Precision Agriculture (PA)

عوامل ذکرشده در بالا تنها تعدادی از دلایل اتخاذ کشاورزی دقیق در ۱۵ سال گذشته هستند. بااین‌حال، شکافی بین بخش‌های مختلف وجود داشت که باید پر می‌شد. پذیرش کشاورزی دقیق به دلیل تلاش‌های مشترک و هماهنگ صنایع، پژوهش‌گران، مؤسسات و رسانه‌ها افزایش یافته‌است. پژوهش‌های جهانی گسترده، سودمند بوده و به‌طور قابل‌توجهی حوزه کشاورزی را تغییر می‌دهد [۲].

۱-۲- کشاورزی دقیق-مقدمه

هدف این کتاب ارائه بینشی عمیق‌تر در حیطه کشاورزی دقیق با بحث پیرامون تقریباً تمام روش‌ها و ابزارهایی است که در حال حاضر در سراسر جهان استفاده می‌شود.

هند سرزمینی وسیع با آب‌وهوای متنوع است و برای تولید سبزی‌ها و محصولات زراعی زیادی در طول سال ظرفیت دارد. بر اساس گزارش وزارت کشاورزی، هند پس از چین به مقام دوم از نظر تولید میوه و سبزی‌ها در سراسر جهان دست یافته‌است (گزارش‌شده توسط باغبانی در یک نگاه، ۲۰۱۵). جمعیت هند کاملاً به تولید غلات، میوه‌ها، سبزی‌ها و شیر وابسته است، بنابراین این کشور به یک تولیدکننده ممتاز محصولات کشاورزی در سطح جهان تبدیل شده است. با این وجود، این کشور هنوز از نظر بهره‌وری، تمرکز، رقابت و کشاورزی منطقه‌بندی‌شده کمبود دارد. لزوم حذف این محدودیت‌ها بسیار ساده‌است: نیاز به اتخاذ و ترویج استفاده از فناوری و علوم جدید که با پژوهش‌های دقیق در زمینه کشاورزی محقق خواهد شد [۳]. کمبود آگاهی و همچنین استفاده ناکافی از فناوری و فرآیندهای سنتی، در رفع محدودیت‌های کشاورزی در جهت تولید در سراسر کشور اثر منفی گذاشته است.

معرفی جدیدترین و نوآورانه‌ترین روش‌ها، مفاهیم و فناوری برای جایگزینی روش‌های کشاورزی مرسوم و در نتیجه پایدار کردن آن، کشاورزی دقیق نامیده می‌شود. تمرکز آن بر به حداکثر رساندن تولید در عین استفاده از کمترین منابع و حداقل تأثیر بر محیط‌زیست با آبیاری دقیق و مقدار کافی سموم و کودها است. کشاورزی دقیق به‌طور اساسی به عواملی مانند اطلاعات، فناوری و مدیریت بستگی دارد که از اهمیت یکسانی برخوردار هستند و مزایای زیادی برای محصولات زراعی دارند [۴]. امروزه به‌طور فزاینده‌ای با این اصطلاح آشنا شده‌ایم و این زمینه روند روبه‌رشدی دارد. زمانی که فعالیت‌های کشاورزی نسبتاً کارآمد اجرا می‌شوند، مانند زمانی که مقدار مناسب مواد موردنیاز (مانند کود، سموم، مواد مغذی، آب و غیره) در مکان مناسب و در زمان مناسب برای تقویت تولید و افزایش سود، عرضه می‌شوند، به‌طور مستقیم سلامت خاک را بهبود بخشیده و به‌طور غیرمستقیم کیفیت آب و سلامت کشاورز را افزایش می‌دهند و درعین‌حال باعث کاهش ضایعات محیطی

می‌شوند، می‌توان گفت کشاورزی دقیق محقق شده است [۵]. در هند، کشاورزی دقیق هنوز در مراحل اولیه خود است و در حال حاضر کارهای قابل توجهی در این زمینه در حال انجام است.

۱-۲-۱- دیدگاه خارجی

اولین تعریف کشاورزی دقیق توسط مجلس نمایندگان ایالات متحده ارائه شد (مجلس نمایندگان ایالات متحده، ۱۹۹۷) [۶].

کشاورزی دقیق یک سامانه کشاورزی یکپارچه مبتنی بر اطلاعات و تولید است که برای افزایش کارایی، بهره‌وری و سودآوری درازمدت، بر اساس خصوصیات مکانی و کل مزرعه طراحی شده و در عین حال اثرات ناخواسته را بر حیات وحش و محیط زیست به حداقل می‌رساند. به گفته گاندونو [۷]:

کشاورزی دقیق را می‌توان به عنوان مجموعه‌ای از فناوری‌ها تعریف کرد که به سوق دادن کشاورزی به سوی دنیای رایانه‌ای مبتنی بر اطلاعات کمک کرده است و به منظور کمک به کشاورزان برای کنترل بیشتر بر مدیریت عملیات مزرعه طراحی شده است.

همان‌طور که در دومین کنفرانس بین‌المللی «مدیریت بر اساس خصوصیات مکانی سامانه‌های کشاورزی» که در مینیاپولیس، مینه سوتا، در مارس ۱۹۹۴ برگزار شد، گزارش شد [۶]: سیستم کشاورزی دقیق در یک مزرعه نیز به عنوان مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی^۱ نامیده می‌شود. در فارسی تحت عنوان مدیریت موضعی محصول استفاده می‌شود. همان‌طور که شورای تحقیقات ملی ایتالیا ۱۹۹۷ [۶] بیان کرد:

مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی به یک سیستم مدیریت کشاورزی در حال توسعه اشاره دارد که شیوه‌های مدیریت مختلف را در یک مزرعه با توجه به شرایط منطقه یا خاک ترویج می‌کند.

اصلاح ژنتیکی، عملیات شیمیایی کشاورزی، آبیاری و ماشین‌آلات کشاورزی در بهبود بهره‌وری موفق بوده‌اند، اما این برای پاسخ‌گویی به تقاضای روبه‌رشد به دلیل افزایش جمعیت قابل توجه، کافی نیست. افزایش تقاضا، تهدیدی برای محیط زیست و همچنین امنیت غذایی در سراسر جهان است. تلاش‌های ابتکاری متعددی برای ایجاد امکان تولید محصول پایدار شده است؛ سامانه کشاورزی دقیق^۲ یکی از تلاش‌هایی بود که در اوایل دهه ۱۹۹۰ انجام شد. این امر بسته به دانش و فناوری موجود در زمان خود به اشکال مختلف ظاهر شد. سامانه کشاورزی دقیق ترکیبی از آخرین فناوری و مکانیزه‌شدن بخش کشاورزی بود. سامانه کشاورزی دقیق با معرفی فناوری اطلاعات الکترونیکی

^۱. Site-Specific Crop Management (SSCM)

^۲. Precision Farming System (PFS)

که جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها از منابع مختلف را برای تصمیم‌گیری ساده می‌کند، تغییرات شدیدی ایجاد کرد. سامانه کشاورزی دقیق به دلیل نپذیرفتن کاهش میزان محصولات کشاورزی و افزایش تولید، این مزیت و برتری را به دست آورده است. حتی سازمان ملی هوانوردی و فضایی (ناسا) به کشاورزی دقیق علاقه نشان داده است و از این رو اهمیت اجرای آن را ثابت کرده است [۶]. علاوه بر این، فناوری کشاورزی دقیق^۱ به عنوان یک پایگاه قابل اعتماد برای مدیریت تصمیم‌گیری بر اساس خصوصیات مکانی عمل می‌کند. تقاضای زیادی برای کسب اطلاع در مورد فناوری‌هایی که برای مدیریت سامانه‌های تولید کشاورزی استفاده می‌شود، با معرفی موارد زیر وجود داشته است:

(۱) کنترل‌کننده‌های محصول

(۲) سامانه‌های موقعیت‌یابی جهانی

(۳) بهبود در قدرت محاسباتی و مدیریت داده [۸].

این امر بر استفاده از تجهیزات پیشرفته تکنولوژی تأکید می‌کند و نیز تحقیق و توسعه را در زراعت و علوم زراعی و خاک به دلیل ارائه اطلاعات حیاتی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری برای کاربردهای مختلف نهاده‌ها در سطوح محلی ترویج می‌کند [۹].

۱-۲-۲- دیدگاه هندی

در زیر تعریفی از کشاورزی دقیق ارائه شده است که در هند پذیرفته شده است:

کشاورزی دقیق، کشاورزی ماهواره‌ای یا مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی، کشاورزی مبتنی بر مشاهدات، اندازه‌گیری و پاسخ به تغییرات درون مزرعه‌ای محصولات است.

تعبیر دیگر این است:

کشاورزی دقیق یک سیستم مدیریت مزرعه مبتنی بر اطلاعات و فناوری برای شناسایی، تجزیه و تحلیل و مدیریت تغییرات در مزرعه برای سودآوری، پایداری و حفاظت از منابع طبیعی است.

تفسیر دیگر به شرح زیر است:

کشاورزی دقیق کاربرد دقیق فناوری‌ها و پارامترهای ورودی بر اساس خاک، آب و هوا، محصول و تقاضای بازار برای به حداکثر رساندن بهره‌وری و سودآوری پایدار است.

در نهایت یک تعریف قابل قبول دیگر در پاراگراف بعدی آمده است:

کشاورزی دقیق عموماً به عنوان بهترین اطلاعات و فناوری از سامانه مدیریت، برای شناسایی، تجزیه و تحلیل و مدیریت تغییرات در مزارع برای سودآوری، پایداری و تولید بهینه منابع طبیعی تعریف می‌شود.

^۱ Precision Farming Technology (PFT)

کشاورزی دقیق در هند با مدل‌های سنتی متفاوت است، زیرا در این مورد، مقدار نهاده، بهینه است و نسبتاً عملکرد افزایش یافته است. اجزای اصلی کشاورزی دقیق عبارت‌اند از: اطلاعات، فناوری و مدیریت از یک سامانه جامع که باعث بهبود راندمان تولید، کیفیت آن، کارایی محصول، کاهش مصرف انرژی و حفاظت از محیط‌زیست می‌شود. کشاورزی دقیق به‌طور طبیعی برای کشاورزان کوچک در کشورهای در حال توسعه به دلیل عملکرد بیشتر با حداقل نهاده سودمند است. علاوه بر این، باید در حین استفاده از کشاورزی دقیق از محیط‌زیست آگاه بود. از این رو، تقاضا برای تغییر مدیریت کشاورزی مرسوم به منظور حفظ پایداری منابع طبیعی (مانند کیفیت آب، هوا و خاک) وجود دارد. این پنج عبارت، مفهوم کشاورزی دقیق را بیشتر توضیح می‌دهد [۱۰، ۱۱]:

(۱) نهاده‌های مناسب (کودها و سموم)

(۲) زمان مناسب

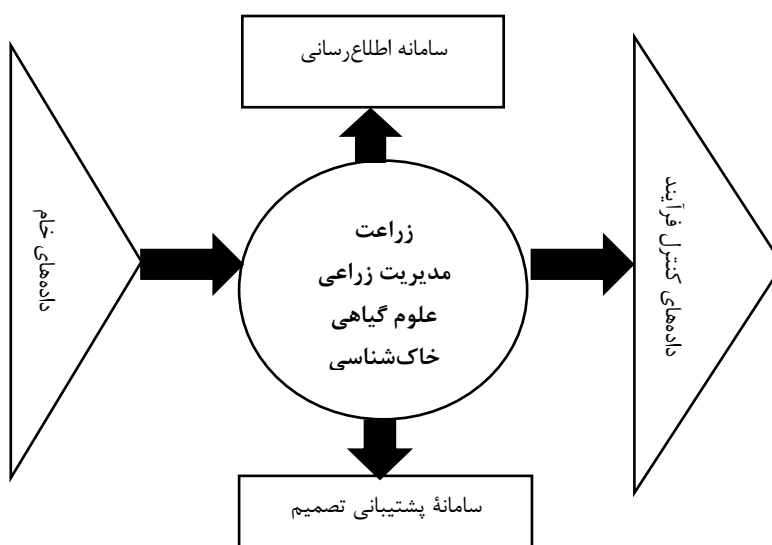
(۳) مکان مناسب

(۴) مقدار مناسب

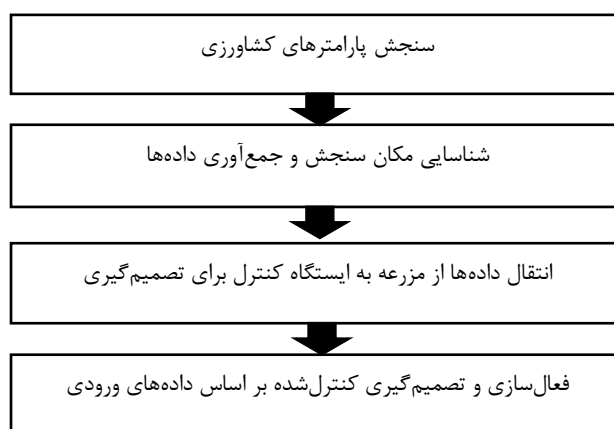
(۵) روش مناسب

به این نوع مدیریت، مدیریت بر اساس خصوصیات مکانی می‌گویند. رقابت جهانی مبتنی بر بازار در محصولات کشاورزی چالش اصلی سامانه‌های کشاورزی سنتی است، بنابراین دامنه کشاورزی دقیق در این جنبه نهفته است [۱۲]. در کشاورزی دقیق، ما نیاز به جمع‌آوری داده‌های عظیمی داریم که از منابع بی‌شماری به دست می‌آیند، در حالی که عوامل خاک، محصول و محیط مزرعه را نقشه‌برداری می‌کنیم. بنابراین، کشاورزی دقیق با داشتن اطلاعات قوی و زیاد میسر است. شکل ۱-۱ جریان اطلاعات را در زیر نشان می‌دهد. داده‌ها از عوامل داخلی (مانند خاک، محصول و محیط‌زیست) به دست می‌آیند و سپس با دانش تخصصی (به عنوان مثال مدیریت داده‌ها) و همچنین داده‌های بازار موجود ترکیب می‌شوند. توسعه ابزارهای یکپارچه‌سازی داده‌ها، سامانه‌های اطلاع‌رسانی و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم، مدیریت این داده‌های عظیم را راحت‌تر می‌کند (سیگریمیس^۱ و همکاران، ۱۹۹۹). در کشاورزی دقیق باید مقرراتی برای استانداردسازی قالب‌های داده وجود داشته باشد [۹]. برخی از مراحل اساسی در کشاورزی دقیق در دو نمودار بعدی نشان داده شده است [۱۳]:

^۱ Sigrimis



شکل ۱-۱- جریان اطلاعات در کشاورزی دقیق



شکل ۱-۲- مراحل اساسی درگیر در کشاورزی دقیق



۳-۱- نیاز و هدف کشاورزی دقیق

جمعیت هند به سرعت در حال رشد است و اگر فناوری‌ها و راه‌حل‌های مقرون به صرفه برای کشاورزان ایجاد نشود و برای به حداقل رساندن کمبود محصول به کار گرفته نشود، امنیت غذایی یک چالش خواهد بود [۴]. پیشرفت‌های قابل توجه شامل استفاده حداقلی از آب، کود و سموم به همراه تجهیزات تخصصی لازم است. مفهوم قبلی کشاورزی مبتنی بر شرایط، میانگینی فرضی بود که با وضعیت واقعی فاصله داشت، بنابراین برای شناسایی تفاوت‌های موجود در مزارع و اصلاح برنامه‌های مدیریتی بر این اساس، باید دقت می‌شد (شکل ۱-۱). معمولاً تغییرات عملکرد در کل منطقه مدیریت کشاورز ذکر می‌شود. این‌ها در واقع نتایج خصوصیات خاک و ویژگی‌های محیطی همراه با استراتژی‌های مدیریتی است. حفظ اطلاعات درباره شرایط مزرعه و تیمارهای مربوطه که از طریق سال‌ها آزمون و خطا به دست آمده، برای یک کشاورز کار سختی بود. علاوه بر این، تغییر در مناطق کشت، اتخاذ اقدامات مشابهی را که از طریق تجربیات گذشته مشاهده شده بود، برای کشاورز دشوارتر کرد. کشاورزی دقیق این مشکل را با مجموعه‌ای خودکار و ساده شده از اطلاعات، تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارائه نتایج برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بهتر که سریع‌تر در مزارع بزرگ اجرا می‌شوند، کاهش داده است (شکل ۳-۱ [۱۳]).



شکل ۳-۱- ملاحظات در کشاورزی دقیق

۴-۱- اجزای کشاورزی دقیق

کشاورزی دقیق به پنج عبارت بستگی دارد: نهاده‌های مناسب، زمان مناسب، مکان مناسب، مقدار مناسب، روش مناسب [۱۰]. برای اجرای بهتر کشاورزی دقیق، این پنج مورد باید برآورده شوند. کشاورزی دقیق یعنی جمع‌آوری اطلاعات دقیقی که در ابزارهای کشاورزی دقیق مورد نیاز است. از سوی دیگر، کشاورزی دقیق تنها با توجه به پیشرفت‌های اخیر در عرصه فناوری امکان‌پذیر است. این فناوری‌ها می‌توانند برای ایجاد یک سامانه کشاورزی دقیق برای کمک به کشاورزان در هنگام تصمیم‌گیری بر اساس خصوصیات مکانی و همچنین سایر عملیات مرتبط، با یکدیگر همکاری کنند. فناوری‌هایی مانند نظارت بر عملکرد، سامانه‌های موقعیت‌یابی جهانی و موارد دیگر. در نتیجه تقاضا برای سامانه‌های تولید کشاورزی به دلیل بهبود در قابلیت‌های محاسباتی و مدیریت داده‌ها، افزایش یافته است.

کشاورزی دقیق همچنین می‌تواند به عنوان یک استراتژی مدیریتی در نظر گرفته شود که ارتقاء استراتژی‌های مرسوم است و از داده‌های مهم برای تصمیم‌گیری بر اساس خصوصیات مکانی که با تولید محصول مرتبط است، استفاده می‌کند. این امر، مدیریت تنوع مکانی و زمانی در یک مزرعه، کاهش هزینه‌ها، بهبود کمیت و کیفیت محصول و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی را فراهم می‌کند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزی دقیق دارای سه جزء اصلی است.

۴-۱-۱- اطلاعات

برای دستیابی به نتایج مطلوب در کشاورزی دقیق، اطلاعات حیاتی برای پارامترهایی مانند ویژگی‌های محصول، ویژگی‌های خاک (به عنوان مثال توپوگرافی، وضعیت حاصلخیزی، بافت خاک، میزان رطوبت و ظرفیت نگهداری آب در خاک، نیازهای خاک‌ورزی، شوری، ماندابی و غیره)، بروز آفات (مانند حشرات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و غیره)، شرایط آب‌وهوایی، سایر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، رشد گیاه، برداشت و حمل‌ونقل پس از برداشت، بازاریابی و بازار و شرایط اجتماعی و اقتصادی کشاورزان و غیره ضروری است.

داده‌ها را می‌توان تقریباً برای همه فرایندها به کار برد؛ تا در مقایسه با کشاورزی سنتی پیشرفت قابل توجهی حاصل کند. می‌توان از آن برای ایجاد نقشه‌های غنی از اطلاعات مزارع/روستاها/مناطق (به عنوان مثال ویژگی‌های مختلف خاک، آب‌های زیرزمینی، بروز آفات، توزیع علف‌های هرز، توپوگرافی، آلودگی محیطی و غیره) استفاده کرد. این اطلاعات به عنوان ستون فقرات برای تصمیم‌گیری بر اساس خصوصیات مکانی عمل می‌کنند [۱۴].

۱-۴-۲- فناوری

فناوری‌های نوظهور دست در دست هم با کشاورزی دقیق کار می‌کنند تا کشاورزان را به‌روز نگه دارند و تمام مزایای مرتبط را برای آن‌ها فراهم کنند. این فناوری‌ها ثابت کرده‌اند که تولید، بهره‌وری و سودآوری را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهند. استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱، سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۲، تحلیل‌کننده‌های خودکار، حسگرها و رایانه‌ها به همراه نرم‌افزار مناسب، فناوری‌های ذخیره‌سازی بزرگ، دستگاه‌های محاسباتی روزآمد و غیره می‌تواند به شناسایی دقیق مناطق کمبود و کمی کردن تجزیه و تحلیل‌های مهم اقتصادی مانند محدودیت‌های مربوط به آب، کود، آفات، محصول در کنار اثرات زیست‌محیطی آن‌ها در سطح مزرعه/روستا/ منطقه کمک کند. این موارد می‌توانند راهنمایی‌های مهمی برای اتخاذ سامانه‌های مدیریت یکپارچه سلامت خاک، مواد مغذی، آفات، آب، انرژی و منابع ژنتیکی محصولات مختلف ارائه دهند. با استفاده از حسگرها می‌توان کیفیت محصول پس از برداشت را کنترل و افزایش داد. از پهناده‌ها می‌توان برای اهداف نظارتی و سم‌پاشی استفاده کرد. علاوه بر این، تراکتورهای بدون راننده نمونه‌ای باورنکردنی از فناوری کشاورزی دقیق هستند. در نهایت، سامانه‌های اینترنت اشیا^۳ مطمئناً یک پیشرفت در کشاورزی دقیق بوده است [۱۴].

۱-۴-۳- مدیریت

به‌درستی گفته می‌شود که «مدیریت کلید موفقیت در کشاورزی دقیق است». مدیریت دقیق برای اجرای فرهنگ کشاورزی دقیق حیاتی است. مدیریت، اطلاعات به‌دست‌آمده را با فناوری موجود در یک سامانه مدیریت جامع ترکیب می‌کند. کاربر باید دانش کافی برای استفاده از اطلاعات و فناوری فوق را داشته باشد تا بتواند حداکثر سود را به‌دست آورد. پنج عبارت نام‌برده شده در بخش اجزای کشاورزی دقیق از طریق مدیریت دقیق و رقابتی پشتیبانی می‌شود. پیچیدگی کشاورزی و تخصص‌های متنوع مورد نیاز برای توسعه و ترویج فناوری‌های کشاورزی دقیق دانش‌محور، نیازمند تلاش‌های بین‌رشته‌ای کشاورزی، اصلاح نباتات، دانشمندان خاک، هواشناسان کشاورزی، حشره‌شناسان، آسیب‌شناسان گیاهی، دانشمندان علف‌های هرز، بیوتکنولوژیست‌ها، توسعه‌دهنده‌های زیست‌محیطی، متخصصان محیط‌زیست، کارگران و البته کشاورزان است [۱۴]. برای کشاورزی دقیق مؤثر، تعهدی در جهت مدیریت اطلاعات، یک سامانه پشتیبانی تصمیم^۴ و یک ارائه‌دهنده خدمات کشاورزی دقیق وجود دارد [۱۵].

¹. Geographic Information System (GIS)

². Global Positioning System (GPS)

³. Internet of Thing (IoT)

⁴. Decision Support System (DSS)

۵-۱- ابزارها و روش‌ها

۱-۵-۱- سامانه موقعیت‌یابی جهانی

سامانه موقعیت‌یابی جهانی مهم‌ترین ابزار در کشاورزی دقیق است [۱۲، ۱۶ و ۱۷]. این سامانه به‌عنوان یک سامانه ناوبری که از شبکه‌ای از ماهواره‌ها تشکیل شده، تعریف می‌شود که امکان شناسایی بخش‌هایی خاص را در یک متر از یک سایت واقعی در مزرعه (۰/۱ تا ۱۰۰ متر) فراهم می‌کند [۱۲]. این موقعیت حاوی اطلاعاتی مانند عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع آن بخش خاص از مزرعه است تا جزئیات مربوط به محصولات، خاک، آب، موانع، وقوع آفات، تهاجم علف‌های هرز و سایر موارد مرتبط در آن موقعیت را شناسایی کند. کاربری که با چنین سامانه موقعیت‌یابی پیچیده و دقیقی سروکار دارد، ابزار مناسبی برای مدیریت کشاورزی دقیق دارد. برخی از مزایای سیستم موقعیت‌یابی جهانی در کشاورزی به شرح زیر است:

- نقشه‌برداری از خاک و محصول
- استفاده از نهاده‌ها (مانند بذر، کود، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و آب آبیاری) در مناطق موردنظر
- نظارت بر عملکرد
- مدیریت مزرعه

۱-۵-۲- سیستم اطلاعات جغرافیایی

سامانه اطلاعات جغرافیایی، یک فناوری انقلابی است که کار روی داده‌های نقشه حاوی اطلاعات مکانی یک منطقه را امکان‌پذیر می‌کند. این سامانه پایگاه داده‌ای است که به‌طور ویژه برای کار با داده‌های نقشه طراحی شده است. سیستم اطلاعات جغرافیایی بستری برای مدیریت، گردآوری، ذخیره‌سازی، بازیابی و تجزیه و تحلیل داده‌هایی است که با ویژگی‌های یک مکان خاص (یعنی اطلاعات مکانی) مرتبط هستند. نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، ذخیره و سازمان‌دهی داده‌ها را از منابع متعدد اطلاعات داده‌های خاص مکان و جغرافیایی در لایه‌های مختلف تسهیل می‌کند. هرلایه در سیستم اطلاعات جغرافیایی شامل ویژگی‌های جغرافیایی مرتبط با توپولوژی (به‌عنوان مثال توپوگرافی، انواع خاک، زه‌کشی سطحی، زه‌کشی زیرسطحی و غیره) و داده‌های مرتبط است. سیستم اطلاعات جغرافیایی بدون شک چیزی بیش از یک نقشه سنتی است که توانایی ارائه راه‌حل‌های نسبی را دارد؛ بلکه دارای قدرت محاسباتی و تحلیلی است که دیدگاه‌های پیچیده‌ای از مزارع ایجاد می‌کند و تصمیم‌های معتبر کشاورزی_فناوری را ممکن می‌سازد. سامانه‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پردازش داده‌ها و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم در بسیاری از زمینه‌ها

قابل اعتماد هستند. با این حال، سیستم اطلاعات جغرافیایی نباید با خود سامانه‌های تصمیم‌گیری اشتباه گرفته شود.

۱-۵-۳- شبکه‌های حسگر بی‌سیم

شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ [۳] فناوری‌ای است که در آن تعدادی حسگر برحسب نیاز در سراسر مزرعه مستقر می‌شوند و در شبکه‌ای ادغام می‌شوند که اطلاعاتی در مورد پارامترهای مختلف در مزرعه ارائه می‌دهند. پیشرفت‌هایی در زمینه توسعه حسگرها شده که منجر به ایجاد حسگرهای بسیار دقیق‌تر گشته‌است. حسگرها عمدتاً برای رطوبت، پوشش گیاهی، دما، بافت، ساختمان، خصوصیات فیزیکی، سطح مواد مغذی، تبخیر، هوا و غیره در کشاورزی دقیق استفاده می‌شوند. هرگاه داده‌ها تجزیه و تحلیل شوند، نتایج ارزشمندی به دست می‌دهند که برای دستیابی به اهداف کشاورزی دقیق مفید است [۱۲]. درباره حسگرها در بخش مربوطه، توضیحات بیشتری ارائه خواهد شد.

۱-۵-۴- پهپادها و ربات‌های کشاورزی

پهپادها در بیشتر زمینه‌ها کاربرد دارند و کاربرد خود را در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی پیدا کرده‌اند. با پیاده‌سازی هوش مصنوعی^۲ در هواپیماهای بدون سرنشین، کاربرد آن‌ها در کشاورزی دقیق به‌طور قابل توجهی افزایش یافته‌است. هواپیماهای بدون سرنشین به عملیات‌های مختلفی مانند جمع‌آوری داده‌ها، نظارت بر محصول و مزرعه، تشخیص بیماری و همچنین بسیاری از روش‌های کشاورزی دقیق مانند کاربرد نهاده‌ها کمک می‌کنند.

هدف هوش مصنوعی همیشه به حداقل رساندن عملیات انسانی بوده‌است که از این فناوری استفاده می‌کنند. بخش کشاورزی دقیق یکی از حوزه‌های مهمی است که به خودکارسازی و دستگاه‌های هوشمندی نیاز دارد که بتواند عملکردهایی را انجام دهد که زمانی به مداخله انسانی نیاز داشت. به عنوان مثال می‌توان به تراکتورهای هوشمند اشاره کرد که به‌طور مستقیم ماشین‌هایی مبتنی بر هوش مصنوعی هستند که دارای فناوری‌های متعددی مانند حسگرها، رادارها و سامانه‌های موقعیت‌یاب جهانی برای انجام عملیات مستقل از یک کاربر هستند [۱۸].

^۱. Wireless Sensor Networks (WSN)

^۲. Artificial Intelligence (AI)

۱-۵-۵- ماهواره‌ها

داده‌های ماهواره‌ای مزایای زیادی را در کشاورزی دقیق نسبت به روش‌های مرسوم، به‌ویژه از نظر مکانیسم‌های تصمیم‌گیری به‌موقع، تصویر فضایی و مقرون‌به‌صرفه بودن فراهم می‌کند. داده‌های فضایی در پرداختن به بسیاری از جنبه‌های حیاتی مانند برآورد محصول و عملکرد، شرایط محصول، استخراج اطلاعات اولیه خاک، مطالعات سامانه کشت، بیمه آزمایشی محصولات کشاورزی و موارد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۹]. ماهواره‌ها همچنین به‌عنوان یک ابزار مدیریتی در کشاورزی دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند، زیرا از تصاویر ماهواره برای توصیف جزئیات مزارع کشاورز استفاده می‌شود و اغلب در ترکیب با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود تا روش‌های کشت فشرده‌تر و کارآمدتر امکان‌پذیر شود [۲۰].

۱-۵-۶- سیستم آبیاری دقیق

سامانه آبیاری بارانی که دارای کنترل‌کننده‌های مبتنی بر سیستم موقعیت‌یاب جهانی است، نمونه‌ای از ابزارهای مهم مورد استفاده در کشاورزی دقیق است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم در این سامانه‌های آبیاری به نظارت بر وضعیت خاک و محیط به همراه پارامتر عملیاتی سامانه آبیاری که شامل پمپ، سطوح فشار و غیره است، کمک می‌کند. این اطلاعات به استفاده دقیق از مقدار آب برای بهینه‌سازی عملکرد محصول کمک می‌کند.

۱-۵-۷- نرم‌افزار

نرم‌افزارهای متنوعی برای انبوهی از وظایف در کشاورزی دقیق مورد نیاز است. انواع خاصی از نرم‌افزارها با عملکردهای خاص در زیر فهرست شده است [۱۲]:

- نرم‌افزار نقشه‌برداری
- نرم‌افزار برای برنامه‌های کاربردی و تولید نقشه
- نرم‌افزار برای هم‌پوشانی نقشه‌های مختلف
- نرم‌افزار برای ارائه ویژگی‌های پیشرفته زمین‌آماري
- نرم‌افزار دارای ابزار تحلیل آماری

نرم‌افزار کشاورزی دقیق شامل ابزارهای کنترل‌کننده‌ای است که به‌طور گسترده در فناوری کشاورزی دقیق استفاده می‌شود. اینترنت اشیا تعمیر و نگهداری نرم‌افزار را بهبود می‌بخشد؛ به‌عنوان مثال، از طریق به‌روزرسانی خودکار تجهیزات و معرفی راه‌حل‌های جدید برای مدیریت مزرعه، مانند مدیریت یک تراکتور خودران به‌صورت ایمن از راه دور از طریق یک کنترل‌کننده،

ظرفیت کشاورزی دقیق روزآمد و اینترنت اشیا امکان کنترل ده‌ها واحد تجهیزات را به‌طور هم‌زمان فراهم می‌کند [۲۱].

۱-۵-۸- مدیریت عملکرد محصول

در کشاورزی دقیق، نظارت بر عملکرد محصول بسیار مهم است. این سامانه شامل نظارت بر عملکرد ترکیبی از اجزای مختلف مانند حسگرها، دستگاه‌های ذخیره‌سازی، رابط کاربری، ماشین محاسباتی، سامانه کنترل یکپارچه‌سازی و تعامل این اجزا و غیره است. نظارت‌کننده‌های عملکرد به تجهیزاتی مانند دروگرهای ترکیبی یا تراکتورها متصل می‌شوند تا مقدار قابل توجهی از اطلاعات را به‌طور خاص، عملکرد دانه، سطح رطوبت، ویژگی‌های خاک و بسیاری موارد دیگر، جمع‌آوری کنند. این داده‌ها برای بیش از ده‌سال جمع‌آوری می‌شوند تا داده‌های غنی و معنی‌داری را برای تحلیل و مدیریت روند مکانی و زمانی محصول ارائه کنند. نقشه‌برداری عملکرد محصول را می‌توان با یک سیستم موقعیت‌یاب جهانی همراه با سامانه نظارت بر عملکرد انجام داد [۸].

۱-۵-۹- پلتفرم‌های آنلاین

در این دوره از انقلاب صنعتی چهارم، حجم عظیمی از اطلاعات وجود دارد که دولت، سازمان‌ها، داوطلبان و غیره برای ترویج و کمک به استفاده از کشاورزی دقیق توسط کشاورزان اداره می‌دهند. بخش‌های تجاری، تجهیزات کشاورزی دقیق و فناوری‌های نرم‌افزاری خود را از طریق این پلتفرم‌های آنلاین ترویج می‌کنند و همچنین می‌توانند به کاربران در یافتن راه‌حل‌های مناسب با ابزارهای خود کمک کنند [۱۲].

۱-۵-۱۰- سنجش از راه دور

سنجش از راه دور هنر و علم جمع‌آوری اطلاعات در مورد اشیا یا مناطقی از دنیای واقعی، از راه دور بدون تماس فیزیکی مستقیم با اشیاء مورد مطالعه است. در اصل سنجش از راه دور، استفاده از طیفی الکترومغناطیسی (مانند مرئی، مادون قرمز و امواج ماکروویو) برای ارزیابی ویژگی‌های زمین است. سنجش از راه دور ابزار مهمی در کشاورزی دقیق است که در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی، سیستم موقعیت‌یاب جهانی، ماهواره‌ها و غیره مزایای چشمگیری را نشان داده‌است. راه‌کارهایی که می‌نمایانند چگونه سنجش از راه دور از مزایای کشاورزی دقیق استفاده می‌کند [۱۶]:

- نقشه‌برداری خاک؛ تعیین مشخصات آب‌وهوا و زمین
- تشخیص کمبود مواد مغذی محصول
- تجزیه و تحلیل رویشی

- تخمین عملکرد محصول و پیش‌بینی تولید
- پیش‌بینی عملکرد محصول
- خدمات مشاوره کشاورزی مبتنی بر ماهواره
- مدیریت آفات
- ارزیابی و نظارت
- ارزیابی تناسب خاک منطقه
- تخمین رطوبت خاک
- ارزیابی و پایش سیل

۱-۶- مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی

تعاریف مختلفی از مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی وجود دارد که اولین مورد در زیر ذکر شده است:

مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی، به یک سیستم مدیریت کشاورزی در حال توسعه اشاره دارد که شیوه‌های مدیریت مختلف را در یک مزرعه با توجه به شرایط محل یا خاک ترویج می‌کند (شورای تحقیقات ملی، ۱۹۹۷).

تفسیر دوم به شرح زیر است:

مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی، شکلی از کشاورزی دقیق است که به موجب آن تصمیم‌گیری‌ها در مورد کاربرد منابع و شیوه‌های زراعی برای تطابق بهتر با نیازهای خاک و محصول بهبود می‌یابند؛ زیرا در هر مزرعه متفاوت هستند.

برخی از کارشناسان معتقد بودند که مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی یک فناوری واحد نیست، بلکه ادغام فناوری‌هایی است که عملیات بعدی را امکان‌پذیر می‌کند [۶]:

۱) جمع‌آوری داده‌ها در مقیاس مناسب و در زمان مناسب

۲) تفسیر و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای پشتیبانی از طیف وسیعی از تصمیمات مدیریتی

۳) اجرای پاسخ‌های مدیریتی بر اساس معیار قابل قبول و در زمان صحیح

آخرین تعریف، در این مورد، عمدتاً بر دیدگاه مدیریت متمرکز است. مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی، به عنوان یک استراتژی مدیریت در حال تکامل نامیده می‌شود که هدف آن دستیابی به نتایج عادلانه از طریق تصمیم‌گیری کارآمد بر اساس استفاده از منابع است و اهمیت کمتری به فناوری اطلاعات در مزرعه داده شده است (اگرچه بسیاری از فناوری‌های جدید به این امر کمک خواهند کرد). فرض بر این است که تصمیم‌گیری بهتر، طیف وسیعی از منافع، از جمله اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را به همراه خواهد داشت که ممکن است در زمان حال

شناخته شده یا قابل اندازه گیری نباشد. تصمیمات می تواند در رابطه با تغییرات در یک زمین، در زمانی خاص در یک فصل یا تغییرات در کل یک فصل باشد.

برای گسترش بیشتر این مفهوم، مدیریت محصول بر اساس خصوصیات مکانی را می توان به عنوان کاربرد فناوری اطلاعات در نظر گرفت، همراه با تجربه تولید به منظور:

(۱) بهینه سازی راندمان تولید

(۲) بهینه سازی کیفیت

(۳) به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی

(۴) به حداقل رساندن خطر

توابع ذکر شده در بالا همه در سطح موضعی هستند. این یک مفهوم خاص در کشاورزی نیست، زیرا مقالاتی درباره این موضوع از اوایل قرن ۱۸ وجود دارد. در این مورد، آنچه جدید است، مقیاسی است که ما قادر به اجرای این اهداف هستیم. قبل از انقلاب صنعتی، کشاورزی به طور کلی در مزارع کوچک انجام می شد و کشاورزان اغلب دانش دقیقی از سامانه تولید خود داشتند، بدون این که واقعاً مقدار تغییرات را تعیین کنند. حرکت به سمت کشاورزی مکانیکی و فشار حاشیه ای سود، منجر به این شد که نیمه دوم قرن بیستم تحت سلطه اقدامات کشاورزی «متوسط» یکنواخت در مقیاس بزرگ قرار گیرد. پیشرفت های فناوری در اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم به کشاورزی این امکان را داده است که به سمت کشاورزی بر اساس خصوصیات مکانی بازگردد و در عین حال صرفه جویی در مقیاس مرتبط با عملیات "بزرگ" را حفظ کند.

۱-۷- کاربرد نرخ متغیر^۱ و فناوری نرخ متغیر^۲

کاربرد نرخ متغیر فرآیندی است که فناوری های اطلاعات و ارتباطات را با صنعت کشاورزی ادغام می کند؛ به طوری که اطلاعات هر جزء از نواحی کوچک در یک مزرعه را در جهت تطبیق نوع و مقدار در نهاده ها در آن نواحی، به کار می گیرد تا ارزیابی و مدیریت تغییرپذیری زمانی و مکانی دقیق تر صورت گیرد.

دو رهیافت اساسی برای کاربرد نرخ متغیر وجود دارد که در زیر مورد بحث قرار گرفته است:

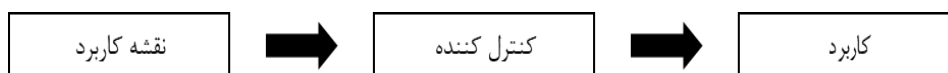
(۱) کاربرد نرخ متغیر مبتنی بر نقشه:

یک کاربرد نرخ متغیر مبتنی بر نقشه، نرخ کاربرد را بر اساس اطلاعات یک نقشه دیجیتال، که به آن «نقشه کاربرد یا تجویز شده» نیز می گویند، تنظیم می کند. بر مبنای اطلاعات رقومی حاصل از سیستم موقعیت یاب جهانی و مقادیر پیش بینی شده اعمال نهاده ها مبتنی بر ویژگی های خاک،

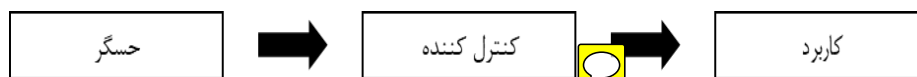
^۱. Variable Rate Application (VRA)

^۲. Variable Rate Technology (VRT)

میزان اعمال نهاده‌ها تنظیم می‌شود. مدیریت پوشش سبز را می‌توان با ترکیبی از حسگرهای محصول و مدل‌سازی روزآمد انجام داد.



شکل ۱-۴- کاربرد نرخ متغیر مبتنی بر نقشه



شکل ۱-۵- کاربرد نرخ متغیر مبتنی بر حسگر

۲) کاربرد نرخ متغیر مبتنی بر حسگر (بدون استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی)

یک فناوری نرخ متغیر مبتنی بر حسگر نیازی به نقشه یا سامانه مکان‌یابی ندارد. حسگرهای روی پخش‌کننده^۱، ویژگی‌های خاک یا ویژگی‌های محصول را «در حال حرکت» اندازه‌گیری می‌کنند. بر اساس این جریان مداوم اطلاعات، یک سامانه کنترل، نیازهای ورودی خاک یا گیاهان را محاسبه می‌کند و اطلاعات را به یک کنترل‌کننده منتقل می‌کند که به‌نوبه خود نهاده را به مکان اندازه‌گیری‌شده به‌وسیله حسگر تحویل می‌دهد.

در برخی از سامانه‌های مدیریت موضعی، هر دو نوع فناوری نرخ متغیر، سازگار هستند تا از مزایای موجود در هر دو روش بهره ببرند [۸].

فناوری نرخ متغیر با امکان استفاده بهینه از آب، مواد مغذی، مواد شیمیایی و غیره به دستیابی به هدف اساسی کشاورزی دقیق کمک می‌کند. فناوری نرخ متغیر، کاربردهای خود را در بسیاری از شیوه‌های کشاورزی پیدا می‌کند تا نهاده‌ها را با نرخی اعمال کند که بستگی به نوع خاک ذکرشده در نقشه خاک ایجادشده از سیستم اطلاعات جغرافیایی دارد. داده‌هایی که از سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌دست می‌آیند می‌تواند برای یافتن اطلاعات ارزشمندی که می‌تواند به فرآیندهای کنترلی کمک کند؛ مانند بذرپاشی، کاربرد کود و آفت‌کش، انتخاب علف‌کش و کاربرد با نرخ متغیر در مکان مناسب در زمان مناسب، تعمیم داده شود. فناوری نرخ متغیر متشکل از ماشین‌آلات و سامانه‌هایی برای اعمال میزان مطلوب مواد موردنیاز تولید محصول است [۸].

^۱. Applicator

فناوری نرخ متغیر متشکل از تجهیزات مزرعه با توانایی کنترل دقیق میزان استفاده از نهاده‌های مؤثر در تولید محصول است که می‌تواند در مدیریت آن‌ها متفاوت باشد که معمولاً شامل خاک‌ورزی، کود، کنترل علف‌های هرز، کنترل حشرات، جمعیت گیاهی و آبیاری است [۱۷]. در فناوری نرخ متغیر، سامانه با کنترل‌کننده‌های نرخ کاربرد باهدف تنظیم اعمال نهاده‌ها که می‌تواند به هر شکلی باشد، مایع یا دانه‌ای، نصب می‌شود. این کنترل‌کننده‌های نرخ کاربرد می‌توانند بر سرعت دستگاهی که روی آن نصب می‌شوند نظارت کنند. بنابراین، میزان دبی و فشار (در مورد ورودی‌های مایع) مواد در زمان واقعی تنظیم می‌شود. کنترل‌کننده‌های نرخ کاربرد اغلب به‌عنوان سامانه‌های مستقل استفاده می‌شوند [۱۲].

۸-۱- پذیرش کشاورزی دقیق هوشمند

پس از آگاهی از جزئیات مقدماتی در مورد کشاورزی دقیق، مفهوم و فناوری‌های مرتبط با کشاورزی دقیق، کاربران همچنین باید در مورد اصطلاح مرتبط دیگری که در حال حاضر محبوب است و یکی از پرتعدادترین موضوعات است بدانند: «کشاورزی دقیق هوشمند».

نسل چهارم صنعت، فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین^۱، یادگیری عمیق^۲، محاسبات ابری^۳ و سایر موارد را جهانی کرده‌است که تغییرات شدیدی در کشاورزی ایجاد کرده‌اند و پتانسیل بالایی برای تأثیر مثبت بر بهره‌وری و سودآوری بخش کشاورزی دارند. سامانه‌های فیزیکی-مجازی^۴ معرفی‌شده در کشاورزی یکی از دلایل خودکارسازی آن بوده‌است. اصطلاح «کشاورزی دقیق هوشمند» نتیجه کشاورزی نسل چهارم است (همان‌طور که در فصل هشتم توضیح داده خواهد شد). تقاضاهای زیاد بخش کشاورزی با تقویت سامانه‌های کشاورزی با شبکه‌های حسگر بی‌سیم، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و غیره در کشاورزی نسل چهارم متعادل شد. بنابراین، حرکت به سمت کشاورزی دقیق هوشمند تسریع شد. محدودیت‌ها و مسائل قدیمی در کشاورزی حل شد؛ زیرا رویکردهای علمی، کارآمدتر و در دسترس‌تر شدند. کشاورزی دقیق هوشمند توانسته است کشاورزی اقتصادی، افزایش عملکرد و بهره‌وری، مدیریت مؤثر و غیره را فراهم کند. همه این‌ها با تحقق اینترنت اشیا و یادگیری ماشین در شیوه‌های کشاورزی [۲۲ و ۲۳] به‌دست آمده است.

¹. Machine Learning (ML)

². Deep Learning (DL)

³. Cloud Computing (CC)

⁴. Cyber – Physical Systems (CPS)

برخی از نمونه‌های کشاورزی دقیق هوشمند شامل موارد زیر است:

- سامانه‌های نظارت هوشمند برای محصولات، آب‌وهوا، مزرعه، آبیاری، سلامت خاک و غیره. [۳ و ۲۳-۲۶]
- ماشین‌آلات کشاورزی هوشمند [۴ و ۲۳].
- سیستم آبیاری قطره‌ای خودکار با انرژی خورشیدی [۲۷].
- پهپادهای کشاورزی هوشمند [۱۸ و ۲۲].
- تولید گلخانه‌ای هوشمند [۲۲ و ۲۳].

مزایای کشاورزی دقیق هوشمند بسیار زیاد است و نمی‌توان به تک‌تک آن‌ها در این بخش اشاره کرد. در عوض، برخی از مزایای عمده کشاورزی دقیق هوشمند عبارت‌اند از:

- تخریب کمتر محیط‌زیست
- بهبود تولید و بهره‌وری محصولات زراعی
- کاهش کلی هزینه تولید
- دانش دقیق درباره تمام بخش‌های کشاورزی
- دخالت جزئی انسان
- فناوری‌های تطبیقی در ارائه بهترین نتایج
- بهبود شیوه‌های کشاورزی فراتر از محدودیت‌های انسانی با استفاده از فناوری‌هایی مانند یادگیری ماشین و یادگیری عمیق
- مدیریت و پیش‌بینی عالی

۱-۸-۱- دامنه پذیرش کشاورزی دقیق در هند

کشاورزی دقیق نرم^۱ مبتنی بر مشاهده بصری محصولات و خاک و تصمیمات مدیریتی است که برگرفته از تجربه و شهود و بدون تجزیه و تحلیل آماری و علمی مناسب است. درحالی‌که، کشاورزی دقیق سخت^۲ از تمام فناوری‌های مدرن مانند سیستم موقعیت‌یاب جهانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، کاربرد نرخ متغیر و موارد دیگر استفاده می‌کند که قبلاً در بالا مورد بحث قرار گرفتند. موفقیت کشاورزی دقیق در هند به استفاده متعادل از کشاورزی دقیق نرم و سخت نسبت داده می‌شود. در هند، زمین به قطعات کوچک تقسیم شده است و این مانع اصلی برای مکانیزاسیون کشاورزی در مقیاس بزرگ است. برای قرن‌ها، کشاورزان به دلیل سیستم مسئولیت خانواده، انواع فناوری کشاورزی دقیق نرم را، عمدی یا غیرعمدی، به کار می‌برند. درحال حاضر، هند بیش از ۲۰۰

¹. Soft precision agriculture

². Hard precision agriculture

میلیون تن غلات تولید می‌کند. با این حال، این مقدار هنوز برای پاسخ‌گویی به تقاضاهای بازار جهانی کشاورزی ناکافی است. این موضوع ثابت می‌کند که کیفیت برای رقابت با استانداردهای بین‌المللی ضروری است. مثال زیر این موضوع را بیشتر نشان می‌دهد:

میزان مصرف کلی کود در هند در مقایسه با کشورهایمانند چین، مصر و هلند تقریباً ۲ تا ۵ برابر کمتر است. مطالعات نشان داده است که در اکثر ایالت‌های هند، اگر آزمایش مناسب خاک انجام شود و از کودهای NPK مناسب استفاده شود، سطح بهره‌وری می‌تواند ۲ تا ۳ برابر افزایش یابد. با این حال، کاربرد ناکافی کود به دلیل نمونه‌برداری سنتی پرهزینه از خاک همچنان غالب است.

- **محدوده:** فناوری نمونه‌برداری پویا از خاک ارزان و تجزیه و تحلیل وضعیت مواد مغذی در مقیاس بزرگ از طریق سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در این ایالت‌ها می‌تواند معجزه کند.

در مقابل، برخی از ایالت‌ها مانند پنجاب و هاریانا دارای مکانیزاسیون با مقیاس بزرگ با کاربرد مقادیر بالای کودها و آفت‌کش‌ها هستند که از زمین بهره‌برداری می‌کنند و استفاده بیش‌ازحد از نهاده‌های کشاورزی از مشکلات معمولی است.

جدول ۱-۱- رتبه تولید و رتبه بهره‌وری گندم و پنبه در هند

نوع محصول	رتبه تولید (جهانی)	رتبه بهره‌وری (جهانی)
گندم	۲	۳۲
پنبه	۴	۱۱۸

۱-۸-۲- استراتژی برای اتخاذ کشاورزی دقیق در هند

طراحی استراتژی‌های پذیرش، بر کاربرد و موفقیت کشاورزی دقیق در هند تأثیر می‌گذارد. برنامه‌ریزی باید با انجام تعداد قابل توجهی آزمایش و تجزیه و تحلیل قبل از اجرای کشاورزی دقیق در کشاورزی هند انجام شود.

برای ورود به عصر کشاورزی دقیق، سه مرحله باید طی شود:

- (۱) **مرحله حاضر:** این مرحله اولیه است که شامل آگاهی عمومی از مفهوم کشاورزی دقیق از طریق رسانه‌ها، کارگاه‌ها، سمینارها و سایر کانال‌های مرتبط است. این امر مستلزم توسعه نیروی انسانی ماهر و متخصص، مؤسسات مناسب برای کشاورزی دقیق و مدیریت یکنواخت محصول و خاک است. ارتباطات، سمینارها، کارگاه‌ها و غیره.

۲) **مرحله میانی:** این مرحله به دنبال یک نمونه‌برداری تصادفی لایه‌ای در داخل منطقه است که دقیقاً منطقه مدیریت را در سراسر کشور توصیف می‌کند و مدل‌های رایانه‌ای را با داده‌های خاص هر منطقه تأیید می‌کند.

۳) **مرحله آینده:** در این مرحله، مدل‌های کامپیوتری خاص هر منطقه برای شرایط ورودی کشاورزی و سنجش و مدیریت خاص شبیه‌سازی می‌شوند که شامل نمونه‌برداری و بررسی شبکه‌ای است.

۱-۹- برخی تصورات غلط در مورد کشاورزی دقیق

تا زمانی که مفهوم کشاورزی دقیق به‌طور گسترده پذیرفته شود، هنوز تصورات غلط خاصی در مورد آن وجود خواهد داشت. تعدادی از این موارد ممکن است شامل موارد زیر باشد:

۱) گاهی اوقات، کشاورزی دقیق با پهنه‌بندی عملکرد اشتباه گرفته می‌شود. در واقع، نقشه عملکرد به‌سادگی ابزاری است که برای اجرای راهبرد مدیریت موضعی محصول در کشاورزی دقیق مفید است.

۲) در موارد دیگر، کشاورزی دقیق به‌عنوان کشاورزی پایدار در نظر گرفته می‌شود، که کاملاً درست نیست. کشاورزی دقیق صرفاً راهی برای کمک به پایداری بیشتر کشاورزی است. توسعه مدیریت موضعی محصول به‌عنوان شکلی از کشاورزی دقیق تنها به این دلیل بود که قابلیت بهبود بهره‌وری و سودآوری را دارد.

۳) اغلب، کشاورزی دقیق با مدیریت موضعی محصول در حوزه محیطی اشتباه گرفته می‌شود. کشاورزی دقیق به ابزاری برای ممیزی زیست‌محیطی سامانه‌های تولید تبدیل شده است، اما ممیزی زیست‌محیطی معادل مدیریت زیست‌محیطی نیست. برای این منظور، مقدار زیادی داده در مقیاس کوچک از طریق سامانه مدیریت موضعی محصول به‌دست می‌آید که می‌تواند برای ارزیابی خطرات محیطی مزرعه مورد استفاده قرار گیرد و در یک طرح کل مزرعه گنجانده شود تا به پایداری در بلندمدت کمک کند.

۴) سامانه‌های هدایت ماشین و هدایت خودکار نمونه‌هایی از ابزارهای مورد استفاده در سامانه مدیریت موضعی محصول هستند و بنابراین نمی‌توان آن‌ها را به‌عنوان کشاورزی دقیق در نظر گرفت.

۵) کشاورزی دقیق کاملاً با کشت مرتبط است، اما همچنین می‌تواند با هر سامانه تولید کشاورزی (به‌عنوان مثال صنایع دامی، ماهی‌گیری و جنگل‌داری)، که در آن ما در واقع از کشاورزی دقیق بدون شناسایی صریح آن استفاده می‌کنیم، مرتبط باشد [۲۸].

۱-۹-۱- موانع پیش روی کشاورزان در استفاده از کشاورزی دقیق هندی

دلایل متعددی وجود دارد که چرا هنوز مانعی در پذیرش کشاورزی دقیق وجود دارد [۲۹]:

- (۱) نرخ بالای بی سوادی در میان کشاورزان هندی، اتخاذ فناوری های کشاورزی دقیق را برای آن ها دشوار می کند.
- (۲) فناوری های پیشرفته مورد استفاده در کشاورزی دقیق به دلیل این واقعیت که توسط کشاورزان فوق الذکر اداره می شود، به عنوان مانع عمل می کند.
- (۳) ابزارهای پشتیبانی کافی برای تصمیم گیری وجود ندارد.
- (۴) درک درستی از عوامل زراعی وجود ندارد.
- (۵) ناتوانی در ساده سازی اطلاعات از منابع مختلف که میزان تأثیر متفاوتی دارند، وجود دارد.

۱-۹-۲- وضعیت فعلی کشاورزی دقیق در هند

در حال حاضر، کشاورزی دقیق در هند در مرحله نوزادی است. اقدامات گسترده زیادی در جهت تصویب و اجرای آن انجام شده است. برخی از این موارد در زیر بیان می شود:

- (۱) بودجه ۲۸۵ میلیون دلاری برای پروژه ملی نوآوری کشاورزی^۱ اعلام شده است و این بودجه صرفاً به پژوهش های کشاورزی دقیق اختصاص داده شده است.
- (۲) پروژه کشاورزی دقیق تامیل نادو^۲ توسط دولت تامیل نادو آغاز شده است، که در حال حاضر در دو ناحیه اجرا می شود و در آینده به شش منطقه دیگر تعمیم می یابد. این پروژه عمدتاً روی گوجه فرنگی هیبریدی، فلفل دلمه ای، ذرت، پیاز سفید، کلم و گل کلم که در رده محصولات با ارزش قرار می گیرند، تمرکز دارد.
- (۳) بوپال همچنین با همکاری مشترک اداره پروژه تحقیقات سامانه های زراعی^۳ و مؤسسه مرکزی مهندسی کشاورزی^۴ برنامه کاربرد نرخ متغیر را در سامانه های مختلف کشت آغاز کرد.
- (۴) احمدآباد آزمایش هایی را با مرکز کاربرد فضایی^۵ در مزرعه ایستگاه تحقیقاتی سیب زمینی مرکزی در جالاندهار، پنجاب انجام داده است تا مطالعات جامعی درباره نقش سنجش از دور در نقشه برداری تغییرات مکانی و زمانی انجام دهد.

^۱. National Agricultural Innovation Project (NAIP)

^۲. Tamil Nadu Precision Farming Project

^۳. Cropping Systems Research (CSR)

^۴. Central Institute of Agriculture Engineering (CIAE)

^۵. Space Application Center (ISRO)

- (۵) ۱۷ مرکز توسعه کشاورزی دقیق^۱ در نقاط مختلف کشور مستقر هستند تا نیازهای منطقه‌ای مربوطه را در تحقق کشاورزی دقیق برآورده کنند. از این رو، توسعه مراکز تخصصی و بانک اطلاعات علمی برای کشاورزی دقیق اهمیت قابل توجهی دارد.
- برخی از عملکردهای مهم مرکز توسعه کشاورزی دقیق در زیر ذکر شده است:
- (۱) برای عمومیت بخشیدن و آگاهی عمومی از کشاورزی دقیق
 - (۲) ارائه آموزش به تعداد زیادی از کشاورزان به طوری که آن‌ها قادر به استفاده از آخرین فناوری کشاورزی دقیق به منظور افزایش تولید خود باشند.
 - (۳) تمرکز بر مدیریت دقیق آب آبیاری، همان طور که نقش اصلی مراکز توسعه کشاورزی دقیق است.

۱-۹-۳- وضعیت کشاورزی دقیق در برخی از کشورهای در حال توسعه

وضعیت کشورها بسته به محدودیت و پارامترهای حیاتی توسعه کشاورزی پایدار متفاوت است. تغییر در عوامل اجتماعی-اقتصادی برخی از کشورهای در حال توسعه، زمینه‌های جدیدی را برای کشاورزی دقیق ایجاد می‌کند. جمعیت شهری جهان در طول قرن بیستم ده برابر افزایش یافته است و بیشتر آن مربوط به کشورهای کم درآمد و متوسط مانند هند است. نمونه‌های دیگر از کشورهای در حال توسعه که اخیراً برخی از مؤلفه‌های کشاورزی دقیق را پذیرفته‌اند، آرژانتین، برزیل، چین، هند و مالزی هستند. کشورهای دیگر، کشاورزی دقیق را در برخی از مزارع تحقیقاتی راه اندازی کرده‌اند، اما به طور کلی، درصد پذیرش هنوز نسبتاً محدود است. دقت کردن به وضعیت فعلی فناوری به شناسایی راه‌های پذیرش کمک می‌کند و همچنین سبب می‌شود تحقیقات به جهت خاصی متمرکز شود. بنابراین، نیاز به بررسی کامل وضعیت کشاورزی دقیق در کشورهای در حال توسعه وجود دارد [۳۰].

جدول ۱-۳ استراتژی رایج پذیرش کشاورزی دقیق برای کشورهای در حال توسعه توسط موندال و باسو را در زیر نشان می‌دهد [۳۰]:

^۱ Precision Farming Development Centers (PFDCs)



کشاورزی دقیق استراتژیک مؤلفه پذیرش	فناوری‌ها	بخش‌های هدف
فناوری کشاورزی دقیق تکی	فناوری‌های کشاورزی دقیق سطح پایین، نمودار رنگ برگ ^۱ ، کاربرد نرخ متغیر مبتنی بر ماشین‌های کوچک و غیره.	مزارع در مقیاس کوچک
بسته فناوری کشاورزی دقیق	توسعه تجزیه و تحلیل گیاهان خاک، نمودار رنگ برگ، سیستم پشتیبانی تصمیم، سیستم اطلاعات جغرافیایی، کاربرد نرخ متغیر، سیستم موقعیت‌یاب جهانی و غیره.	قطعات تلفیقی، محصولات زراعی، کشاورزی تعاونی و غیره.
روش‌های آنلاین کشاورزی دقیق یکپارچه	سنسور آنلاین، پردازش تصویر، سنجش از دور ^۲ ، سیستم نظارت بر عملکرد، فناوری نرخ متغیر، سیستم موقعیت‌یاب جهانی و غیره.	بخش کشاورزی سازمان‌یافته

۱-۱- نتیجه‌گیری

معرفی کشاورزی دقیق نشانه آغاز یک دوره انقلابی در کشاورزی است که از فناوری‌ها برای بهره‌مندی از حداکثر سود استفاده می‌شود. کشاورزی دقیق روی تغییرات موضعی محل در مزارع تمرکز می‌کند تا به همه نگرانی‌ها به‌طور دقیق رسیدگی کند. فناوری‌هایی مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی، سیستم موقعیت‌یاب جهانی، ماهواره‌ها، سامانه‌های سنجش از دور، حسگرها و غیره به‌طور گسترده برای دستیابی به اهداف کشاورزی دقیق استفاده شده‌اند تا تولید، بهره‌وری و سودآوری در مقایسه با کشاورزی سنتی ارتقا یابد. علاوه بر این، مدیریت بهتر از طریق کشاورزی دقیق به‌دست آمده است. بنابراین، به عبارت ساده‌تر، کشاورزی دقیق از اطلاعات و فناوری‌ها برای دستیابی به استراتژی‌های مدیریت مؤثر استفاده می‌کند. درک این نکته مهم است که کشاورزی دقیق رویه‌ای است که باعث می‌شود کشاورزی پایدارتر شود و مدیریت موضعی محصول تنها نوعی از کشاورزی دقیق است. به‌طور خلاصه، کشاورزی دقیق کاملاً درباره بهینه‌سازی نهاده‌ها به‌منظور دستیابی به حداکثر نتیجه، مطابق با تغییرات در مزرعه است.

^۱. Leaf Colour Chart (LCC)

^۲. Remote Sensing (RS)

منابع

1. M. T. Batte and M. W. Arnholt, "Precision farming adoption and use in Ohio: case studies of six leading-edge adopters," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 38, no. 5, pp. 125–139, 2003.
2. D. Mulla and R. Khosla, "Historical Evolution and Recent Advances in Precision Farming," *Soil-Specif. Farm. Precis. Agric.*, pp. 1–35, 2016, doi: 10.1201/b18759-2.
3. F. Nabi and S. Jamwal, "Wireless Sensor Networks and Monitoring of Environmental Parameters in Precision Agriculture," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 432–437, 2017, doi: 10.23956/ijarcsse/sv7i5/0344.
4. F. Nabi, S. Jamwal, and K. Padmanbh, "Wireless sensor network in precision farming for forecasting and monitoring of apple disease: a survey," *Int. J. Inf. Technol.*, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1007/s41870-020-00418-8.
5. R. Ehsani, A. Schumann, and M. Salyani, "Variable rate technology for Florida citrus," *EDIS*, vol. 2009, no. 2, 2009.
6. D. V. Tran and N. V. Nguyen, "The concept and implementation of precision farming and rice integrated crop management systems for sustainable production in the twenty-first century," *Int. Rice Comm. Newslett.*, vol. 55, pp. 91–102, 2006.
7. J. A. Gandonou, "Essays on Precision Agriculture Technology Adoption and Risk Management" University of Kentucky Doctoral Dissertations. Paper 227, 2005. http://uknowledge.uky.edu/gradschool_diss/227.
8. A. A. Bakhtiari and A. Hematian, "Precision Farming Technology, Opportunities and Difficulty," *Int. J. Sci. Emerg. Technol. with Latest Trends*, vol. 5, no. 1, pp. 1–14, 2013.
9. J. V. Stafford, "Implementing Precision Agriculture in the 21st Century," *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 76, no. 3, pp. 267–275, 2000, doi: 10.1006/jaer.2000.0577.
10. R. Khosla, "Myths of Precision Farming," *From Gr. up Agron. news*, 2008.
11. C. Zimmerman, "The Five 'R's' of Precision | Precision," 11-Nov-2008. [Online]. Available: <http://precision.agwired.com/2008/11/11/the-five-rs-of-precision/>. [Accessed: 22-June-2020].
12. V. Hakkim, E. Joseph, A. Gokul, and K. Mufeedha, "Precision Farming: The Future of Indian Agriculture," *J. Appl. Biol. BioTechnol.*, vol. 4, no. 06, pp. 68–72, 2016, doi: 10.7324/jabb.2016.40609.
13. Banu S, "Precision Agriculture: Tomorrow's Technology for Today's Farmer," *J. Food Process. Technol.*, vol. 6, no. 08, pp. 8–13, 2015, doi: 10.4172/2157-7110.1000468.
14. L. Ahmad and S. S. Mahdi, *Satellite Farming*. Cham: Springer International Publishing, 2018.
15. "Precision Agriculture at a Glance | Agropedia." [Online]. Available: <http://agropedia.iitk.ac.in/content/precision-agriculture-glance>. [Accessed: 25-June-2020].
16. P. K. Bharteey, B. Deka, M. Dutta, R. K. Parit, and P. Maurya, "Remote Sensing Application in Precision Agriculture: A Review R," *Int. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 6, no. 11, pp. 233–241, 2020.

17. "Tools of Precision Farming." [Online]. Available: <https://precisionagriculture.re/tools-of-precision-farming/>. [Accessed: 24-June-2020].
18. O. Kharkovyna, "7 Reasons Why Machine Learning Is a Game Changer for Agriculture," Towards Data Science, 04-July-2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/7-reasons-why-machine-learning-is-a-game-changer-for-agriculture-1753dc56e310>. [Accessed: 20-June-2020].
19. "Agriculture and Soils – ISRO," Government of India. [Online]. Available: <https://www.isro.gov.in/earth-observation/agriculture-and-soils>. [Accessed: 24-June-2020].
20. "Agriculture - Earth Online – ESA." [Online]. Available: <https://earth.esa.int/web/guest/earth-topics/agriculture>. [Accessed: 24-June-2020].
21. "Precision Agriculture Technology: The Future of Precision Farming with IoT – Digiteum," 2019. [Online]. Available: <https://www.digiteum.com/precision-agriculture-technology>. [Accessed: 24-June-2020].
22. S. Chakraborty, P. Das, and S. Pal, "IoT Foundations and Its Application," in IoT and Analytics for Agriculture, P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, and S. Panda, Eds. pp. 51–68. Singapore: Springer, 2020.
23. P. Nayak, K. Kavitha, and C. M. Rao, "IoT-Enabled Agricultural System Applications, Challenges and Security Issues," in IoT and Analytics for Agriculture, P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, and S. Panda, Eds. pp. 139–163, Singapore: Springer, 2020.
24. K. Kaur, "Machine Learning: Applications in Indian Agriculture," Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng., vol. 5, no. 4, pp. 342–344, 2016, doi: 10.17148/IJARCCCE.2016.5487.
25. K. G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, and D. Bochtis, "Machine Learning in Agriculture: A Review," Sensors (Switzerland), vol. 18, no. 8. MDPI AG, 14-Aug-2018, doi: 10.3390/s18082674.
26. P. Bhattacharyya, H. G. Sastry, V. Marriboyina, and R. Sharma, Eds., "Smart and Innovative Trends in Next Generation Computing Technologies," in Third International Conference, NGCT 2017, Dehradun, India, October 30-31, 2017, Revised Selected Papers, Part I (Vol. 827). Springer, 2018.
27. A. Barman, B. Neogi, and S. Pal, "Solar-Powered Automated IoT-Based Drip Irrigation System," in IoT and Analytics for Agriculture, P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, and S. Panda, Eds. pp. 27–49, Singapore: Springer, 2020.
28. J. T. and B. Whelan, "A General Introduction to Precision Agriculture," Aust. Cent. Precis. Agric., vol. 29, no. 1&2, pp. 79–94, 1998, doi: 10.1111/1467-9973.00081.
29. P. Mondal and M. Basu, "Adoption of precision agriculture technologies in India and in some developing countries: Scope, present status and strategies," Prog. Nat. Sci., vol. 19, no. 6, pp. 659–666.
30. P. Mondal and M. Basu, "Adoption of Precision Agriculture Technologies in India and in Some Developing Countries: Scope, Present Status and Strategies," Prog. Nat. Sci., vol. 19, no. 6, pp. 659–666, 2009, doi: 10.1016/j.pnsc.2008.07.020.

فصل دوم
کشاورزی دقیق هوشمند

۲-۱- کشاورزی مدرن

جمعیت جهان با سرعت زیادی در حال افزایش است، بنابراین تأمین مواد غذایی موردنیاز چنین جمعیتی قابل توجهی نگران کننده است. بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، انتظار می رود جمعیت جهان در سال ۲۰۳۰ به حدود ۸,۵ میلیارد نفر برسد [۱]. این امر کشاورزی را به یک حوزه نسبتاً مهم تبدیل کرده است که باید روی آن تمرکز کرد.

هدف کشاورزی مدرن نه تنها تأمین غذا در شرایط موجود است، بلکه حتی می تواند در شرایط محدودیت منابع نیز مواد غذایی موردنیاز را تولید کند. از عصر ابزارهای دستی تا عصر ماشین های مبتنی بر هوش مصنوعی، به ویژه کشاورزی مبتنی بر اندازه گیری ها تا سامانه های تصمیم گیری مبتنی بر داده های امروزی، کشاورزی دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است. هدف هر اصلاحی همیشه بهبود کشاورزی بوده است تا بتواند نیازهای جامعه را برآورده کند. کشاورزی امروزه با یک محیط فوق دیجیتال احاطه شده است که نیز بر آن تأثیر می گذارد. فناوری های پیشرفته، مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، داده های بزرگ و غیره، به عنوان فناوری های متحول کننده^۱ نامیده می شوند، زیرا این فناوری ها کل جهان را متحول می کنند و کشاورزی نیز مورد تحول و پیشرفت قرار می گیرد. کشاورزی دستخوش یک سری تغییرات شده است که موجب اصلاح قابل توجه آن و یا تغییر کامل بخش های مختلف آن شده است. کشاورزی شاهد تغییرات زیادی در نیم قرن گذشته بوده است. کشاورزی مدرن که به عنوان کشاورزی مبتنی بر فناوری^۲ نیز شناخته می شود به گونه ای طراحی شده است که از حداکثر مزایای جدیدترین فناوری ها بهره مند شود.

کشاورزی دقیق بر نیازهای موضعی در یک مزرعه و داده هایی که از تصاویر هوایی، حسگرها، سیستم موقعیت یاب جهانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و غیره به دست آمده اند، تمرکز دارد و برای شناسایی نهاده های لازم در هر مکان مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. در این مورد، به جای کاربرد نهاده یکنواخت در سراسر مزرعه، یک برنامه بهینه موضعی اجرا می شود. تغییرات موضعی در مزارع به وسیله ابزارهای کشاورزی دقیق ایجاد شده و بهینه سازی های مربوطه بر این اساس ارائه شده است [۲].

نوآوری های هوشمند در کشاورزی معرفی شده اند و تولید، بهره وری و مدیریت را بهبود بخشیده اند. کشاورزی هوشمند به عنوان یک سامانه کشاورزی در نظر گرفته می شود که از فناوری های مدرن مانند اینترنت، محاسبات در فضای ابری و ذخیره سازی، پیشرفته ترین فناوری اطلاعات و ارتباطات^۳، ماشین های هوشمند و هوشمندسازی مدیریت کشاورزی با توجه ویژه به

^۱. Disruptive technologies

^۲. Tech-driven agriculture

^۳. Information and Communication Technology (ICT)

محیط زیست استفاده می‌کند. این امر منجر به توسعه کشاورزی هوشمند^۱ شده است. این موارد شامل تمام اجزای کشاورزی دقیق است و مدیریت فرآیندهای تولید را امکان‌پذیر می‌کند. کشاورزی هوشمند گامی مهم به سوی کشاورزی پایدار است [۳].

در کشاورزی هوشمند، تمرکز اولیه روی داده‌ها و کاربرد آن‌ها است. سامانه‌های پیچیده و بهینه‌شده برای استفاده هوشمندانه از داده‌های جمع‌آوری‌شده شکل می‌گیرند. کشاورزی هوشمند بر تصمیمات کارآمد که با استفاده از فناوری‌هایی مانند فراداده‌ها، سیستم موقعیت‌یاب جهانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، هواپیماهای بدون سرنشین، محاسبات در فضای ابری و ذخیره‌سازی، اینترنت اشیا و غیره برجسته و مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ متمرکز است [۲]. کشاورزی دقیق صرفاً بر اساس اطلاعات موضعی در مزرعه نیست [۴]، بلکه بر داده‌ها و آگاهی کامل از نواحی موجود متمرکز است، همان‌طور که از طریق رویدادهای روزآمد^۲ ایجاد می‌شود [۵].

فراداده‌ها بینش‌های پیش‌بینی‌کننده‌ای را برای نتایج به‌منظور هدایت تصمیمات عملیاتی روزآمد و سایر فرآیندهای مرتبط فراهم می‌کند. کاربردهای فراداده‌ها بسیاری از روش‌های موجود در کشاورزی سنتی را تغییر داده‌است. با این حال، گفتن این‌که آیا الگوریتم‌ها احتمالاً در آینده بتوانند جایگزین دانش کشاورزان شوند، نسبتاً دشوار است. در حال حاضر، وسایل نقلیه هوایی مستقل، رباتیک و بدون سرنشین برای اهداف کشاورزی [۷ و ۸]، مانند وجین مکانیکی، استفاده از کود یا برداشت میوه‌ها توسعه‌یافته‌اند، که هرگاه به دوربین‌های ابرطیفی^۳ مجهز شوند، می‌توانند برای محاسبه توسعه زیست‌توده و وضعیت کوددهی محصولات استفاده شوند [۹ و ۱۰].

۲-۲- دیجیتالی‌شدن کشاورزی-کشاورزی دیجیتال

دیجیتالی‌شدن کشاورزی به تکامل کشاورزی از کشاورزی دقیق به سامانه‌های تولید بسیار پیشرفته‌تر، متمرکزتر و مبتنی بر دانش اشاره دارد. به عبارت ساده‌تر، کشاورزی دیجیتال ارتقاء یافته کشاورزی دقیق^۴ است. ابزارها و روش‌هایی که در کشاورزی دیجیتال استفاده می‌شود شامل کشاورزی دقیق با افزودن شبکه‌های هوشمند و ابزارهای مدیریت داده‌است. کشاورزی دیجیتال تمام جنبه‌های کشاورزی را پوشش می‌دهد [۱۱].

کشاورزی دیجیتال هدف گسترده‌تری از استفاده از تمام اطلاعات و تجربیات موجود به‌منظور انجام خودکارسازی در فرآیندهای مختلف کشاورزی دقیق دارد [۱۱] و عمدتاً روی ارزش داده‌ها تمرکز می‌کند تا بینش‌های عملی خاصی را به‌منظور توسعه بیشتر کشاورزی دقیق به‌دست آورد.

¹. Smart Farming

². Real-time

³. Hyperspectral cameras

⁴. Precision Farming (PF)

برخی از کارشناسان بیان می‌کنند که کشاورزی دیجیتال ترکیبی از کشاورزی دقیق و کشاورزی هوشمند است [۱۲].

اختراع دستگاه‌های جدید و بهبود یافته، مانند حسگرها، محرک‌ها، ریزپردازنده‌ها و غیره و پیشرفت در استانداردهای ارتباطی، سامانه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مبتنی بر فضای ابری و توسعه در علوم داده منجر به استفاده از داده‌هایی شد که به صورت اقدامات ارزشمند تولید می‌شدند. مدیریت داده‌ها در کشاورزی دیجیتال از اهمیت اساسی برخوردار است؛ زیرا حجم بالای داده‌هایی که به دست می‌آیند باید به گونه‌ای مدیریت شوند که بازایی مقادیر به طور خاص از این داده‌ها ممکن باشد. انتقال مدیریت داده‌ها به پورتال داده، کنترل پردازش و جریان اطلاعات را آسان‌تر می‌کند. کشاورزی دیجیتال به کاربر و کشاورز اجازه می‌دهد تا در مورد تخصیص حقوق دسترسی تصمیم بگیرد، بنابراین، در این جنبه، کاربر می‌تواند مالکیت داده‌ها را حفظ کند. ارتقای بیشتر در مورد سخت‌افزار فناوری در مقایسه با امکانات بهبود یافته ارائه شده به وسیله الگوریتم‌های داده محدود است. پیش‌بینی می‌شود کشاورزی دیجیتال حداکثر استخراج مقادیر را از داده‌ها انجام دهد:

- **داده‌ها به عنوان یک فعال کننده فناوری:** کشاورزی دیجیتال سایر ابزارهای کشاورزی دقیق را با ترکیب الگوریتم‌های داده جدید و بهبود یافته که به طور قابل توجهی دقیق‌تر هستند، افزایش می‌دهد.

- **فرآیندهای تولید بازایی شده:** دستگاه‌های متصل، مجموعه‌ای که تا حدی به صورت خودکار جفت شده‌اند و با تجزیه و تحلیل هدفمند داده‌ها، به ارتقای فرآیند تولید کمک می‌کنند.

- **پشتیبانی تصمیم:** داده‌هایی که از منابع متعدد به دست می‌آیند، به سامانه‌ای داده می‌شوند که داده‌های فوق‌الذکر را پردازش و تفسیر می‌کند تا از کشاورز در تصمیم‌گیری خود حمایت کند.

- **بهینه‌سازی عملیات مزرعه، نهاده‌ها و تولید:** داده‌ها برای تقویت کارایی عملیات انجام شده، نهاده‌های کاربردی و خروجی به دست آمده، استفاده می‌شود.

کشاورزی دیجیتال در حال حاضر در برخی مزارع یک واقعیت است: به عنوان مثال، سامانه‌های هدایت موقعیت یاب جهانی برای کنترل ترافیک کشاورزی، کوددهی موضعی یا اقدامات حفاظت از گیاه به عنوان بخشی از چرخه کامل تولید و نهاده با استفاده از اتصال اختصاصی مبتنی بر فضای ابری وجود دارد. همان‌طور که گفته شد، پردازش خودکار داده‌ها و شبکه‌های کاملاً یکپارچه و هماهنگ، آینده‌ای نه‌چندان دور برای کشاورزی و ماشین‌آلات کشاورزی است. برای تحقق این چشم‌انداز آینده، تلاش‌های متعهدانه همه بازیگران ذی‌ربط ضروری است. تولیدکنندگان ماشین‌های کشاورزی باید قبل از هر چیز روی توسعه ماشین‌های بسیار کارآمد و پیچیده که برای کشاورزی

دیجیتال مناسب هستند، تمرکز کنند؛ به عبارت دیگر، صنعت باید توجه خود را به سمت پیشرفت ماشین‌آلاتی معطوف کند که با زیرساخت دیجیتال مزرعه سازگار بوده و بتواند سهم لازم را در بهینه‌سازی فرآیندهای تولید داشته باشد.

ماشین‌آلات هوشمند دیجیتال باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- امکان انتقال داده (یعنی ارسال یا دریافت داده)
- توانایی انجام کارها با کمترین دخالت انسانی
- امکان استفاده بهینه از ماشین‌آلات
- هوشمندی برای راهنمایی کاربر

۲-۳- انتقال به کشاورزی دقیق هوشمند

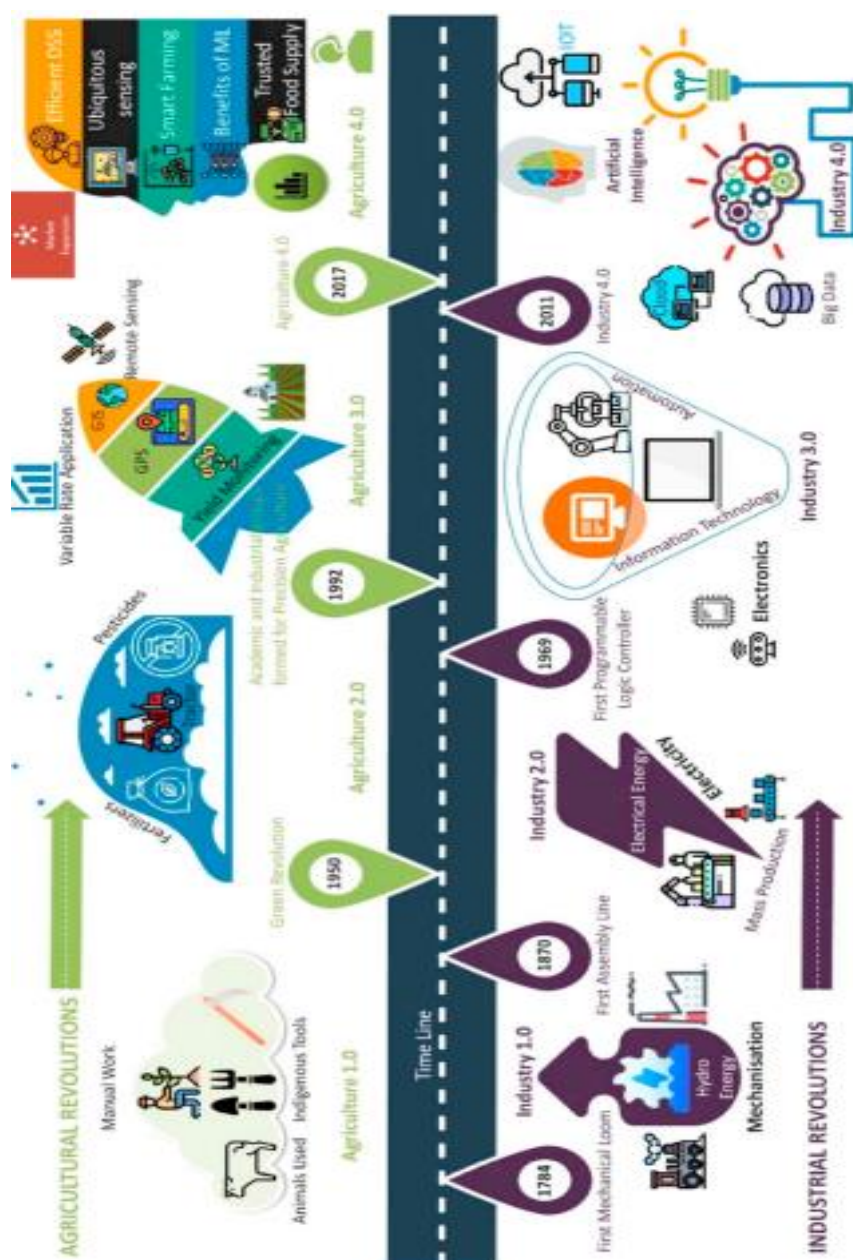
اولین پیشرفت در کشاورزی، اختراع ابزارهای دست‌ساز، مانند بیل، داس و چنگال بود که برای کشت استفاده می‌شد که تا پایان قرن ۱۹ مورد استفاده قرار می‌گرفتند. براین اساس، این دوره به عنوان کشاورزی نسل اول شناخته می‌شود [۱۴]. این زمان با بهره‌وری پایین مشخص می‌شد و کاملاً مبتنی بر کار دستی بود. با شروع اولین انقلاب صنعتی یا صنعت نسل اول در طول دوره بین ۱۷۸۴ و حدود ۱۸۷۰، افزایش قابل توجهی در تولید کشاورزی رخ داد که در اینجا به عنوان کشاورزی نسل دوم نامیده می‌شود. ماشین‌هایی که در قسمت‌های مختلف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفتند، به‌طور قابل توجهی تولید غذا را افزایش دادند و در عین حال کار دستی را کاهش دادند.

انقلاب صنعتی دوم^۱ در قرن بیستم رخ داد و به عنوان صنعت نسل دوم نیز شناخته می‌شود. منابع جدید انرژی کشف و در ماشین‌آلات مورد استفاده قرار گرفت، به‌طور خاص، نفت و گاز. در نتیجه حمل‌ونقل بهبود یافت و باعث توسعه زنجیره تأمین محصولات کشاورزی شد. در این مرحله، محصولات کشاورزی به مسافت‌های طولانی تری ارسال می‌شد؛ بنابراین، جوامع دورافتاده قبلی با بقیه جهان مرتبط شدند.

صنعت نسل سوم منجر به پیشرفت سامانه‌های تعبیه‌شده، مهندسی نرم‌افزار و فناوری‌های ارتباطی شد. مفهوم منابع تجدیدپذیر به وجود آمد، مردم شروع به توجه به این منابع مانند انرژی خورشیدی، برق آبی و نیروی باد کردند. همه این‌ها باعث انقلاب کشاورزی شد که به عنوان کشاورزی نسل سوم شناخته می‌شود. کشاورزی دقیق یکی از انتقال‌های مهم در کشاورزی است که با صنعت نسل سوم از نظر نظارت بر عملکرد، کاربردهای نرخ متغیر و سامانه‌های کشاورزی راهنما

^۱. 2IR

پشتیبانی می‌شود. به‌طور کلی، این انقلاب‌های صنعتی باعث تبدیل کشاورزی با نیروی کار به کشاورزی صنعتی شد [۱۰].



شکل ۱-۲- نقشه راه توسعه انقلاب‌های صنعتی و انقلاب‌های کشاورزی [۱۳].

کشاورزی نسل چهارم هنوز ادامه دارد و ادغام مهمی را از فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا، رباتیک، فراداده، هوش مصنوعی و فناوری اطلاعات و ارتباطات، ایجاد کرده‌است؛ بنابراین، ماشین‌های مستقل و هوشمند به وجود آمدند که به فرآیندهای تولید صنعتی و زنجیره‌های تأمین کمک می‌کنند. از این رو، این انقلاب، کشاورزی دیگری را ایجاد کرد که از آن به عنوان کشاورزی نسل سوم یاد می‌شود [۱۵] که ویژگی‌های کلیدی آن مدیریت مزرعه در زمان واقعی، درجه بالایی از خودکارسازی و تصمیم‌گیری هوشمند مبتنی بر داده، کارایی زنجیره تأمین محصولات کشاورزی و مواد غذایی است [۱۳ و ۱۶].

۲-۴- مزایای کشاورزی دقیق هوشمند

مزایای کشاورزی دقیق هوشمند بیشتر در فصل‌های بعدی این کتاب در زمینه فناوری خاص، بررسی خواهد شد. برخی از مزایای کشاورزی دقیق هوشمند در زیر ذکر شده است.

۲-۴-۱- مدیریت مؤثر محصول

مدیریت زراعی (گیاه) یک وظیفه حیاتی برای افزایش تولید و کیفیت محصولات زراعی است. برای این منظور، داده‌های تاریخی نقش کلیدی در مدیریت محصول دارد. کشاورزی دقیق نیازمند بینشی است که از تجزیه و تحلیل عمیق‌تر داده‌ها به دست می‌آید تا هر اقدامی حداکثر کارایی را داشته باشد. برخی از این نمونه‌ها عبارت‌اند از: مقدار آب مورد نیاز، زمان آبیاری، مقدار و زمان مصرف کود و سموم و غیره. تحت یک روش مدیریت پیچیده مبتنی بر اینترنت اشیا، اطلاعات روزآمد از طریق ایمیل یا پیامک به کشاورز می‌رسد. این امر مراحل بعدی را در مدیریت محصول آشکار کرده‌است. معرفی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در عملیات کشاورزی برای نظارت بر محصولات، به‌طور کلی تأثیر عمیق و مثبتی بر کشاورزی دارد. هوش مصنوعی در کاشت محصول اساساً برای هدایت تجزیه و تحلیل پیش‌بینی برای تعیین بهترین زمان و روش در کاشت استفاده می‌شود. علاوه بر این، محصولات را می‌توان با استفاده از ماشین‌آلات مجهز به هوش مصنوعی، در فواصل مساوی و در اعماق بهینه کاشت. انتخاب نوع مناسب محصول نقش اساسی در تعیین عملکرد دارد و این انتخاب به پارامترهای مختلفی از جمله توپوگرافی منطقه، آب و هوا، نوع خاک، ترکیب خاک، بازار و غیره بستگی دارد. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به یافتن امکانات جدید برای بهبود هر قدم برداشته شده در کشاورزی کمک می‌کنند. علاوه بر این، این امر نیز راه را برای توسعه بیشتر کیفیت محصول هموار می‌کند. محدودیت‌های انسانی در تجزیه و تحلیل داده‌ها و ایجاد روابط بین پارامترهای مختلف مرتبط، نمونه‌هایی از لزوم استفاده از یادگیری ماشین و هوش مصنوعی هستند.

ازسوی دیگر، یک ماشین مجهز به هوش مصنوعی می تواند از این اطلاعات برای توصیه روشی استفاده کند که می تواند کیفیت محصول را افزایش دهد [۱۷].

۲-۴-۲- مدیریت عالی خاک

دانش کامل و درست در مورد خاک برای افزایش عملکرد کشاورزی ضروری است؛ بنابراین، اطلاعات موجود در مورد خاک باید دقیق باشد تا مدیریت خاک قابل قبولی به دست آید. داده های مربوط به ویژگی های خاک کشاورزی، مانند تخمین ظرفیت رطوبتی خاک، شرایط، دما و رطوبت و غیره، به یک مدل یادگیری ماشین که به عنوان یک راه حل قابل اعتماد در ارائه راه حل های ارزشمند عمل می کند، اداره می شود. از این رو، بهره مندی از حداکثر مزایای مدیریت خاک برای اهداف کشاورزی راحت تر می شود [۱۸].

نمونه های خاصی از فناوری فوق الذکر شامل ردیابی ژنومیک^۱ که یادگیری ماشینی برای تشخیص کمبودهای خاک است و مشابه برنامه پلنتیکس^۲ است. ردیابی ژنومیک مستقر در کالیفرنیا خدمات تجزیه و تحلیل خاک را به کشاورزان ارائه می دهد. سرمایه گذار اصلی آن، ایلومینا^۳، به توسعه سامانه ای کمک کرد که از یادگیری ماشین برای ارائه اطلاعات به مشتریان درباره نقاط قوت و ضعف خاک آن ها استفاده می کند. پس از ارسال نمونه ای از خاک به ردیابی ژنومیک، طبق گزارش، کاربران خلاصه ای از محتوای خاک خود را دریافت می کنند [۲۰].

۲-۴-۲-۱- نظارت از راه دور و آسان مزرعه

صنعت کشاورزی گزینه های زیادی را از نظر مدیریت مزرعه فراهم می کند. برخی از این ها شامل گاوداری، مرغداری، زنبورداری و غیره است. اینترنت اشیا به طور کلی این مزارع را متحول کرده است و باعث تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر کشاورزی شده است.

با استقرار اینترنت اشیا در کشاورزی، پیشرفت های زیادی در این بخش حاصل شده است. مردم ایده های درخشان و خلاقانه خاصی را کشف کرده اند. نمونه ای از چنین ایده ای جلوگیری از حمله حیوانات در مزارع بود. روش های مرسوم شناخته شده کافی نبودند، بنابراین اینترنت اشیا و فناوری مبتنی بر فضای ابری استفاده شد و این امر به طور قابل توجهی تلفات جانی را در این مورد خاص کاهش داد (دستگاه الکترونیکی برای حفاظت از زمین کشاورزی از حملات فیل ها در اودیشا^۴: مروری) [۲۱].

¹. Trace Genomics

². Plantix

³. Illumina

⁴. Odisha

۲-۴-۳- سامانه هوشمند و مدیریت کیفیت آب

سامانه آبیاری هوشمند یک نیاز ضروری برای کشاورزی است. برای این منظور، داده‌های رطوبت و دمای خاک به‌طور منظم از طریق حسگرها تعیین می‌شود و به واحد پردازش منتقل می‌شود یا گاهی اوقات می‌تواند به‌وسیله خود حسگر تفسیر شود. با کمک همین سامانه اینترنت اشیا، نظارت بر کیفیت آب نیز می‌تواند به‌صورت روزآمد انجام شود. همه این عوامل به سهولت مدیریت آبیاری و کیفیت آب کمک می‌کند. همچنین سامانه‌های آبیاری خودکار هوشمند مجهز به هوش مصنوعی قادر به ارائه مداوم آبیاری دقیق و بهینه هستند که برای حفظ شرایط مطلوب خاک ضروری هستند. این امر باعث کاهش هدررفت آب، هزینه‌های نیروی کار، هزینه‌های تولید و درعین حال افزایش عملکرد کلی می‌شود. بسیاری از دانشمندان بر این باورند که استفاده عاقلانه از آب در این سامانه‌های آبیاری احتمالاً تأثیر جهانی مثبتی بر منابع آب خواهد داشت [۱۷]. تخمین تبخیر و تعریق برای طراحی و مدیریت یک سامانه آبیاری هوشمند ضروری است، اما ثابت می‌کند که برای محاسبه دقیق، فرآیند پیچیده‌ای است. این مشکل با الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین حل می‌شود که قادر به تخمین دقیق تبخیر و تعریق هستند [۱۸]. نمونه‌های خاص عبارت‌اند از پرورش دهنده^۱ [۲۲] و دیجیاتوم^۲ [۲۳].

۲-۴-۴- ربات‌های کشاورزی هوشمند

ربات‌های کشاورزی هوشمند از جمله ماشین‌های هوشمند نسبتاً موفق هستند که در این نوع کشاورزی استفاده می‌شوند. حوزه کشاورزی احتمالاً یکی از مهم‌ترین حوزه‌های جهان است که با خودکارسازی و دستگاه‌های هوشمند ارائه شده است و می‌تواند عملیاتی را انجام دهد که زمانی به‌طور سنتی به مداخله انسان نیاز داشت. شرکت‌های درحال توسعه و برنامه‌ریزی ربات‌های مستقل هستند که قادر به انجام وظایف ضروری کشاورزی هستند، مانند برداشت حجم بالاتری از محصولات با سرعت بیشتری در مقایسه با کارگران انسانی. نمونه‌ای از آن رپا^۳ است، رباتی که آفات و علف‌های هرز را از بین می‌برد [۲۴].

۲-۴-۵- دقت بالا در پیش‌بینی، تشخیص و کنترل بیماری

هرساله حدود ۳۷ درصد از تولیدات زراعی از دست می‌رود. پیش‌بینی‌ها بر اساس تحلیل محاسباتی انجام می‌شود. هم یادگیری ماشین و هم یادگیری عمیق گنجانده شده‌اند و بیماری‌ها و حملات

^۱. Culyvate

^۲. DIGITEUM

^۳. RIPPA

آفات را می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های مختلف پیش‌بینی کرد. از شبکه‌های عصبی پیچشی^۱ نیز برای آموزش سامانه استفاده می‌شود. اینترنت اشیا این ویژگی منحصر به فرد را دارد که می‌تواند کشاورز را از طریق یک شبکه تلفن همراه با استفاده از تلفن خود مطلع کند تا آن‌ها بتوانند اقدامات لازم را انجام دهند.

پیش‌بینی دقیق بیماری یک پیشرفت در کشاورزی دقیق هوشمند است. تشخیص زودهنگام بیماری و حتی پیش‌بینی بیماری، عملکرد با کیفیت بهتر را ارتقا داده است. تشخیص دقیق با روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین امکان‌پذیر است. مدل‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین با موفقیت توانسته‌اند داده‌های ناهمگن را به صورت سودمندتر تجزیه و تحلیل کنند [۲۵-۲۷].

۲-۴-۶- کاهش نیروی کار

طبق گزارش‌ها، کمبود نیروی کار منجر به کاهش میلیون‌ها دلار درآمد در مناطق مهم کشاورزی شده است. ماشین‌هایی که در حال حاضر در کشاورزی دقیق هوشمند استفاده می‌شوند، جبران کاهش نیروی انسانی موجود برای فعالیت‌های کشاورزی را ممکن کرده‌اند. نمونه‌هایی از این تلاش‌ها عبارت‌اند از ربات‌های برداشت سیرو^۲، که ویژه برداشت محصول هستند.

۲-۴-۷- از کشاورزی دقیق به کشاورزی نسل پنجم

یکی دیگر از کاربردهای کشاورزی دقیق هوشمند این است که با پذیرش تمام اجزای کشاورزی دقیق در ترکیب با فناوری‌های کشاورزی هوشمند مانند شبکه حسگرهای بی‌سیم، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، تجزیه و تحلیل فراداده‌ها و غیره در نظر گرفته شود. کشاورزی دقیق هوشمند راه را برای تغییر پارادایم از کشاورزی دقیق به کشاورزی نسل پنجم هموار کرده است. در برخی وظایف خاص، این ماشین‌های هوشمند که با هوش مصنوعی کار می‌کنند، می‌توانند از یک متخصص انسانی بهتر عمل کنند. چنین مثال‌هایی شامل استفاده از کامپیوتر در تجزیه و تحلیل تصویر است [۱۷].

۲-۴-۸- گلخانه هوشمند

با فعال شدن اینترنت اشیا، کاستی‌های گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. شبکه حسگرهای بی‌سیم که می‌تواند در گلخانه‌ها مستقر شود، می‌تواند بر شرایط محیطی نظارت کند و این داده‌های خاص را به مکان ذخیره‌سازی منتقل کند؛ پس از آن داده‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از

^۱. Convolutional neural networks

^۲. CROO

ابزارهای پیچیده و مدل‌های تشخیصی تجزیه و تحلیل می‌شوند، نظارت آسان می‌شود، دسترسی از راه دور به عناصر مختلف مانند سامانه آبیاری، سامانه شدت نور، سامانه کنترل دما و غیره در حال حاضر امکان‌پذیر است. در دوران مدرن، یک کشاورز می‌تواند تعدادی از فرآیندها را از طریق تلفن هوشمند مدیریت کند [۵]. هوش مصنوعی در یک گلخانه برای بررسی دقیق عملکرد سامانه‌ها کاربرد اساسی دارد. سامانه مبتنی بر هوش مصنوعی برای کنترل و مدیریت آب و هوای گلخانه با تأکید بر تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها به منظور دستیابی به سطح بالایی از دقت طراحی شده است. با توجه به پارامترهای مختلفی که هنگام تنظیم آب و هوای گلخانه باید در نظر گرفته شود، انجام آن از طریق روش‌های معمولی، کاری خسته‌کننده می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ و کنترل‌کننده‌های منطق فازی^۲ برخی از روش‌های مورد استفاده در این فرآیند برای دستیابی به دقت بالا در تنظیم دما و رطوبت هستند [۱۷]. این فناوری‌ها به تبدیل گلخانه سنتی به گلخانه هوشمند کمک کرده‌اند.

تمام مزایای ذکر شده در بالا با امنیت به عنوان نگرانی اصلی اجرا می‌شود. رمزگذاری‌های بسیار ایمن برای دستگاه‌ها و همچنین داده‌های مربوط به کشاورزی دقیق هوشمند استفاده می‌شود [۲۸].

۲-۵- نتیجه‌گیری

هر انقلاب صنعتی تأثیر قدرتمندی بر کشاورزی گذاشته است. علاوه بر این، کشاورزی دقیق آغاز عصر جدیدی در کشاورزی بود. مفاهیمی مانند کشاورزی دیجیتال و کشاورزی هوشمند که گاهی به جای یکدیگر استفاده می‌شوند، در واقع تفاوت‌های قابل توجهی دارند. فناوری‌های متحول‌کننده، شیوه‌های کشاورزی را متحول کرده و باعث ظهور مفهوم جدیدی شده است که به نام کشاورزی نسل چهارم شناخته می‌شود. پیشرفت‌های بیشتر در فناوری، کشاورزی دقیق هوشمند را به وجود آورده است که ترکیبی از تمام فناوری‌های پیشگام اتخاذ شده مانند هوش مصنوعی، مفاهیم یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و موارد دیگر در یک سامانه کشاورزی دقیق هوشمند با ماشین‌هایی است که دارای هوش مصنوعی مرتبط خاص هستند.

¹. Artificial Neural Networks (ANNs)

². Fuzzy Logic Controller (FLCs)

منابع

1. "UN Projects World Population to Reach 8.5 billion by 2030, Driven by Growth in Developing Countries || UN News." [Online]. Available: <https://news.un.org/en/story/2015/07/505352-un-projects-worldpopulation-reach-85-billion-2030-driven-growth-developing>. [Accessed: 27-June-2020].
2. "Smart Farming." [Online]. Available: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-farming>. [Accessed: 26-June-2020].
3. J. Chen and A. Yang, "Intelligent Agriculture and Its Key Technologies Based on Internet of Things Architecture," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 77134–77141, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2921391.
4. S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M. J. Bogaardt, "Big Data in Smart Farming – A Review," *Agric. Syst.*, vol. 153. Elsevier Ltd, pp. 69–80, 01-May-2017, doi: 10.1016/j.agry.2017.01.023.
5. S. Wolfert, D. Goense, and C. A. G. Sorensen, "A Future Internet Collaboration Platform for Safe and Healthy Food from Farm to Fork," in *Annual SRII Global Conference, SRII*, 2014, pp. 266–273, doi: 10.1109/SRII.2014.47.
6. K. Poppe, S. Wolfert, C. Verdouw, and A. Renwick, "A European Perspective on the Economics of Big Data," *Farm Policy J.*, vol. 12, no. 1, pp. 11–19, 2015.
7. D. Floreano and R. J. Wood, "Science, Technology and the Future of Small Autonomous Drones," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 460–466, 2015, doi: 10.1038/nature14542.
8. A. Walter, R. Finger, R. Huber, and N. Buchmann, "Opinion: Smart Farming Is Key to Developing Sustainable Agriculture," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 114, no. 24, pp. 6148–6150, Jun. 2017, doi: 10.1073/pnas.1707462114.
9. G. Bareth et al., "Low-Weight and UAV-Based Hyperspectral Full-frame Cameras for Monitoring Crops: Spectral Comparison with Portable Spectroradiometer Measurements," *Photogramm. – Fernerkundung – Geoinf.*, vol. 2015, Feb. 2015, doi: 10.1127/pfg/2015/0256.
10. G. Aceto, V. Persico, and A. Pescapé, "A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3467–3501, 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2938259.
11. A. V. Shchutskaya, E. P. Afanaseva, and L. V. Kapustina, "Digital Farming Development in Russia: Regional Aspect," in *Digital Transformation of the Economy: Challenges, Trends and New Opportunities*, pp. 269–279, Cham: Springer, 2017.

12. "What Is the Difference between Precision, Digital and Smart Farming? – AgroCares." [Online]. Available: <https://www.agrocares.com/en/news/precision-digital-smart-farming/>. [Accessed: 26-June-2020].
13. Y. Liu, X. Ma, L. Shu, G. P. Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, "From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, pp. 1–1, 2020, doi: 10.1109/TII.2020.3003910.
14. M. A. Rapela, *Fostering Innovation for Agriculture 4.0*. Springer International Publishing, 2019.
15. M. De Clercq, A. Vats, and A. Biel, "Agriculture 4. 0: The Future," *Proceedings of the World Government Summit, Dubai, UAE*, pp. 11–13, 2018.
16. G. Aceto, V. Persico, and A. Pescapé, "A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3467–3501, 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2938259.
17. O. Kharkovyna, "7 Reasons Why Machine Learning Is a Game Changer for Agriculture," *Towards Data Science*. 04-July-2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/7-reasons-why-machine-learning-is-a-game-changer-for-agriculture-1753dc56e310>. [Accessed: 20-June-2020].
18. K. G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, and D. Bochtis, "Machine Learning in Agriculture: A Review," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 8. MDPI AG, 14-Aug-2018, doi: 10.3390/s18082674.
19. "Plantix | Best Agriculture App." [Online]. Available: <https://plantix.net/en/>. [Accessed: 25-June-2020].
20. "Home." [Online]. Available: <https://tracegenomics.com/>. [Accessed: 25-June-2020].
21. P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, and S. N. Panda, "IoT and Analytics for Agriculture," Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
22. "Automated Farming Systems | Precision Agriculture Technology." [Online]. Available: <https://www.cultivate.com/>. [Accessed: 25-June-2020].
23. "Precision Agriculture Technology: The Future of Precision Farming with IoT – Digiteum," 2019. [Online]. Available: <https://www.digiteum.com/precision-agriculture-technology>. [Accessed: 24-June-2020].
24. "See & Spray Agricultural Machines – Blue River Technology." [Online]. Available: <http://www.bluerivertechnology.com/>. [Accessed: 25-June-2020].

25. D. D. Gutierrez, Machine Learning and Data Science: An Introduction to Statistical Learning Methods with R. Technics Publications, 2015.
26. K. S. Kim, R. M. Beresford, and M. Walter, "Development of a Disease Risk Prediction Model for Downy Mildew (*Peronospora sparsa*) in Boysenberry," *Phytopathology*, vol. 104, no. 1, pp. 50–56, Jan. 2014, doi: 10.1094/PHTO-02-13- 0058-R.
27. L. K. Mehra, C. Cowger, K. Gross, and P. S. Ojiambo, "Predicting Pre-Planting Risk of *Stagonospora nodorum* Blotch in Winter Wheat Using Machine Learning Models," *Front. Plant Sci.*, vol. 7, p. 390, Mar. 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.00390.
28. "How Smart Farming Is Renovating Traditional Farming Methods & Tools?" [Online]. Available: <https://www.mirrorreview.com/smart-farming-renovating-traditional-farming-methods/>. [Accessed: 26-June-2020].

فصل سوم

پذیرش شبکه حسگر بی سیم در کشاورزی هوشمند

۳-۱-۳- حسگرها و شبکه حسگر بی سیم

مفهوم خودکارسازی جمع‌آوری اطلاعات فیزیکی به‌وسیله محیط‌های نظارتی در مراحل اولیه است. پیشرفت‌ها در صنعت سیلیکون همراه با قانون مور^۱، مسیر را برای طراحی جایگزین‌های نسبتاً منحصربه‌فرد، کوچک و قوی هموار کرد که برای نظارت بر موجودات فیزیکی در محیط اطراف توسعه داده شدند و استفاده می‌شوند. با پیشرفت در فناوری نیمه‌رسانا، شبکه و علم مواد، استفاده از ابزار دقیق الکترونیکی برای خودکارسازی وظایف زندگی روزمره به حوزه جدیدی از آزمایش و تجربیات تبدیل شده است. طراحی و مقرون به‌صرفه بودن این سه فناوری، شاخه جدیدی از دستگاه‌های سخت‌افزاری شبکه‌ای قدرتمند به نام حسگرها را به‌وجود آورده است.

حسگرها که به آن‌ها موت نیز گفته می‌شود، «سخت‌افزاری هستند که با باتری کار می‌کنند و توانایی سنجش اطلاعات فیزیکی، پردازش و انتقال اطلاعات را بین سایر حسگرها یا مستقیماً به ایستگاه پایه یا یک ذخیره‌سازی از راه دور دارند». به عبارت دیگر، یک گره حسگر را می‌توان به‌عنوان «دستگاه الکترونیکی‌ای با منبع تغذیه محدود که قادر به تولید یک محرک قابل اندازه‌گیری موردنیاز برای اصلاح شرایط فیزیکی است که از طریق گره حس می‌شود»، تعریف کرد. اندام‌های حسی موجود در یک انسان بهترین استعاره از چپستی یک گره حسگر و نحوه عملکرد آن است. همان‌طور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، هر گره حسگر دارای چهار جزء اصلی است: یک میکروکنترلر، یک فرستنده و گیرنده، یک منبع تغذیه و حافظه خارجی که می‌تواند ماهیت آنالوگ یا دیجیتال باشد [۳-۱].

حسگرهای آنالوگ بسته به محیط فیزیکی‌ای که در حال شناسایی هستند، مقادیر سیگنال آنالوگ خام (به شکل موج پیوسته) را تولید می‌کنند. مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال^۲ باید اطلاعاتی را که ماهیت موج دارند، به شکل دیجیتال (یعنی ۰ و ۱) تبدیل کنند تا درک آسان‌تری از میکروکنترلر و همچنین اپراتور انسانی داشته باشند.

حسگر دیجیتال مستقیماً داده‌ها را به شکل ۰ و ۱ تشخیص می‌دهد؛ به‌ویژه، سخت‌افزار دیجیتالی کامل در محل قرار دارد. این حسگرها دارای محدودیت‌های بالایی هستند و هر اقدامی باید دقیقاً زمان‌بندی شود.

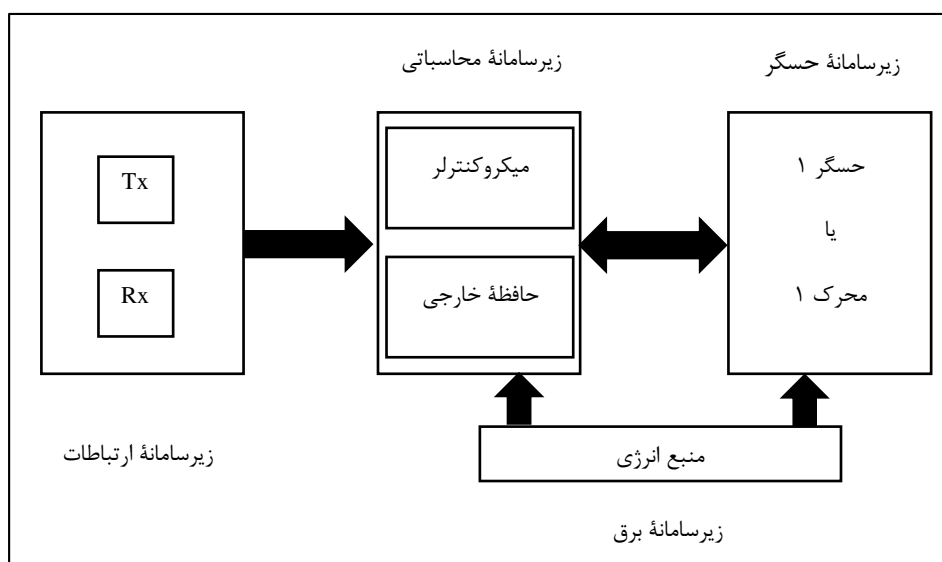
۳-۱-۱- زیرسامانه قدرت

با توجه به ماهیت بی‌سیم و محاسباتی یک گره حسگر، برای این که بتواند به‌درستی کار کند منبع تغذیه کافی برای گره موردنیاز است. یک باتری خارجی یا منبع انرژی خورشیدی به یک گره متصل

^۱. Moore's Law

^۲. Analog to Digital Converter (ADC)

است؛ زیرا گره‌ها باید برای نظارت و پردازش اطلاعات شناسایی شده از یک هدف خاص در نظر گرفته شوند. در این مورد، انواع مختلف باتری‌هایی که برای حسگرها استفاده می‌شوند، قابل شارژ یا غیرقابل شارژ هستند و از عناصر الکتروشیمیایی مانند نیکل کادمیوم^۱ و یون لیتیوم و غیره تشکیل شده‌اند. بیشتر تحقیقات فعلی بر توسعه طرح‌های انتقال داده و جمع‌آوری کارآمد مانند مدیریت توان دینامیکی^۲ و مقیاس ولتاژ دینامیکی^۳ متمرکز شده‌اند و این‌ها به‌منظور به حداکثر رساندن استفاده از منبع انرژی نسبتاً محدود باتری گره‌ها استفاده می‌شوند [۴ و ۵].



شکل ۳-۱- ساختار معمولی یک گره حسگر

۳-۱-۲- زیرسامانه محاسباتی

زیرسیستم محاسباتی از دو جزء مهم تشکیل شده است؛ یک میکروکنترلر و یک واحد ذخیره‌سازی. میکروکنترلر یک کامپیوتر کوچک است که روی یک اکسید فلزی نیمه‌رسانا قرار می‌گیرد که یک تراشه مدار مجتمع با توان مصرفی بر حسب میلی‌وات یا میکرووات است. میکروکنترلر مسئول پردازش اطلاعات و همچنین محاسبه و کنترل سایر واحدهای یک گره است که قابل مقایسه با

^۱. NiCd

^۲. Dynamic Power Management (DPM)

^۳. Dynamic Voltage Scaling (DVS)

واحد پردازش مرکزی^۱ یک کامپیوتر است. هر میکروکنترلر یک واحد حافظه به همراه برخی از ویژگی‌های ورودی یا خروجی قابل برنامه‌ریزی دارد. واحد حافظهٔ پیوسته شده، یک حافظهٔ فلش غیرفرار (حافظهٔ فقط خواندنی قابل برنامه‌ریزی با قابلیت پاک کردن الکتریکی^۲، حافظهٔ فقط خواندنی^۳) است که برای ذخیرهٔ دستورالعمل‌های برنامهٔ ضروری یا داده‌های مربوط به برنامه استفاده می‌شود. برخی از میکروکنترلرهای معروف عبارت‌اند از: تگزاس اینسترومنتز ام‌اس‌پی ۴۳۰، اتمل اتمگاه^۴ و اینتل استرانگ‌آرم^۵ [۲ و ۶].

۳-۱-۳- زیرسامانهٔ ارتباطی

زیرسامانهٔ ارتباطی متشکل از ماژولی است که مسئول جنبهٔ ارتباطی گره حسگر است که برای انتقال اطلاعات جمع‌آوری شده استفاده می‌شود. اشکال بی‌سیم ارتباط مانند فرکانس رادیویی^۷ یا مادون قرمز به‌طور قابل توجهی اشکال رایج برای حسگرها هستند. فرستنده^۸ و گیرنده^۹ با هم گره فرستنده را تشکیل می‌دهند و وظیفهٔ ارسال و دریافت سیگنال‌های رادیویی را برای ارتباط احتمالی بر عهده دارند.



شکل ۳-۲- میکروکنترلر ۸۰۵۱ [۷]

¹. Central Processing Unit (CPU)

². Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM)

³. Read Only Memory (ROM)

⁴. Texas Instruments MSP 430

⁵. Atmel Atmega

⁶. Intel StrongARM

⁷. Radio Frequency (RF)

⁸. Tx

⁹. Rx

۳-۱-۴- زیرسامانه حسگر

زیرسامانه حسگر، قطعه‌ای از سخت‌افزار است که تغییرات پارامتر خاصی از نمونه هدف را تشخیص می‌دهد و متعاقباً اطلاعات جمع‌آوری شده را برای پردازش به میکروکنترلر ارسال می‌کند. مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال برای دیجیتالی کردن داده‌های آنالوگ خام حسگرها استفاده می‌شوند، بنابراین تجزیه و تحلیل میکروکنترلر راحت است. دقت و حساسیت یک حسگر از ویژگی‌های اصلی آن است. با پیشرفت در سامانه‌های میکروالکترومکانیکی^۱، حسگرهایی با اندازه میکرو با کمترین توان و هزینه در حال توسعه هستند و تغییر به سمت طراحی حسگرهای یکبار مصرف با استفاده آسان در حال افزایش است [۴].

ترکیب قدرت مشارکتی انواع عملکردهای مختلف حسگرهای بی سیم، به منظور نظارت بر مناطق هدف بزرگ در طول سه دهه اخیر محبوبیت پیدا کرده است و این امر به عنوان شبکه‌های حسگر بی سیم یا وب حسگر شناخته می‌شود. شبکه‌های حسگر بی سیم به این صورت تعریف می‌شوند: «شبکه‌ای از گره‌های حسگر که در یک منطقه مورد علاقه برای حس کردن و جمع‌آوری الگوهای داده‌های فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی که ماهیت مکانی یا زمانی دارند پراکنده شده‌اند و داده‌ها را به ایستگاه مرکزی از طریق یک پیوند ارتباطی از طریق دروازه شبکه انتقال می‌دهند» [۳-۱]. یک شبکه حسگر بی سیم از طریق چندین گره حسگر متحرک یا ثابت ثانویه یا اولیه تشکیل می‌شود که به صورت مکانی توزیع می‌شوند، گاهی اوقات حتی بدون مراقبت رها می‌شوند و به شکل توپولوژیکی از پیش تعریف شده (مثلاً مش یا ستاره) برای جمع‌آوری اطلاعات تعیین شده و انتقال آن به یک سرور ذخیره‌سازی مرکزی راه دور برای اقدام نهایی ضروری و معنادار قرار می‌گیرند. امروزه، شبکه‌های حسگر بی سیم پیشرفته نیاز به نگهداری، محدودیت‌های استقرار و هزینه‌های کمتری دارند. در حال حاضر، دامنه شبکه حسگر بی سیم مقدار قابل توجهی از رشد و پشتیبانی را در ساخت تعدادی نرم‌افزار و سخت‌افزار ویژه برنامه با حداقل مصرف انرژی اما با الگوریتم‌های مسیریابی، امنیت سامانه و قابلیت اطمینان ایجاد کرده است.

با توجه به ویژگی‌های بسیار زیاد، شبکه‌های حسگر راه خود را به کاربردهای متنوعی از خانه، محل کار، محیط زیست، دفاع، صنعت پیشرفته نسل ۴،۰، مدیریت بلایا، سامانه حمل و نقل هوشمند، کشاورزی نسل ۵ و فراتر از آن پیدا کرده‌اند [۱ و ۸].

^۱. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)

بسته به ماهیت استقرار شبکه حسگر بی سیم، شبکه حسگر می تواند انواع مختلفی داشته باشد [۹]:

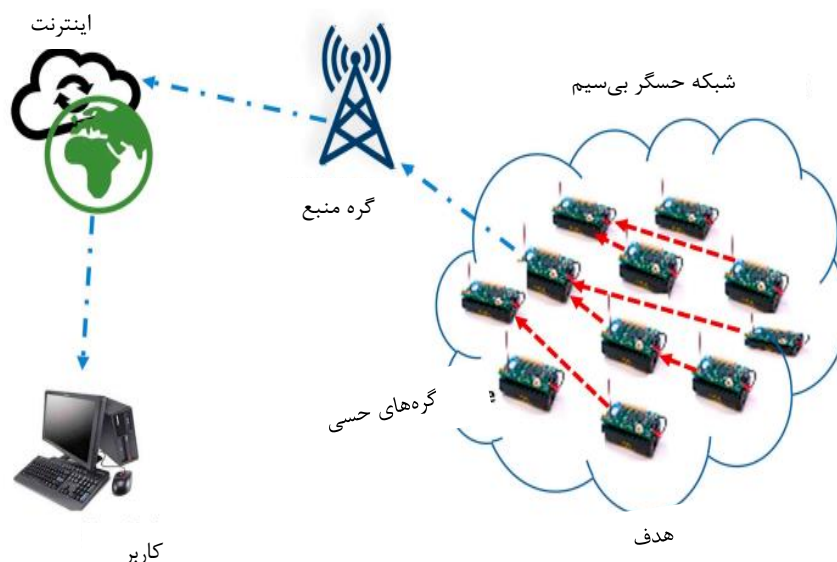
- **شبکه های حسگر بی سیم زمینی:** مجموعه ای از هزاران گره حسگر بی سیم که به صورت برنامه ریزی شده یا تصادفی روی زمین قرار می گیرند تا منطقه را نظارت کنند.
- **شبکه های حسگر بی سیم زیرزمینی:** نوعی شبکه که در آن گره های حسگر برای جمع آوری اطلاعات در اعماق زمین دفن می شوند که معمولاً به دلیل استفاده از حسگرهای اضافی برای عمل کردن به عنوان میانجی روی زمین برای انتقال اطلاعات پرهزینه می شود.
- **شبکه های حسگر بی سیم زیر آب:** یک نوع شبکه که در آن بسیاری از حسگرهای مقاوم در برابر آب در داخل آب قرار می گیرند و از مدیریت انرژی بالا، طرحواره های انتقال داده و پروتکل ها استفاده می کنند.

۳-۱-۵- شبکه های حسگر بی سیم چندرسانه ای

شبکه های حسگر بی سیم چندرسانه ای نوعی شبکه هستند که در آن داده های مورد نیاز برای شناسایی از نوع تصویر، صدا یا ویدئو استفاده می شود. تعدادی حسگر دوربین یا صدا در منطقه مورد نظر به منظور گرفتن اطلاعات مورد نیاز تنظیم شده است.

۳-۱-۶- شبکه های حسگر بی سیم تلفن همراه

شبکه های حسگر بی سیم تلفن همراه نوعی شبکه هستند که ماهیت متنوع دارند و پویاترین شبکه هستند. این شبکه ها از حسگرهایی برای تشخیص حرکت استفاده می کنند تا اجسامی را که در زمان واقعی عمل می کنند نظارت کنند.



شکل ۳-۳- نمای کلی یک شبکه حسگر بی سیم [۸].

۳-۲- تکامل شبکه حسگر بی سیم

تولد شبکه حسگر بی سیم به دوران جنگ سرد برمی گردد. سامانه نظارت صوتی^۱، که ارتش ایالات متحده در دهه ۱۹۵۰ آن را ساخت، برای نظارت بر حضور زیردریایی های شوروی استفاده شد. این شبکه زیر آب قرار داشت و دارای یک هیدروفون و یک حسگر صوتی بود که در داخل اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس قرار گرفته بود. سامانه نظارت صدا هنوز توسط اداره ملی اقیانوس شناسی و جوی^۲ برای نظارت بر دریا استفاده می شود. در دهه ۱۹۸۰، مفهوم شبکه های حسگر توزیع شده^۳ در آژانس پروژه های تحقیقاتی پیشرفته دفاعی^۴ شروع به پیشرفت کرد. با توجه به موفقیت این پروژه، مؤسسات دانشگاهی مانند مؤسسه فناوری ماساچوست^۵ و دانشگاه کارنگی ملون^۶ ترغیب شدند تا شبکه حسگر بی سیم را در حوزه غیرنظامی و آموزشی محبوب کنند. در دهه ۱۹۹۰، برکلی^۷ از دانشگاه کالیفرنیا، ابتکاری را با استفاده از تکنولوژی گردوغبار هوشمند رهبری کرد و در توسعه

^۱. Sound Surveillance System (SOSUS)

^۲. National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA)

^۳. Distributed Sensor Networks (DSN)

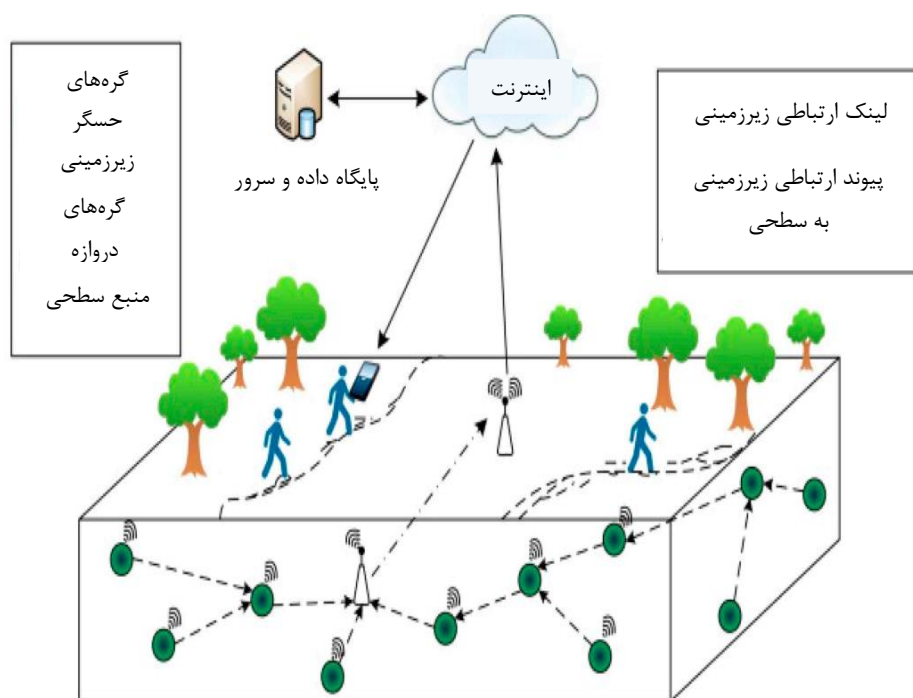
^۴. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)

^۵. Massachusetts Institute of Technology (MIT)

^۶. Carnegie Mellon University

^۷. Berkley

حسگر سامانه‌های میکروالکترومکانیکی فشرده و مقرون به صرفه به موفقیت دست یافت. در قرن بیست و یکم، پروژه تحت حمایت دارپا یعنی سنس آی تی^۱ موجب تلاشی برای افزایش بیشتر قابلیت‌های گره‌های حجیم قدیمی شد. چندین ابتکار صنعتی و دانشگاهی برای تقویت معرفی شبکه حسگرهای بی‌سیم در کارهای روزمره انجام شد. برای مثال، مرکز سنجش شبکه جاسازی شده^۲ (۲۰۰۲)، اتحاد زیگبی^۳ (۲۰۰۲)، وب‌های حسگر ناسا^۴ (۲۰۰۱) و غیره. امروزه، دوره‌ای از گره‌های قدرتمند همه‌کاره با کاهش شدید اندازه و هزینه، اما با افزایش متناظر در عملکرد و در دسترس بودن، تکامل یافته است [۱۱ و ۱۲].



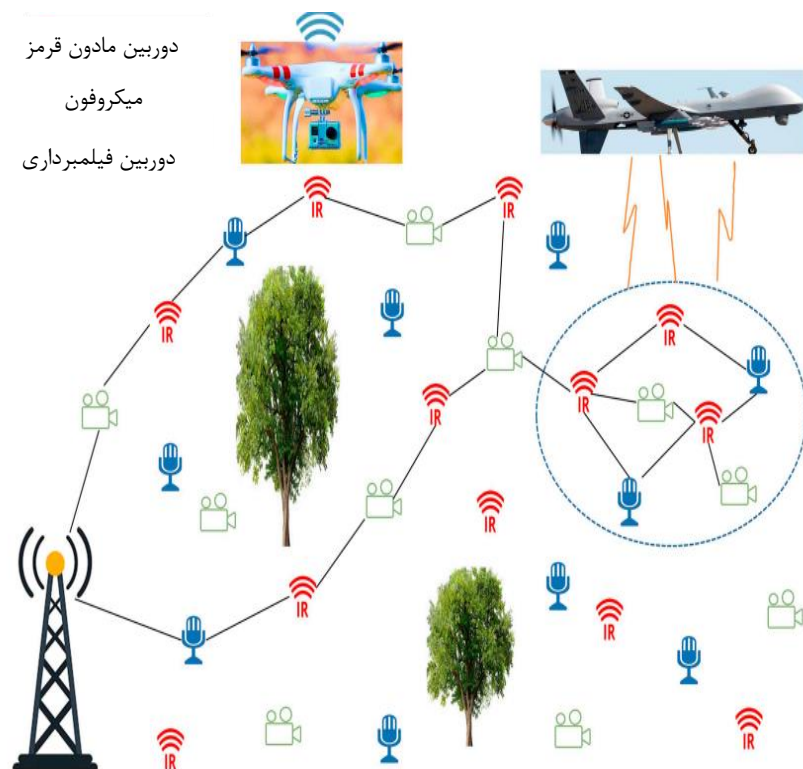
شکل ۳-۴- نمای کلی یک گره حسگر بی‌سیم زیرزمینی [۸ و ۹].

^۱. SensIT

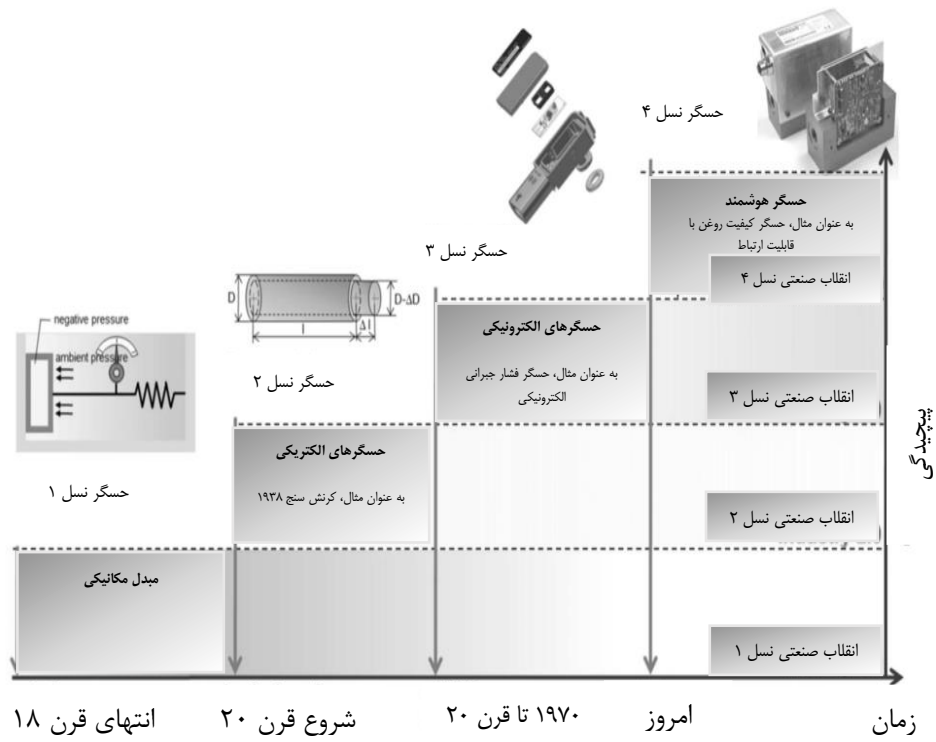
^۲. Center for Embedded Network sensing

^۳. Zigbee Alliance

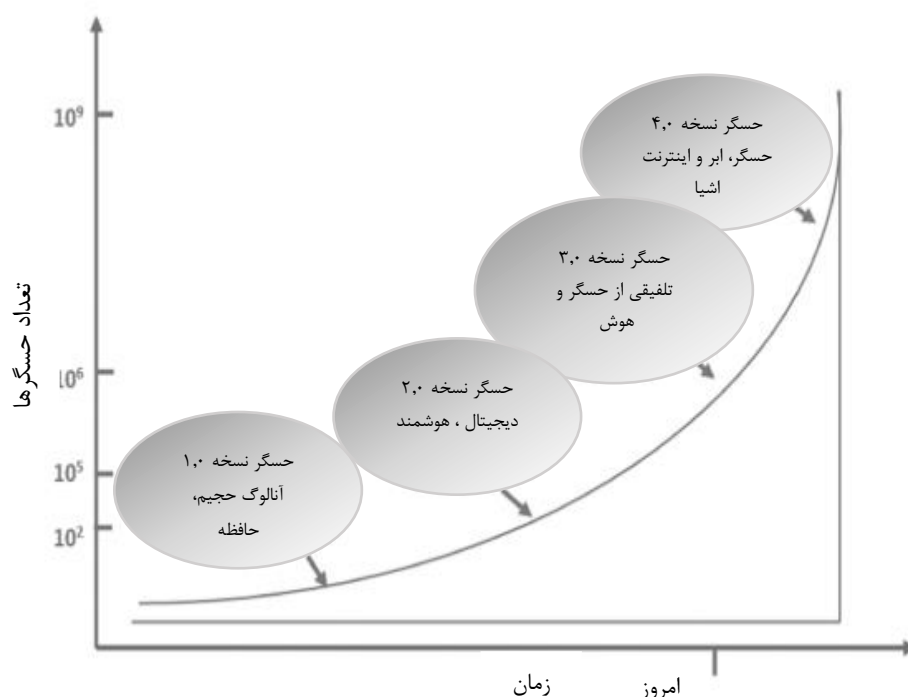
^۴. NASA Sensor Webs



شکل ۳-۵- نمای کلی یک شبکه حسگر بی سیم چندرسانه‌ای [۸ و ۱۰].



شکل ۳-۶- تکامل از یک حسگر سنتی به یک حسگر هوشمند [۱۳].



شکل ۳-۷- نسل های حسگر، از غیرفعال تا حسگرهای هوشمند [۱۴].

۳-۳- معرفی شبکه حسگر بی سیم در کشاورزی

شیوه های کشاورزی از انقلاب کشاورزی اول به طور مداوم در حال تحول بوده است. تولد فناوری کاربرد نرخ متغیر در مجموعه کشاورزی سنتی و استفاده از ابزارهای مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی یا سامانه موقعیت یاب جهانی واقعاً مسیر را برای شیوه های کشاورزی دقیق هموار کرد. کشاورزی دقیق به سرعت در سراسر جهان شکوفا شده است و به آرامی شروع به پذیرش فناوری های جدیدی کرده است که ماهیت نسبتاً مستقل داشتند. اواخر دهه ۱۹۹۰، اوج آغاز به کار بردن حسگرها در کارهای روزمره زندگی بود و محققان شروع به بهره مندی از حسگرها برای اعمال کشاورزی دقیق کردند. بسیاری از ابتکارات که قبلاً اجرا شده بودند در دسترس بود [۱۹-۱۵] و بسیاری دیگر در حال ظهور بود. تا پایان سال ۲۰۱۸، بازار کشاورزی مبتنی بر حسگر به ۱،۲۳ میلیارد دلار در سطح جهانی رسید و انتظار می رود تا سال ۲۰۲۶ با نرخ رشد مرکب سالانه ^۱ ۱۱،۴ درصد به ۲،۵۶ میلیارد دلار افزایش یابد [۲۰].

^۱. Compound Annual Growth Rate (CAGR)

۳-۴- ویژگی‌های حسگرهای مبتنی بر کشاورزی

طراحی شبکه حسگر بی‌سیم، رویکردهای استقرار و ویژگی‌های بخش کشاورزی، تفاوت قابل توجهی با سناریوی عمومی شبکه حسگر بی‌سیم ندارند. با این حال، بسیاری از ملاحظات قبل از تصمیم‌گیری درست از نظر فناوری مورد استفاده، باید در نظر گرفته شود. برخی از عوامل مهم عبارت‌اند از [۲۰]:

- **مقیاس فضایی:** اندازه مزرعه‌ای که باید نظارت شود چقدر است؟ (به عنوان مثال به صورت محلی بر حسب هکتار یا مترمربع و در سطح جهانی در مناطق بزرگ)
- **مقیاس زمانی:** چه مدت این منطقه نظارت خواهد شد؟ (به عنوان مثال سالانه، هفتگی یا فصلی)
- **تنوع فضایی:** نرخ تغییر در مقیاس فضایی منطقه تحت مشاهده چقدر است؟ (به عنوان مثال متراکم یا پراکنده)
- **تغییر زمان:** نرخ تغییر در ویژگی‌های ناحیه‌ای که باید نظارت شود چقدر است؟ (به عنوان مثال کند یا سریع)
- **پاسخ‌گویی:** ماهیت اطلاعاتی که قرار است در اختیار کشاورز قرار گیرد چیست؟ (مثلاً بلادرنگ یا آفلاین)
- **دسترسی:** دسترسی به مکان چقدر آسان است؟
- **عدم نفوذ:** آیا قرارگیری گره باید قابل مشاهده، پنهان یا بدون تداخل با سایر سامانه‌ها باشد؟

• **هزینه استقرار و نگهداری:** هزینه نگهداری و استقرار سامانه چقدر است؟

استقرار یک شبکه حسگر بی‌سیم بسته به پوشش و اتصال گره‌های شبکه می‌تواند تصادفی یا ساختاری باشد. تکنیک‌های مختلفی مانند اصول هندسی را می‌توان به منظور محاسبه فاصله بین گره‌ها (یعنی منبع) و بین منبع و منبع ذخیره مرکزی برای قرارگیری بهینه در یک مکان شبکه ساختاریافته استفاده کرد. با این حال، این مورد برای مدنظر قراردادن تصادفی نیست. در راه‌اندازی شبکه حسگر بی‌سیم کشاورزی، انواع ناهمگن یا مشابه گره‌ها را می‌توان قرار داد و این گره‌ها می‌توانند ماهیت متحرک یا آگاه از موقعیت مکانی داشته باشند (مثلاً مجهز به سامانه موقعیت‌یاب جهانی). هر گره داده‌های مورد نیاز را به صورت دیجیتال یا آنالوگ حس می‌کند و با کمک نرم‌افزار یا قوانین سخت‌افزاری از پیش تعریف‌شده روی یک کانال ارتباطی امن برای درون‌یابی و تولید خروجی‌های مربوطه، آن را به منبع مرکزی یا گره دیگری ارسال می‌کند. کاربران راه دور می‌توانند از اینترنت برای کنترل، نظارت و مشاهده هر عمل بر اساس ورودی داده‌های حسگر استفاده کنند. رویکردهای کاربردی متفاوت حسگر در کشاورزی دقیق معرفی شده است و بر اساس الزامات زیر

است: حسگرهای راه دور، سامانه‌های مکانیکی اطلاعات شبکه^۱ و سامانه‌های شبکه‌ای تعبیه‌شده^۲. در یک محیط سنجش توزیعی‌شده، سامانه‌های مکانیکی اطلاعات شبکه یا حسگرهای راه دور می‌توانند از کشاورز در برخورد با ماهیت نسبتاً پویا و غیرقابل پیش‌بینی مزرعه حمایت کنند و حسگرهای سامانه‌های شبکه‌ای تعبیه‌شده یا زمینی مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند و قادر به ارائه اطلاعات مربوط به مکان هستند؛ اگرچه کاملاً همه‌کاره نیستند [۲۱]. همان‌طور که در شبکه حسگر عمومی مشاهده شد، شبکه حسگر بی‌سیم کشاورزی از یک هماهنگ‌کننده (یعنی یک منبع که کل شبکه را اداره می‌کند)، روترها (که اطلاعات مسیر را نشان می‌دهد) و دستگاه‌های پایانی (یعنی گره‌های حسگر منبع) تشکیل شده است. ابعاد طراحی و استقرار شبکه حسگر بی‌سیم در کشاورزی با ویژگی‌های فنی زیر انجام می‌شود:

- **شبکه‌های بی‌سیم:** شبکه‌های حسگر بی‌سیم، قادر به اندازه‌گیری تنوع بالا از نظر زمان و مکان هستند، بنابراین اطلاعات را به‌صورت بلادرنگ در دسترس قرار می‌دهند. علاوه‌براین، ماهیت بی‌سیم هزینه‌های نصب و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.
- **اندازه فشرده**
- **هزینه کم**
- **اعتبار**
- **پویایی**
- **امنیت**
- **مصرف کم انرژی**
- **مدیریت داده‌های مبتنی بر وب:** ذخیره‌سازی، استخراج و پردازش داده‌های جمع‌آوری‌شده برای سامانه نظارت بسیارمهم است. چنین داده‌های گسترده و مهمی را می‌توان در اینترنت ذخیره کرد یا به کشاورز تحویل داد. پلتفرم‌های مختلف مبتنی بر وب برای جمع‌آوری و نمایش داده‌های جغرافیایی وجود دارد، به‌عنوان مثال، شبکه‌های حسگر جهانی^۳ و سنس وب^۴ [۲۲ و ۲۳].
- هدف از تحقیق در شبکه‌های حسگر، غلبه بر محدودیت‌های فوق با توسعه یا بهبود پروتکل‌ها، الگوریتم‌ها، نرم‌افزار و سخت‌افزار است.

¹. Networked Info Mechanical Systems (NIMS)

². Embedded Networked Systems (ENS)

³. Global Sensor Networks (GSN)

⁴. SenseWeb

۳-۴-۱- استانداردها و پروتکل‌های ارتباطی

در جهان امروز، فناوری‌ها و استانداردهای بی‌سیم متفاوتی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بر اساس نیازهای خاص برای اتصال استفاده می‌شود، یعنی در دسترس بودن توان (با باتری یا غیره)، مقررات محلی فرکانس رادیویی، چگالی حسگرها، فاصله تا حسگر، فرکانسی که حسگرها باید خوانده شوند، میزان داده، زیرساخت و فراتر از آن. استفاده از شبکه‌های حسگر با باتری یا خورشید برای نظارت بر مزارع وسیع کشاورزی، مستلزم استفاده از فناوری اتصال قابل اعتماد، ایمن، مقرون به صرفه و کم‌مصرف برای انتقال داده‌ها از گره منبع به گره‌های فرورفته از طریق پل بین دو شبکه است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم تمایل دارند از فرکانس‌های ارتباطی بدون مجوز یا فرکانس‌های باند صنعتی، علمی و پزشکی^۱ استفاده کنند. گروه کاری مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک با کد مشخصه ۸۰۲،۱۵،۴، استاندارد را برای اتصال دستگاه با محدودیت انرژی ارائه می‌کند و معمولاً حسگرها یکی از این استانداردها را برای اتصال مانند زیگبی، نخ^۲، وایرلس^۳ هار [۲۴]، ریزتراشه بی‌سیم^۴ و شبکه شخصی بی‌سیم کم‌مصرف^۵ استفاده می‌کنند. سایر فناوری‌های رایج عبارتند از: وای‌فای^۶، بلوتوث، خدمات رادیویی بسته‌های عمومی نسل ۳ یا نسل ۴، وایمکس^۷، موج زد^۸، روبی^۹، شناسایی فرکانس رادیویی^{۱۰}، توپولوژی شبکه تطبیقی^{۱۱}، لیزر، مادون قرمز، و وبری^{۱۲}. زیگبی مشهورترین استاندارد ارتباطی است که در نظارت بر برنامه‌های کشاورزی استفاده می‌شود. ساده و مقرون به صرفه است و با نرخ تعریف شده ۲۵۰ کیلوبیت در ثانیه و برد انتقال ۱۰ تا ۱۰۰ متر در مقایسه با وای‌فای و بلوتوث انرژی کمتری مصرف می‌کند [۲۵ و ۲۶].

۳-۴-۱-۱- وای‌فای

وای‌فای مخفف هماننددهی بی‌سیم است و علامت تجاری وای‌فای از اتحاد غیرانتفاعی و خانواده فناوری‌های شبکه بی‌سیم است که بر اساس استانداردهای خانواده مؤسسه مهندسان برق و

¹. Industrial, Scientific, and Medical (ISM)

². Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

³. Thread

⁴. WirelessHART

⁵. Microchip Wireless (MiWi)

⁶. Low-Power Wireless Personal Area Network (LowPAN)

⁷. Wireless Fidelity (WiFi)

⁸. Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

⁹. Z Wave

¹⁰. RuBee

¹¹. Radio-Frequency Identification (RFID)

¹². Adaptive Network Topology (ANT)

¹³. Wibree

الکترونیک ۸۰۲,۱۱ است و معمولاً برای اتصال دستگاه‌ها در یک شبکه محلی^۱ و دسترسی به اینترنت استفاده می‌شود. علاوه بر این، وای فای یکی دیگر از فناوری‌های رایج مورد استفاده در دستگاه‌های حسگر کشاورزی، به ویژه هواپیماهای بدون سرنشین است. وای فای بیشتر از باندهای رادیویی صنعتی، علمی و پزشکی ۲,۴ گیگاهرتز (۱۲۰ میلی متر) فرکانس فوق العاده^۲ و ۵ گیگاهرتز (۶۰ میلی متر) فرکانس فوق العاده^۳ بالا استفاده می‌کند. برد انتقال آن در داخل ساختمان حدود ۲۰ متر و در خارج از منزل ۱۰۰ متر یا ۴۹۰ فوت است و می‌تواند به سرعت بیش از ۱ گیگابیت در ثانیه (گیگابیت بر ثانیه) دست یابد.

۳-۱-۴-۳- بلوتوث

بلوتوث یک پروتکل ارتباطی کم مصرف و ارزان تر بر اساس استاندارد مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک ۸۰۲,۱۵,۱ است. دارای پوشش دهی ۸ تا ۱۰ متر با ظرفیت سرعت داده ۱ تا ۲۴ مگابیت بر ثانیه است. ماهیت فراگیر بلوتوث آن را به طور قابل توجهی برای استفاده در کاربردهای کشاورزی چندلایه مناسب می‌کند [۲۷]. نوکیا^۴ بلوتوث کم انرژی^۵ را در سال ۲۰۰۶ معرفی کرد و وای بری نیز بلوتوث کوچک را معرفی کرد [۲۷]. اما بعداً در سال ۲۰۱۰ با نسخه استاندارد بلوتوث نسل ۴,۰ ادغام شد. بلوتوث از باند فرکانسی ۲,۴ گیگاهرتز صنعتی، علمی و پزشکی استفاده می‌کند [۲۸] و [۲۹].

۳-۱-۴-۳- سرویس بسته امواج رایویی^۶ نسل ۳ و نسل ۴

سرویس بسته امواج رایویی، یک سرویس ارتباطی بی سیم بسته برای تلفن‌های همراه مبتنی بر سامانه جهانی^۷ است. سرعت داده از ۵۶ تا ۱۱۴ کیلو بیت بر ثانیه برای نسل دو است و این سرویس اتصال اینترنت را برای کاربران دستگاه‌های تلفن همراه و رایانه تضمین می‌کند. با معرفی اینترنت نسل ۳ و اینترنت نسل ۴، نسل‌های سوم و چهارم به ترتیب سرعت داده‌های بالاتری را با سرعت ۲۰۰ کیلو بیت بر ثانیه و ۱۰۰ مگابیت در ثانیه تا ۱ گیگابیت در ثانیه ارائه می‌دهند که به کاربران اجازه می‌دهد تا با استفاده از دستگاه‌های تلفن همراه و سامانه‌های رایانه‌ای در دسترس، با وبسایت‌های چند رسانه‌ای و برنامه‌های مشابه در زمان واقعی تعامل داشته باشند. این نوع فناوری

^۱. Local Area Network (LAN)

^۲. ultra high frequency (UHF)

^۳. super high frequency (SHF)

^۴. Nokia

^۵. Bluetooth Low Energy (BLE)

^۶. General Packet Radio Services (GPRS)

^۷. General Packet Radio Services (GSM)

نه تنها جهانی است و به آسانی برای هر فرد معمولی در دسترس است، بلکه به ردیابی و نظارت بلادرنگ مزارع و محصولات نیز کمک می‌کند. در نهایت، سرویس پیام کوتاه^۱ یکی از بهترین ویژگی‌های این فناوری است [۲۴، ۳۰ و ۳۱].

۳-۴-۱-۴-۳- وایمکس

همکاری جهانی برای دسترسی مایکروویو^۲ یک استاندارد ارتباط بی‌سیم است که به پیشرفت‌های قابل همکاری در خانواده استانداردهای مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک ۸۰۲،۱۶ اختصاص دارد. ظاهراً وایمکس سرعت داده ۰،۴ تا ۱ گیگابیت بر ثانیه را در دستگاه‌های غیرمتحرک ارائه می‌دهد و برد انتقال این فناوری ۵۰ کیلومتر است. در مقایسه با ارزیابی بلندمدت^۳ اینترنت نسل ۴ و دسترسی به بسته‌های پرسرعت تکامل یافته^۴ از نظر انرژی کارآمدتر است. وایمکس به دلیل برد و سرعت خود به عنوان جایگزینی رضایت‌بخش برای سایر فناوری‌ها در سامانه‌های نظارت بر محصول، بررسی بلادرنگ آبیاری با حسگر از راه دور و سامانه‌های اسپری استفاده می‌شود [۳۲]. جدول ۳-۱ درک بیشتری در مورد ویژگی‌های فناوری‌های ارتباطی موجود ارائه می‌دهد.

۳-۴-۲- ضرورت‌های سخت‌افزاری خاص

در سطح سخت‌افزار، طرح‌های جدیدی به منظور حذف انرژی از محیط اطراف ارائه می‌شوند. به عنوان مثال، سلول‌های خورشیدی در گره‌هایی تعبیه شده‌اند تا انرژی خورشید را جذب کرده و آن را به انرژی الکتریکی تبدیل کنند. تنظیمات سخت‌افزاری متعددی بسته به وضعیت کار (به عنوان مثال خاموش، فعال و بی حرکت) هر یک از اجزای یک گره، گنجانده شده‌اند تا انرژی باتری حفظ شود. فقط اجزای خاصی که باید در یک زمان خاص فعال باشند روشن هستند. علاوه بر اجزای اصلی یک گره حسگر، رقابت بین پلتفرم‌های حسگر مختلف، بازار را درگیر کرده‌است که از نظر هزینه، عملکرد یا سهولت استفاده متفاوت است. قابلیت همکاری بین تمامی پلتفرم‌های ناهمگن، پس از استفاده از حسگرهای ناهمگن، موضوعی جدی نیست. پلتفرم‌هایی مانند آردینو^۵،

^۱. Short Messaging Service (SMS)

^۲. Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

^۳. Long-Term Evaluation (LTE)

^۴. Evolved High-Speed Packet Access (HSPA)

^۵. Arduino

رزبری پای^۱، تلوس بی^۲، سان اسپات^۳، لوتوس^۴، ایریس و میکاز^۵ در تحقیقات و عمل کشاورزی محبوب هستند. توسعه تجاری بیشتر سخت افزار برای حسگرهای شرکت هایی مانند سنسیریون^۶، لیبلیوم^۷، دکاگون^۸، ایکس بی^۹، متر^{۱۰}، اینتل^{۱۱} و کوالکام^{۱۲} منجر به نوآوری چندمنظوره، مناطق پوشش متنوع و طراحی های حسگر مقرون به صرفه شده است. خوانندگان می توانند برای مطالعه گسترده انواع مختلف حسگرهای مورد استفاده در تعداد زیادی از فعالیت های کشاورزی به این منابع مراجعه کنند [۳۳-۳۶].

آردینو یک پلتفرم جامع است که در نرم افزار و سخت افزار گسترده می شود. به آن برد شکست می گویند، جایی که حسگرها یا محرک ها با استفاده از پین هایی به نام سیم های جامپر روی تخته برد سیم کشی می شوند و با استفاده از آردینو در محیط توسعه یکپارچه برنامه ریزی می شوند. این دستگاه دارای یک ریزپردازنده است و بنابراین به عنوان یک کامپیوتر کوچک شناخته می شود. رزبری پای یکی دیگر از بردهای رایج مبتنی بر لینوکس است که برای اتصال چندین دستگاه حسگر تحت یک پلتفرم استفاده می شود. چنین بردهایی را می توان به راحتی از بازار برای کارهای عملی و تنها با چند دلار خریداری کرد. علاوه بر این، نود ام سی یو^{۱۳} مبتنی بر برد روی میکروکنترلر ای اس پی ۸۲۶۶^{۱۴} است. این برد دارای وای فای و مقرون به صرفه است و به صورت رایگان در آمازون و ای بی^{۱۵} در دسترس است. این برد به توسعه و آزمایش پروژه ها و همچنین ارسال داده ها از طریق وای فای به ابر یا سایر سرورهای ذخیره سازی کمک می کند.

¹. Raspberry Pi

². TelosB

³. SunSPOT

⁴. LOTUS

⁵. MICaz

⁶. Sensirion

⁷. Libelium

⁸. Decagon

⁹. XBee

¹⁰. METER

¹¹. Intel

¹². Qualcomm

¹³. NodeMCU

¹⁴. ESP8266

¹⁵. eBAY

جدول ۳-۱ ویژگی‌های استانداردهای ارتباطی مختلف شبکه حسگر بی‌سیم

پارامتر	ZigBee	WiFi	Bluetooth	GPRS/3G/4G	WiMAX	Wibree
استاندارد	IEEE 802.15.4	IEEE802.11a,b,g,n	IEEE802.15.	-	IEEE 802.16 a,e	IEEE802.15.1
باند فرکانس	868/915MHz,2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	865MHz, 2.4GHz	2-11GHz (mobile)66GHz (stationary)	2.4 GHz
نرخ داده	20-250 kbps	2-54Mbps	1-24Mbps	50-100 kbps/ 200kbps/ 0.1- 1Gbps	Up to 100 Mbps(stationary), Up to 50mbps (mobile)	1 Mbps
محدوده انتقال	10-20m	20-100m	8-10m	Whole GSMnetwork	$\leq 50\text{km}$ (stationary) $\leq 15\text{km}$ (mobile)	5 to 10 m
مصرف انرژی	کم	زیاد	معمولی	معمولی	معمولی	کم
هزینه	کم	زیاد	کم	معمولی	زیاد	کم

۳-۴-۳- نیازهای نرم‌افزاری خاص

طراحی نرم‌افزار برای گره‌های حسگر معمولاً باید سریع، قوی و مقاوم در برابر خطا باشد، ظرفیت حافظه کمی اشغال کند و انرژی بالایی را برای ارزیابی داده‌های محیطی پویا بهینه‌سازی کند. نرم‌افزار موردنیاز برای گره‌ها به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

سیستم‌عامل: عملیاتی مانند راه‌اندازی و مدیریت کلی، عملکرد کلی گره را انجام می‌دهد. تحقیقات فوق‌العاده‌ای در این زمینه از نظر پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی زمان واقعی، زمان‌بندی، محاسبات و نیازهای حافظه انجام شده است [۳۷]. برخی از سیستم‌عامل‌های پرکاربرد برای گره‌های حسگر عبارت‌اند از:

- **سیستم‌عامل تینی^۱:** یک سیستم‌عامل منبع باز، مبتنی بر مؤلفه، برنامه‌گرا و کم‌مصرف برای یک سامانه جاسازی‌شده مانند شبکه حسگر بی‌سیم که اندازه آن به ۴۰۰ بایت می‌رسد که به زبان نس‌سی^۲ نوشته شده است و در سال ۲۰۰۰ به‌عنوان تلاش مشترک بین دانشگاه کالیفرنیا^۳، برکلی^۴، تحقیقات اینتل^۵ و فناوری کمان کراس^۶ منتشر شد؛ آخرین نسخه آن ۲،۱،۲ [۳۸] است.
- **کونتیکی^۷:** یک سیستم‌عامل متن باز و کاربردی است که اندازه نسبتاً کوچکی دارد و آدام دانکلز^۸ آن را در سال ۲۰۰۲ توسعه داد. کونتیکی یک سیستم‌عامل رویدادمحور است که به زبان سی^۹ با رابط کاربری گرافیکی نوشته شده است و تنها ۲ کیلوبایت رم و ۴۰ کیلوبایت رام مصرف می‌کند. از اتصال پروتکل اینترنت و همچنین آدرس دهی آی‌پی‌وی۶^{۱۰} [۳۹ و ۴۰] پشتیبانی می‌کند که به‌نوبه خود باعث محبوبیت بیشتر آن شد. آخرین نسخه‌اش ۳،۰ است. علاوه‌براین، این مرورگر با کوچک‌ترین مرورگر وب جهان همراه است و میکروکنترلرهای تگزاس^{۱۱} ابزارها^{۱۲} و ای‌تی‌مل^{۱۳} از آن در بردهای خود استفاده می‌کنند.

^۱. TinyOS

^۲. nesC

^۳. University of California

^۴. Berkeley

^۵. Intel Research

^۶. Crossbow Technology

^۷. Contiki

^۸. Adam Dunkels

^۹. C

^{۱۰}. IPV6

^{۱۱}. TEXAS

^{۱۲}. Instruments

^{۱۳}. Atmel

- **آرکی نانو^۱:** یک سیستم عامل منبع باز و زمان واقعی [۴۱] برای شبکه حسگر بی سیم که مربوط به میکروکنترلرهای دانشگاه کارنگی ملون^۲ است. آرکی نانو چندوظیفه‌ای، شبکه‌سازی و پردازش درخواست‌های مبتنی بر اولویت را تقویت می‌کند. اصطلاح «نانو» به معنی کوچک است یعنی فقط به ۲ کیلوبایت رم نیاز دارد و فقط از ۱۸ کیلوبایت حافظه خواندنی استفاده می‌کند، درحالی‌که «آرکی» مخفف هسته منبع است. این برنامه از برنامه‌های بیدرنگ بحرانی و غیر بحرانی پشتیبانی می‌کند که این به زبان سی نوشته شده است و روی پلتفرم شبکه حسگر فایرفلای^۳ مبتنی بر میکا زد^۴ و همچنین پردازنده ام‌اس‌پی ۵۴۳۰ اجرا می‌شود [۴۲].
 - **مانتیس^۵:** یک سیستم عامل تعبیه‌شده منبع باز برای پلتفرم‌های میکرو حسگر بی سیم است. مانتیس نام خود را از سیستم مولتی مدی‌ال^۶ برای شبکه حسگرهای بی سیم درجا به‌دست آورده است. به زبان C نیز نوشته شده است، سبک وزن است و به حافظه کمتر از ۵۰۰ بایت نیاز دارد. بخش بزرگی از ویژگی‌های طراحی MOS، انعطاف‌پذیری آن در قالب پشتیبانی از پلتفرم متقابل و توانایی تست روی رایانه‌های شخصی، PDA و پلتفرم‌های میکرو حسگر مختلف است. مدیریت از راه دور، حسگرهای درجا را از طریق برنامه‌ریزی مجدد پویا و ورود از راه دور و ویژگی‌های سیستم عامل حسگر پیشرفته مانند نمونه‌سازی چندوجهی، برنامه‌ریزی مجدد پویا و اتصالات راه دور پشتیبانی می‌کند. مانتیس هنوز در مرحله رشد خود است و باید پیشرفت‌هایی از نظر مدیریت انرژی و همچنین برخی از عوامل کلیدی انجام شود، اگرچه برخی پشتیبانی‌ها از برنامه‌های بلادرنگ نیز وجود دارد [۴۳].
- زنجیره معرفی یک سیستم عامل کاربردگرا برای شبکه حسگر بی سیم در حال حاضر در حال توسعه است و قرار است در آینده موارد بیشتری به لیست اضافه شود. از دیگر سیستم‌عامل‌های شبکه حسگر بی سیم می‌توان به اپن‌تگ^۸، سیستم عامل لایت^۹، سیستم عامل رزبری پای، شرکت اریکا^{۱۰} و غیره اشاره کرد.

^۱. Nano-RK

^۲. Carnegie Mellon University

^۳. FireFly

^۴. MicaZ

^۵. MSP430

^۶. Mantis

^۷. Multimodal

^۸. OpenTag

^۹. LiteOS

^{۱۰}. ERIKA

علاوه بر یک سیستم عامل، یک گره حسگر اغلب با استفاده از نرم افزار اختصاصی یا رایگان خاص سفارشی می شود تا به راحتی توسط یک شخص غیرمتخصص استفاده شود. در این مورد، طیف وسیعی از زبان های برنامه نویسی نرم افزار و ابزارهای توسعه استفاده می شود. برخی از انواع نرم افزارهای شبیه سازی مانند ان اس ۲^۱، کوجا^۲، اپنت^۳، توسیم^۴، متلب^۵ و غیره نیز برای تکرار رفتار شبکه حسگر بی سیم بزرگ قبل از استقرار واقعی استفاده می شوند. چنین نرم افزاری می تواند با یا بدون سخت افزار توسط شرکت فروخته شود و یک رابط برای برنامه نویسی میکروکنترلر با استفاده از یکی از رایج ترین زبان های برنامه نویسی مانند سی یا پایتون^۶ و غیره فراهم می کنند. نرم افزارهایی مانند اکسل^۷، پایتون^۸ و آر^۹ برای تجزیه و تحلیل داده های حسگر و نتیجه گیری معنادار برای مطالعه الگوی داده ها استفاده می شوند. لب ویو^{۱۰} و آردینو آردی ای^{۱۱} چند نمونه از نرم افزارهای محبوب برنامه نویسی حسگر و تنظیم مدار هستند.

میز کار مهندسی ابزار مجازی آزمایشگاهی یا لب ویو یک ابزار تجاری ۳۰ ساله ایجاد شده توسط ابزارهای ملی است که برای مهندسی، پیکربندی، تست و کنترل سخت افزار و امکان بینش سریع داده ها استفاده می شود. آخرین نسخه لب ویو ان ایکس جی^{۱۲} قادر به تست بی درنگ هوشمند، خودکارسازی سریع سخت افزار، سفارشی سازی تست های متناسب با مشخصات فرد و مشاهده آسان اندازه گیری ها است. اندازه گیری و طراحی سامانه ها با حسگرها و محرکها با لب ویو بسیار راحت شده است [۴۴ و ۴۵].

آردینو آردی ای: محیط توسعه یکپارچه آردینو رایج ترین محیط توسعه منبع باز و کاربر پسند است. نوشتن و آپلود کد روی بردهای آردینو یا سایر بردهای چندپلتفرمی مانند نانوند. نانود و محیط به زبان جاوا نوشته شده است و بر اساس پردازش و سایر نرم افزارهای منبع باز است. نسخه پایدار فعلی آردینو ۱.۸.۱۲ است؛ یک لیست ایده آل از جایگزین های آردینو آردی ای وجود دارد و

¹. NS2

². Cooja

³. OPNET

⁴. TOSSIM

⁵. MATLAB

⁶. Python

⁷. Excel

⁸. Python

⁹. R

¹⁰. LabVIEW

¹¹. Arduino IDE

¹². LabVIEW NXG

کاربر در انتخاب آن آزاد است. این‌ها شامل اکلیپس^۱، استودیوی ویژوال^۲ یا اینتلیج^۳، پروگرامینو^۴، امبدایکس کد^۵ (برای سیستم‌عامل مکینتاش^۶)، کی‌تچلب^۷، کدبندر^۸ (پلتفرم مبتنی بر وب)، ویژوال میکرو به‌علاوه ویژوال استودیو، زئوی آی‌دی‌ای^۹، استودیو آی‌تی‌مل^{۱۰} و آردینو دروید^{۱۱} (برای پلت فرم اندروید) [۴۶-۴۸] هستند.

نرم افزارهای ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها (مانند منگو دی‌بی^{۱۲}، نوسکل^{۱۳} و غیره) و سایر پلتفرم‌های مبتنی بر ابر (مانند هدوپ^{۱۴}، اوراکل^{۱۵}، آمازون^{۱۶}، گوگل و سایرین) نقشی حیاتی در حفظ اطلاعات حجیم برای مراجع احتمالی آینده دارند.

مسائل مربوط به مدیریت انرژی در سطح نرم‌افزار نیز مرتبط است. این امر از طریق به‌حداقل رساندن هزینه‌های ارتباطی و پیام‌رسانی با کمک بهبود الگوریتم‌های ارتباط و ارسال داده بررسی می‌شود. طرح‌های برنامه‌ریزی اشتراک‌گذاری وظایف، زمین هموارتر، فواصل کوتاه از منبع تا سینک و همگام‌سازی زمان در میان گره‌ها به‌طور قابل‌توجهی به حل عدم‌تعادل قدرت در شبکه کمک کرده‌است.

۳-۵- انواع حسگرهای مورد استفاده در سامانه کشاورزی شبکه حسگرهای

هوشمند

در یک سناریوی کشاورزی، یک سامانه شبکه حسگر بی‌سیم از گروهی از حسگرهای بیوشیمیایی که آنالوگ یا دیجیتال هستند و همچنین محرک‌ها تشکیل شده است. عملگرها ابزارهایی مکانیکی یا الکترومکانیکی هستند که برای کنترل و مدیریت یک عملکرد یا یک سامانه، مانند باز یا بسته شدن یک شیر، استفاده می‌شوند. عملگرها به‌صورت الکتریکی، دستی یا با فشار هوا یا هیدرولیک

¹. Eclipse

². Visual Studio

³. IntelliJ

⁴. Programino

⁵. embedXcode

⁶. Macintosh

⁷. Ktechlab

⁸. Codebender

⁹. Zeus IDE

¹⁰. Atmel Studio

¹¹. ArduinoDroid

¹². MongoDB

¹³. NoSQL

¹⁴. Hadoop

¹⁵. Oracle

¹⁶. Amazon

کار می کنند. یک محرک می تواند خطی یا دوار باشد و نقش مهمی را در هماهنگی با حسگرهای مختلفی که در یک مزرعه کشاورزی قرار دارند، ایفا می کند مانند سامانه های آبیاری خودکار یا برنامه های کاربردی نرخ متغیر. شرکت اردمان^۱، هانسن موتورز^۲، ایموشن^۳، اینس^۴، هارمونیک درایو^۵، ال ال سی^۶، راه حل های صنعتی ا تی پی^۷ و گروه اجزای جزیره شرکت اینس^۸ برخی از شرکت های پیشرو در تولید محرک ها هستند [۴۹].

هر حسگر برنامه گرا برای نظارت بر نهادهای مختلف مانند رطوبت، باران، دما و غیره که با اصول ساختاری تعریف شده کار می کنند، استفاده می شود. حسگرها را می توان تقریباً به سه دسته طبقه بندی کرد [۵۰]:

۱. حسگرهای منفعل و همه جهت

این نوع حسگرها قادر به اندازه گیری کمیت فیزیکی در نقطه گره حسگر در مزرعه هدف هستند. این حسگرها صرفاً در خدمت شناسایی هستند و با کاوش فعال محیط را دست کاری نمی کنند و یا تغییر نمی دهند. برخی از نمونه های این حسگرها عبارتند از: حسگرهای دماسنج، حسگرهای نور، حسگرهای لرزش، حسگرهای رطوبت، حسگرهای شیمیایی و آشکارسازهای دود. برای تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال به برق نیاز است. همچنین، اندازه گیری های انجام شده با این حسگرها مفهوم «جهت» را شامل نمی شود. این حسگرها نسبتاً رایج هستند و در کارهای اتوماسیون برای سنجش استفاده می شوند.

۲. حسگرهای غیرفعال با پرتو باریک

در این نوع حسگرها، یک مفهوم جزئی هنگام اندازه گیری در نظر گرفته می شود. به عنوان مثال، یک دوربین یا حسگر سیستم موقعیت یاب جهانی می تواند اندازه گیری ها را در یک جهت خاص انجام دهد.

۳. حسگرهای فعال

این گروه از حسگرها به طور فعال محیط را کاوش می کنند. به عنوان مثال، حسگر آوایی، حسگر رادار، یا انواع خاصی از حسگرهای لرزه ای.

¹. Erdmann Corp

². Hansen Motors

³. E-Motion

⁴. Inc

⁵. Harmonic Drive

⁶. LLC

⁷. OTP Industrial Solutions

⁸. Island Components Group, Inc

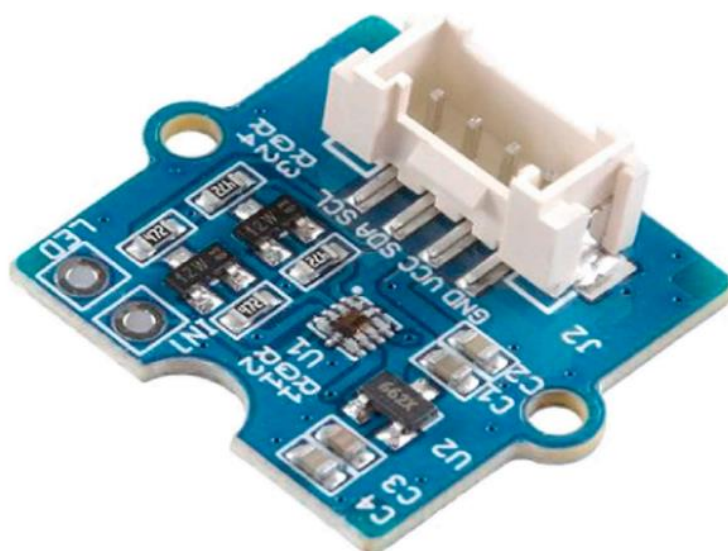
با محبوبیت استفاده از حسگرها در زندگی روزمره، هر روز تعداد زیادی حسگرهای جدید و نوآورانه اضافه می‌شود. حسگرهای کاربردی خاص به‌منظور مطابقت با نیازهای انجمن کشاورزی به‌طورویژه طراحی شده‌اند. موارد زیر حسگرهایی هستند که جایگاه خود را در یک یا چند عملیات راه‌اندازی خودکار کشاورزی دقیق پیدا کرده‌اند. هر گونه تنظیم ناهمگن از این گره‌های حسگر متعاقباً هر یک از انواع شبکه حسگر بی‌سیم (به‌عنوان مثال زمینی، زیر آب، هیبریدی و غیره) را تشکیل می‌دهد که می‌تواند به کشاورز در انجام وظایف مختلف و مهم در مزرعه کمک کند. بسته به کمیتی که با حسگر اندازه‌گیری می‌شود، موارد زیر برخی از حسگرهایی هستند که در کشاورزی دقیق قابل استفاده بوده‌اند.

۳-۵-۱- حسگرهای نوری

گروهی از حسگرهای غیرفعال هستند که قادر به تولید خروجی با تشخیص تغییرات، شکست یا انعکاس در طیف الکترومغناطیسی یا نور مرئی هستند و فرکانس آن‌ها از «مادون قرمز» تا «مرئی» تا طیف نور «فرابنفش» متغیر است. این نوع حسگرها انرژی نور یا فوتون نور را با سیگنال‌های الکتریکی (یعنی الکترون‌ها) شناسایی می‌کنند. حسگرهای نور معمولاً به‌عنوان دستگاه‌های فوتوالکتریک یا حسگرهای نور شناخته می‌شوند. ترانزیستورهای نوری، حسگر مکمل اکسید فلز نیمه‌رسانا^۱ مقاومت نوری، حسگر تصویر تماسی، حسگر الکترواپتیکال، آشکارساز شعله، حسگر مادون قرمز، ال‌ای‌دی^۲ به‌عنوان حسگر نور، حسگر پتانسیومتری قابل آدرس‌دهی نور، حسگرهای فیبر نوری، حسگر موقعیت نوری، حسگرهای لیزری ترموپایل، حسگر فوتوالکتریک، حسگر سنج و فتودیودها برخی از رایج‌ترین انواع حسگرهای شدت نور هستند [۴۹ و ۵۱].

^۱. Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)

^۲. LED



شکل ۳-۸- حسگر نور خورشید گراو [۵۱]

۳-۵-۲- حسگرهای الکتروشیمیایی

حسگرهای الکتروشیمیایی ابزارهای الکترونیکی متحرکی هستند که تغییرات در جریان، ولتاژ، یا وجود و ترکیب گاز یا مواد شیمیایی مایع را تعیین می‌کنند و خوانش‌ها را به خروجی‌های بصری تبدیل می‌کنند. حسگر شیمیایی که بر اساس تشخیص مواد بیولوژیکی است، بیوحسگر نامیده می‌شود. بیوحسگر یک دستگاه تحلیلی است که حضور یک ماده شیمیایی را که از طریق برهم‌کنش، یک جزء بیولوژیکی را به‌عنوان مثال، بافت، میکروارگانیسم‌ها، اندامک‌ها، گیرنده‌های سلولی، آنزیم‌ها، آنتی‌بادی‌ها، اسیدهای نوکلئیک و غیره، تشخیص می‌دهد. حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی ممکن است به هر یک از دسته‌های بیوحسگرهای آمپرومتریک، بیوحسگرهای پتانسیومتری، بیوحسگرهای امپدیمتری و بیوحسگرهای ولتامتری طبقه‌بندی شوند. دسته‌های دیگر بیوحسگرها شامل بیوحسگرهای نوری، بیوحسگرهای پوشیدنی، مانند نمایشگر ضربان قلب ساعت هوشمند، حسگرهای زیستی دماسنجی و بیوحسگرهای پیزوالکتریک [۵۲ و ۵۳] است. اولین حسگر زیستی «واقعی» را لیلند سی^۱ و کلارک جونیور^۲ در سال ۱۹۵۶ برای تشخیص اکسیژن ساختند. هنگامی که پایش میکروارگانیسم‌های خاک، سمی بودن آب، تشخیص بیماری و نظارت بر

^۱. Leland C.

^۲. Clark, Jr

محیط زیست به میان می آید، حسگرهای زیستی، دامنه وسیعی در کشاورزی دقیق دارند. به عنوان یک زمینه کاربردی جدید، حسگرها برای نظارت مستقیم بر عوامل ایجادکننده بیماری در هوا یا سایر موجودات اصلاح شده ژنتیکی^۱ طراحی شده اند [۵۴]. چنین گره هایی به طور مؤثر برای تشخیص کیفیت، رسیدن و پیش بینی عملکرد به صورت بلادرنگ طراحی شده اند. به عنوان مثال، ام. کروسپیپس^۲ کرم های پيله ساز را در معرض حمله به محصول پنبه قرار می دهد. حسگرهای گرافن می توانند حضور یک ویروس را تشخیص دهند؛ بنابراین می توانند به شناسایی عوامل بیماری زا در گیاه بیمار کمک کنند [۵۵].

۳-۵-۳- حسگرهای الکترومکانیکی

دستگاه هایی که بر اساس اصل الکترومکانیک کار می کنند و شامل اجزای الکتریکی و مکانیکی در انجام وظایف می شوند، الکترومکانیکی نامیده می شوند. عمل مکانیکی (حرکت) ناشی از انرژی الکتریکی خواهد بود یا برعکس. بازار حسگرهای الکترومکانیکی برای کشاورزی شامل حسگرهایی مانند فشار، جریان، حرکت، سطح، نشت یا حسگرهای شتاب سنج در میان بسیاری دیگر پررونق تر است.

حسگرهای فشار، دستگاه هایی الکترومکانیکی هستند که نیروها را در واحد سطح در گازها یا مایعات تشخیص می دهند و سیگنال هایی را به ورودی های دستگاه های کنترل و نمایش می دهند. حسگرهای حرکتی ابزارهایی الکترونیکی هستند که می توانند حرکت را تشخیص دهند. حسگرهای سطح، دستگاه هایی الکترومکانیکی هستند که برای تعیین سطح مایعات، گازها و یا سیگنال های ورودی به ورودی های دستگاه های کنترل یا نمایشگر استفاده می شوند. حسگرهای نشت، ابزارهایی الکترونیکی هستند که برای شناسایی یا نظارت بر تخلیه ناخواسته مایعات یا گازها استفاده می شوند. حسگرهای گاز در این دسته قرار می گیرند، اما به طور دقیق تر برای تشخیص گاز کربن دی اکسید، هیدروژن و اکسیژن استفاده می شوند. چنین حسگرهایی در آشکارسازی مقدار گاز در واحدهای ذخیره غلات بسیار مفید بوده اند [۵۶].

حسگرهای جریان، حرکت گازها، مایعات یا جامدات را مشخص می کنند. این حسگرها بیشتر از اصول فراصوت برای تشخیص رویدادها استفاده می کنند.

^۱. Genetically Modified Organisms (GMO)

^۲. M. Croceipes

۳-۵-۴- حسگرهای موقعیت یا مجاورت

حسگرهای مجاورتی ابزارهایی الکترونیکی هستند که برای تشخیص وجود اشیای نزدیک و درعین حال حذف نقطه تماس استفاده می شوند. یک حسگر مجاورت می تواند وجود اشیاء را معمولاً در محدوده ای تا چندمیلی متر تشخیص دهد و برای انجام این کار، سیگنال خروجی معمولاً به یک کنترل کننده ارائه می شود. انواع مختلف حسگرهای مجاورتی شامل حسگرهای مجاورت القایی، حسگرهای مجاورت خازنی، حسگرهای مجاورت فراصوت، حسگرهای فوتوالکتریک، حسگرهای اثر هال^۱ و غیره هستند.

همان طور که از نام آن ها پیداست، این حسگرها، مکان یک چیزی را تشخیص می دهند. این نوع حسگرها بازخورد «موقعیتی» ارائه می دهند. موقعیت با استفاده از مفهوم «فاصله» یا «چرخش» تعیین می شود. گره هر دو حسگر خطی یا چرخشی در بازار موجود هستند [۵۷].

۳-۵-۵- حسگر آب و هوا و رطوبت

محتوای آبی که در خاک وجود دارد، رطوبت خاک نامیده می شود. روش های مختلفی مانند روش ثقلی، روش هسته ای و روش دی الکتریک برای اندازه گیری رطوبت خاک استفاده می شود. در رویکرد دی الکتریک، چندین پروب برای اندازه گیری ثابت دی الکتریک تحت اصول کار روش بازتاب سنجی حوزه زمان، روش مقاومت، روش خازنی و بازتاب سنجی حوزه فرکانس ایجاد می شود. نمونه هایی از این کاوشگرها عبارتند از: حسگر واترمارک^۲ و حسگرهای گچی (۲ تا ۳۰ دلار آمریکا)، ای سی اچ ۳۲۰ (۸۰ دلار آمریکا)، و پروب های تی دی آر^۴ (۵۰۰-۱۰۰۰ دلار آمریکا). حسگرهای دما پارامترهای حرارتی را تشخیص می دهند. حسگر دما معمولاً به یک تی دی آر یا ترمیستور برای اندازه گیری دمای گازها، مایعات یا جامدات و تبدیل آن به ولتاژ خروجی متکی است.

رطوبت، وجود آب در هوا است. حسگرهای رطوبت با تشخیص آب موجود در هوا با توجه به تغییرات جریان الکتریکی کار می کنند. سه نوع اصلی حسگر رطوبت وجود دارد: خازنی، مقاومتی و حرارتی. همه این سه نوع تغییرات جزئی جو را برای محاسبه رطوبت هوا ردیابی می کنند [۵۸]. حسگرهای باران، رطوبت برگ و بسیاری دیگر در این دسته قرار دارند.

¹. hall-effect

². Watermark

³. ECH20

⁴. TDR

۳-۵-۶- حسگرهای بینایی و تصویربرداری

حسگرهای بینایی و تصویربرداری دستگاه‌هایی هستند که وجود اشیا یا رنگ‌ها را در میدان دید خود تشخیص می‌دهند و این اطلاعات را به یک تصویر بصری برای نمایش تبدیل می‌کنند. حسگر مکمل اکسید فلز نیمه‌رسانا و سایر حسگرهای دوربین نمونه‌هایی از این دسته هستند.

۳-۵-۷- حسگرهای مبتنی بر تلفن هوشمند

این نوع حسگرها در گوشی‌های هوشمند وجود دارند، به عنوان مثال، حسگرهای نور محیط، حسگرهای لمسی، ژيروسکوپ، شتاب‌سنج و غیره. از آنجایی که بسیاری از عملیات کشاورزی دقیق مانند کاربرد کود، مطالعه خاک، نیازهای آبیاری و غیره شامل استفاده از تلفن‌های همراه است، چنین حسگرهایی به راحتی به کار می‌آیند و اگر کشاورز بتواند از یک شبکه حسگر راه دور به روزرسانی‌های مربوط به آن را دریافت کند، نیازی به خرید حسگرهای اضافی ندارد [۵۹]. طیف متمایز و گسترده‌ای از دستگاه‌های حسگر وجود دارد و دستگاه‌های نوآورانه مبتنی بر نیازهای روزمره به فهرست اضافه می‌شوند [۶۰]. با توجه به حجم زیاد مثال‌ها در این موضوع، بحث و ذکر هر وسیله از حوصله این کتاب خارج است.

۳-۶- حسگرهای دقیق در مقابل حسگرهای هوشمند

برای اولین بار ناسا [۶۱] مفهوم حسگرهای دقیق و حسگرهای هوشمند را در فرآیند توسعه یک سفینه فضایی معرفی کرد و این امر با موفقیت، سبب ایجاد محصولی در سال ۱۹۷۹ شد. سفینه‌های فضایی و آزمایش‌های موشکی مشابه به تعداد قابل توجهی حسگر برای تشخیص داده‌هایی مانند دما، موقعیت، سرعت و ارتفاع نیاز دارند. حسگرهایی که «هوشمند» نامیده می‌شوند دارای یک ریزپردازنده، یک حسگر، یک رابط آنالوگ و یک مبدل آنالوگ به دیجیتال هستند که برای شناسایی تغییرات و پارامترها استفاده می‌شوند؛ درحالی که حسگرهای «دقیق» به حسگرهایی گفته می‌شود که دارای انواع مختلف کارکردهای مستقل، مانند خودآزمایی، خودتأییدی، خودمروری، خودتشخیصی، خودسازگاری، شناسایی خود، خودواسنجی، خودجبرانی و سایر موارد هستند [۶۲-۶۴]. بنابراین، این دو نوع حسگر فقط از نظر نوع عملکرد و اجزای سخت‌افزاری متفاوت هستند. ویژگی‌های حسگرهای دقیق عبارت‌اند از:

- (۱) دقت بالا
- (۲) قابلیت اطمینان و پایداری بالا
- (۳) نسبت سیگنال به نویز بالا و همچنین وضوح بالا
- (۴) انعطاف‌پذیری بالا

۵) عملکرد و نسبت قیمت بالاتر

۶) ظرفیت ذخیره سازی کافی برای ذخیره داده های با کیفیت بالا

۳-۷- تأثیر حسگرهای بی سیم بر کشاورزی سنتی

افزایش تولید مواد غذایی یک نیاز روبه رشد امروزی است. در واقع، چالش های زیادی در تولید مقدار اضافی غذا از مزرعه وجود دارد که منجر به بهره برداری بیش از حد از منابع فعلی زمین های قابل کشت خواهد شد. از این رو، استفاده زیاد از مواد شیمیایی کشاورزی، منبع امیدی برای کشاورزانی است که قصد دارند مواد غذایی بیشتری تولید کنند. با این حال، این عادت اثرات مخربی بر محیط زیست خواهد داشت. علم و مهندسی مرتبط با استفاده از فناوری الکترونیکی پیشرفته در شیوه های کشاورزی سنتی، حول محور افزایش بهره وری به روشی پایدار و همچنین با کاهش بار بر محیط زیست می چرخد. مجموعه ای از حسگرهای شبکه ای سازگار با محیط زیست به عنوان پایه و اساس عمل می کند و به روشن کردن الگوهای حیاتی مکانی و زمانی مزرعه، روندهای آب و هوایی، اکوفیزیولوژی گیاهی و هیدرولوژی کمک می کند، بنابراین پاسخ را ثبت می کند و یک پاسخ خودکار را بنا بر زمان واقعی و با حداقل هزینه در یک محیط، فعال می کند، سنجش از دور را که اطلاعات را به طور غیرمستقیم از طیف الکترومغناطیسی و حرکت ماهواره ای که به فرکانس داده ها وابسته است تفسیر می کند و آن را برای نظارت بی درنگ و مداوم مزارع نامناسب اعلام کرده است [۶۵]. به عنوان مثال، تعداد کمی از حسگرها یک منطقه را پوشش می دهند، مانند یک حسگر در هر ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر. کشاورزی دقیق، یک حوزه نوظهور است که در آن فناوری های مبتنی بر حسگر، دامنه و شکل خوبی را از عنصر اساسی یک تنظیم کشاورزی دقیق پیش بینی کرده اند. نظارت و مدیریت عملکرد یک مزرعه بر اساس اطلاعات مربوط به تغییرات مکانی و زمانی محصول اهمیت حیاتی دارد. از طریق تطبیق حسگرهای دقیق یا هوشمند در یک مزرعه، بستری برای ادغام و کار مشترک سایر ماشین ها یا ابزارهای پیشرفته برای تولید بهینه فراهم شده است. برنامه ریزی، وظایف کشاورزی بر اساس ورودی های مکان خاص از حسگرها، کمیت و کیفیت تولید کشاورزی را تضمین کرده است. نظارت بر هر هکتار زمین یا یک گلخانه کوچک با وضوح بالا و زوایای متعدد با استفاده از دوربین یا حسگر نوری اکنون امکان پذیر است. پیش بینی های دقیق و اولیه عملکرد، بیماری یا سایر هشدارهای حیاتی در مورد سلامت خاک یا محصول، پشتیبانی ضروری را برای به حداقل رساندن تلفات و خسارت ایجاد کرده اند. این کارکردها کشاورزی را برای مردم کمتر دست و پاگیر و سرگرم کننده تر کرده است [۶۶].

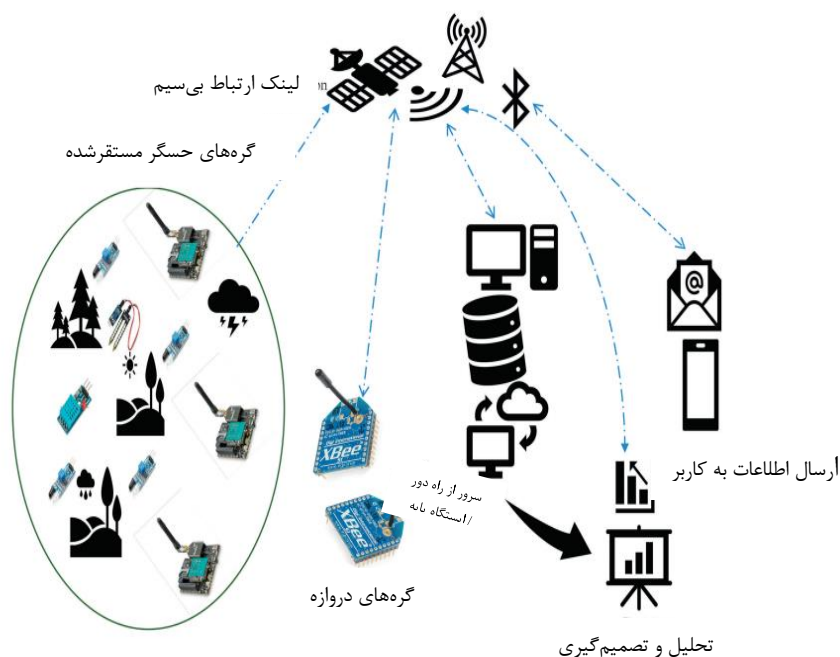
۳-۸- کاربرد نرخ متغیر مبتنی بر حسگر

ورودی‌های رشد محصول یا گیاه، در یک منطقه وسیع یا کوچک از زمین‌های کشاورزی، تنوع ماکروسکوپی بالایی را نشان می‌دهد. توزیع یکنواخت کودها، آب، مواد شیمیایی یا سایر نهاده‌ها همیشه مورد نیاز نیست؛ زیرا این امر منجر به بار هزینه یا هدر رفتن منابع و در نتیجه بار زیست محیطی و اقتصادی بیشتر می‌شود. بنابراین، مفهوم مدیریت محصول مکان خاص^۱ و کاربرد نرخ متغیر در کشاورزی دقیق، برای تعیین مقدار دقیق ورودی به محصولات در یک زمان معین تکامل یافته‌است. تعریف عملکرد مدیریت محصول مکان خاص، استراتژی برآورده کردن و مدیریت نیازهای یک محصول خاص را بر اساس نیاز آن به کار می‌گیرد. حسگرهای ویژه برنامه نصب شده در مزرعه برای خواندن پارامترها یا شرایط تعیین شده یک محصول خاص، الزامات و خواسته‌های لازم برای آن محصول خاص را به صورت بلادرنگ تسهیل و درخواست می‌کنند. درخواست نیازها می‌تواند از نظر مکانی (به عنوان مثال از نظر مکان یا مساحت) یا زمانی (به عنوان مثال از نظر زمان) متفاوت باشد. حسگرها انتخاب کاملی برای مطالعه چنین رفتار پویایی از مواد غذایی در مجموعه‌های کشاورزی هستند؛ زیرا اندازه‌گیری دقیقی از تغییرپذیری در زمان واقعی ارائه می‌دهند و این با فناوری‌هایی مانند سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی، خدمات ماهواره‌ای ناوبری جهانی، سامانه موقعیت‌یاب جهانی و غیره امکان‌پذیر نیست. کاربرد نرخ متغیر در کاربرد کود، علف‌کش، آب و غیره مفید شده است [۶۷-۷۰].

۳-۹- برنامه شبکه حسگر بی‌سیم در کشاورزی دقیق

داده‌های حسگرها می‌توانند بینش‌های معنی‌داری را در مورد فصل‌های گل‌دهی، تأثیر عوامل زنده و غیرزیستی، برداشت و بسیاری از موضوعات مرتبط بدون آسیب رساندن به گیاهان یا محصولات ارائه دهند [۷۱]. یک شبکه حسگر را می‌توان روی یک درخت چنار قرار داد تا تفاوت‌های ریزاقلیمی روی یک درخت را به منظور مطالعه برهم‌کنش‌های رشد درخت ترسیم کند.

¹. Site-Specific Crop Management (SSCM)



شکل ۳-۹- پلتفرم شبکه حسگر بی سیم برای نظارت بر کشاورزی نسل ۵,۰

برآوردهای حیاتی آینده در مورد محصول بر اساس زمان واقعی بخش مهمی از سامانه‌های هشدار یا پیش‌بینی است. هنگامی که در یک پایگاه داده ذخیره می‌شود، اطلاعات جمع‌آوری شده می‌تواند به عنوان ستون فقرات برای تجزیه و تحلیل‌های سطح بالا عمل کند و می‌تواند پیشنهاداتی را برای بهبود گردش کار ارائه دهد. در این صورت آمار کشاورزی دقیق تر خواهد بود، بنابراین فرآیند تصمیم‌گیری نیز این موضوع را منعکس می‌کند. کاربرد حسگرها در کشاورزی دقیق شامل سنجش زیست‌توده، حجم تاج پوشش، محصول، مواد مغذی و خواص خاک، محتوای آب، عملکرد، شیوع بیماری و آفات و بسیاری موارد دیگر است. ترکیب مؤثر حسگرها با سایر فناوری‌ها مانند سنجش از راه دور یا ماهواره‌ای، یادگیری ماشینی، هوش مصنوعی و بهره‌مندی از خدمات رایانش ابری، در واقع روش سنتی کشاورزی را به چیزی فوق‌العاده مولد تبدیل کرده است.

۳-۹-۱- تجزیه و تحلیل خاک و خصوصیات آن

چندین روش مانند تشعشعات نزدیک مادون قرمز^۱، طیف‌سنجی و رامان^۲، کتابخانه‌های طیفی، الکترودها، تصویربرداری حرارتی، سینتیک فلورسانس و تابش الکترومغناطیسی برای تجزیه و تحلیل خواص خاصی مانند حضور ماکرو مغذی (نیتروژن، پتاسیم و فسفر)، رطوبت، سطح، دما و تراکم در دسترس هستند. با پیروی از اصول کار این روش‌ها، بسیاری از دستگاه‌های حسگر توسعه یافته‌اند [۷۲ و ۷۳].

۳-۹-۲- سنجش عملکرد

هنگامی که با اطلاعات زمینی نزدیک از حسگرها ترکیب می‌شود، تصاویر هوایی و سنجش از راه دور برای تغذیه و ساخت مدل‌های یادگیری ماشینی برای پیش‌بینی عملکرد محصول خاص برای آن فصل، نظارت بر زمان برداشت و هر مرحله رشد برای محصول از راه دور استفاده می‌شود. این برنامه هنوز در مرحله توسعه است و کار زیادی هنوز باید انجام شود [۷۴].

۳-۹-۳- مدیریت علف‌های هرز

با کمک دوربین‌های تصویربرداری حرارتی و حسگرهای مبتنی بر فلورسانس و نقشه‌برداری، شناسایی علف‌های هرز در زمان واقعی در تمایز و هدف‌گیری دستگاه‌های سم‌پاشی خودکار علف‌کش مفید است. حسگرهای مبتنی بر تصویر و رنگ که در پهپادها یا ربات‌ها گنجانده شده‌اند، به‌طور مثبتی در ارزیابی محصول و میوه برای برداشت بر اساس رسیده بودن کمک کرده‌اند. کنترل علف‌های هرز مبتنی بر حسگر، حجم علف‌کش اعمال‌شده را ۶۳ تا ۸۵ درصد نسبت به یک اسپری یکنواخت کاهش داد [۷۵ و ۷۶].

۳-۹-۴- تشخیص و طبقه‌بندی بیماری

برای تولید سالم و با کیفیت خوب، تشخیص شروع عفونت را می‌توان با استفاده از حسگرهایی برای نظارت بر هواشناسی یا سایر اجزای زیستی یک محصول خاص تسهیل کرد. کلروفیل، شاخص سطح برگ، رطوبت برگ، حسگرهای زیستی یا حسگرهای تشخیص بازی یا اسیدیته گیاه به تشخیص یا پیش‌بینی شروع بیماری‌های قارچی یا باکتریایی مختلف کمک کرده‌اند. استفاده منظم از مواد شیمیایی با توجه به نهاده‌های دریافتی صورت می‌گیرد و پس از آن بازرسی دستی از کشاورز انجام می‌شود. در این حوزه استفاده از فناوری حسگر به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است [۷۷].

^۱. Near Infrared Radiation (NIR)

^۲. Raman

۳-۹-۵- مدیریت آبیاری

روش‌های آبیاری تحت فشار، یعنی آبیاری قطره‌ای و بارانی معمولاً در آبیاری دقیق، مورد استفاده قرار می‌گیرند. با کمبود منابع آب، مدیریت مؤثر آب و سامانه‌های آبیاری به منظور صرفه‌جویی در این منبع گران‌بها ضروری است. برای مقابله با مشکلات آبیاری کم یا بیش‌ازحد و شست‌وشو یا خشک‌شدن خاک، آبیاری مبتنی بر نیاز را می‌توان با استفاده از حسگرهای بی سیم و شبکه‌های محرک انجام داد. حسگرهای رطوبت خاک، شیر برقی، دما و فشار در نظارت بر عملیات آبیاری مهم هستند [۳۳ و ۸۱-۷۸].

۳-۹-۶- مدیریت گلخانه

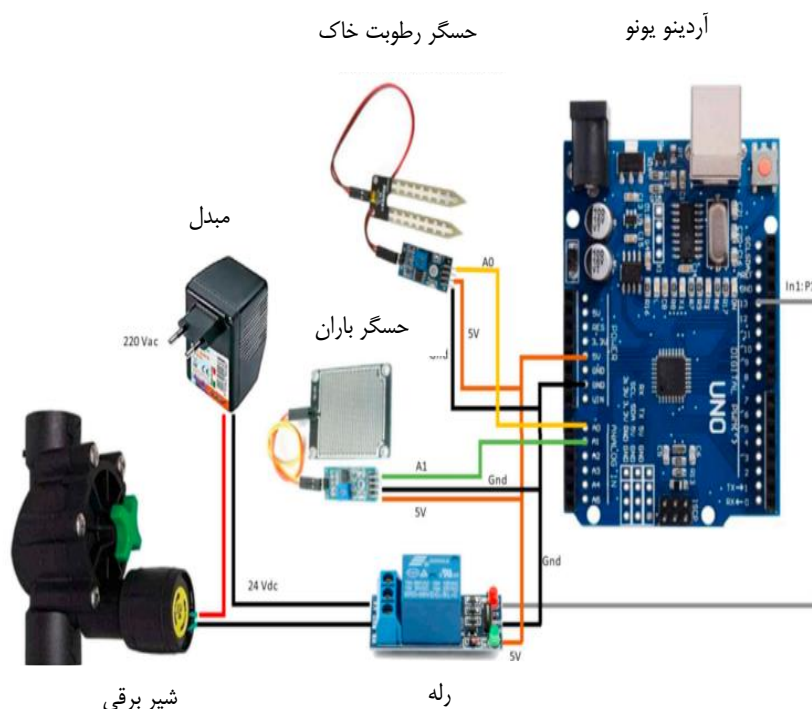
گلخانه یک محیط کنترل‌شده است که در آن گیاهان بدون توجه به شرایط طبیعی اطراف رشد می‌کنند. در گلخانه، هر محرک ورودی باید دقیق باشد. استفاده از حسگرهایی مانند دما، نور، رطوبت، جریان هوا، دی‌اکسیدکربن و حسگرهای آبیاری به ایجاد محیطی مناسب‌تر از محیط بیرون کمک می‌کند و در نتیجه بهره‌وری بیشتری را ایجاد می‌کند. نظارت از راه دور دستگاه‌های محرک و سایر حسگرها از طریق پیوندهای ارتباطی بی سیم، اینترنت نسل ۳ و وای‌فای نیز سهولت بیشتری را اضافه کرده است. این نوع نصب را می‌توان در انبارهای محصولات برداشت‌شده برای نظارت بر سلامت محصولات نصب کرد [۸۴-۸۲].

۳-۹-۷- پایش آب و هوا

ایستگاه‌های هواشناسی با حسگرهای مختلف نظارت بر آب و هوا مانند دما، باران، رطوبت، سرعت باد و حسگرهای فشار، پیش‌بینی‌های بی‌درنگ را ارائه می‌دهند. براساس این پیش‌بینی‌ها، یک کشاورز می‌تواند فعالیت‌های کشاورزی خود را برنامه‌ریزی کند و در نتیجه مزایای بیشتری را به همراه داشته باشد. استراتژی آبیاری، کوددهی، سم‌پاشی، فرار از شرایط سرمازدگی و خشکسالی، برداشت و حمل و نقل، ذخیره‌سازی محصولات و مدیریت دام مساعد خواهد شد. روندهای تغییر آب و هوا و هشدارها برای مکان‌های خاص در دسترس هستند و از طریق رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی یا نرم‌افزار خاصی برای اقدام فوری با تلفن همراه یا سامانه رایانه کشاورز همگام‌سازی می‌شوند. از دیگر کاربردهای برجسته حسگرها یافتن جایگاهی در هواپیماهای بدون سرنشین کشاورزی و ماشین‌آلات و حمل و نقل و تدارکات محصول است. ربات‌ها یا پهپادهای پیشرفته از انواع مختلفی از حسگرها برای عملکرد عملی خود استفاده می‌کنند. حوزه‌های کاربردی حسگرهای میکروسکوپی کوچک تعبیه‌شده با ارتباطات بی سیم قابل اعتماد و حسگرهای قدرتمند کم‌هزینه در کشاورزی تنها در تصورات ما محدود شده است.

۳-۱۰- مسائل و چالش‌های امنیتی برای پیاده‌سازی شبکه حسگر بی‌سیم

بدون شک، مزایا و کاربردهای بی‌پایانی با تدارکات شبکه حسگر بی‌سیم در کشاورزی دقیق وجود دارد. استفاده از فناوری پیشرفته‌ای مانند شبکه‌های حسگر بی‌سیم، زمین را مدیریت می‌کند، زباله‌ها را کاهش می‌دهد و بهره‌وری را افزایش می‌دهد. این مزیت نه تنها منابع را افزایش می‌دهد، بلکه دسترسی مشارکت‌های دولتی و خصوصی را به ارائه توسعه واقعی با کشاورزی به‌عنوان منبع اصلی درآمد در کشورهای عقب‌مانده کشاورزی تسهیل و ارتقا می‌دهد.



شکل ۳-۱۰- ساختار سامانه آبیاری مبتنی بر شبکه حسگر بی‌سیم

اگرچه فناوری حسگر بی‌سیم یک انتخاب استثنایی برای کشاورزی است، اما هنوز چالش‌های قابل توجهی وجود دارد که استقرار آن را به تأخیر می‌اندازد. این چالش‌ها از گسترش گره‌های حسگر در کشورهای اقتصادی در حال توسعه، به‌ویژه در مناطقی که زیرساخت وجود ندارد، خودداری می‌کنند، بنابراین شناسایی اتصال و توزیع را برای گره‌ها دشوار می‌سازد.

این چالش‌ها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- فقر و بی‌سوادی
 - محیط خشن
 - مشکلات استانداردسازی، زیرا فناوری‌های مختلف وجود دارد
 - سازگاری به دلایل تجاری و امنیتی
 - زیرساخت ضعیف فناوری اطلاعات و دانش فنی ناکافی
 - تأثیر اقتصادی، زیرا اکثر شرکت‌ها آماده نیستند که تجارت خود را به خطر بیندازند و در یک قاره بی‌ثبات سرمایه‌گذاری کنند.
 - مسائل امنیتی مانند خراب‌شدن داده‌های جمع‌آوری‌شده یا سرقت دستگاه‌ها، دقت و خطای داده‌های رایگان یک نیاز مبرم برای تصمیم‌گیری قابل اعتماد است و کمتر برای واسنجی موردنیاز است.
 - پیچیدگی مراحل خاصی از فناوری
 - کمبود کادر مجرب
 - ترویج آموزش فنی
 - به حداقل رساندن هزینه استفاده که از اهمیت بالایی برخوردار است
 - محفظه‌های بهتر برای محافظت از گره‌ها و دستگاه‌ها در برابر رطوبت، گرما یا سایر علل احتمالی آسیب در هنگام قرار گرفتن در فضای باز و همچنین دفع ایمن پارگی دستگاه‌ها
- پروژه‌های آزمایشی زیادی وجود دارد که از استفاده گسترده‌تر از برنامه‌های شبکه حسگر بی‌سیم یکپارچه در هند و سایر کشورها حمایت می‌کنند. با این حال، هنوز به طور کامل اجرا نشده است. برای تقویت استفاده از شبکه حسگر بی‌سیم در کشاورزی هند، سیاست‌گذاران جهانی، رهبران، محققان، صنایع و کشاورزان باید با هم متحد شوند و نظرات جمع‌گرایانه را آغاز کنند تا به پروژه‌های متفاوت واقعی منجر شود. این نظرات را می‌توان برای تولید آثار پژوهشی در مؤسسات فیلتر کرد و متعاقباً به صنایع و شرکت‌های تجاری ارائه کرد. پروژه‌های مبتنی بر صنعت را می‌توان در مزارع سراسر آفریقا شبیه‌سازی و آزمایش کرد. پروژه‌های موفق را می‌توان برای گروه‌های هدف مختلف تجاری‌سازی کرد [۸۵].

۳-۱۱- نتیجه

دستیابی به اهداف کشاورزی دقیق، با پیاده‌سازی فناوری‌های مبتنی بر حسگر با رشد انفجاری و پیشرفت‌های فناوری قابل‌دسترس شده است. موانع در پذیرش با کمک کشاورزان و تمایل آن‌ها به کشاورزی هوشمند برطرف شده است. می‌توان یک پایگاه داده برای ذخیره این اطلاعات حیاتی که

جمع‌آوری، ارزیابی و سپس تفسیر شده‌اند ایجاد کرد تا اطلاعات را برای مراجعات بعدی تجزیه و تحلیل کند. با رشد و کاهش هزینه اینترنت پرسرعت و استفاده زیاد کشاورزان از تلفن‌های هوشمند در مدیریت کشاورزی، وظایف به سرعت در حال رشد است. استفاده از حسگرهای گوشی‌های هوشمند برای تشخیص بیماری‌های گیاهی یا سایر پیش‌بینی‌ها کمک بزرگی به بخش کشاورزی در حال رشد است. تحقیقات مداوم در اینترنت اشیا و شبکه حسگرهای هوشمند، این فناوری را در هر مکان، هر زمان و برای همه در دسترس قرار داده‌است. ایده‌های مختلف را می‌توان از طریق کار تحقیقاتی مشترک ترویج کرد. استراتژی‌های موفق را می‌توان برای پروژه‌های کشاورزی کوچک، متوسط و بزرگ تجاری کرد که رشد اقتصادی را تقویت می‌کند. مشارکت‌های تجاری دولتی یا خصوصی برای گنجاندن شبکه حسگر بی‌سیم در کشاورزی دقیق نه تنها کمبود مواد غذایی را حل می‌کند، بلکه باعث ایجاد سود نیز می‌شود.



شکل ۳-۱۱- حسگر اولتراسونیک^۱ [۸۶].

^۱. HC-SR04

منابع

1. 1. H. Karl and A. Willig, "Architectures," in *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*, John Wiley & Sons Ltd, 2005, pp. 17–81.
2. F. Hu and X. Cao, *Wireless Sensor Networks: Principles and Practice*. CRC press, 2010.
3. B. Krishnamachari, *Networking Wireless Sensors | Wireless Communications*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
4. J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless Sensor Network Survey," *Comput. Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292–2330, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.comnet.2008.04.002.
5. E. H. Callaway Jr, *Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols*. CRC Press, 2003.
6. S. Tree, "Wireless Sensor Networks," *Self*, vol. 1, no. R2, p. C0, 2014.
7. "8051 Microcontroller Pin Diagram and Its Working." [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/pin-diagram-of-8051-microcontroller/>. [Accessed: 30-June-2020].
8. "Wireless Sensor Networks and Applications." [Online]. Available: <https://microcontrollerslab.com/wireless-sensor-networks-wsn-applications/>. [Accessed: 30-June-2020].
9. T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuwanshi, "Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 118. Elsevier B.V., pp. 66–84, 01-Oct-2015, doi: 10.1016/j.compag.2015.08.011.
10. "Introduction to Wireless Sensor Networks Types and Applications." [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/introduction-to-wireless-sensor-networks-types-and-applications/>. [Accessed: 30-June-2020].
11. C.-Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges," *Proc. IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1247–1256, 2003, doi: 10.1109/JPROC.2003.814918.
12. C.-Y. Chong, K.-C. Chang, and S. Mori, "Distributed Tracking in Distributed Sensor Networks," in *1986 American Control Conference*, 1986, pp. 1863–1868.
13. A. Schütze, N. Helwig, and T. Schneider, "Sensors 4.0 – Smart Sensors and Measurement Technology Enable Industry 4.0," *J. Sensors Sens. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 359–371, May 2018, doi: 10.5194/jsss-7-359-2018.
14. S. Bosse, "Industrial Agents and Distributed Agent-Based Learning," *Proceedings*, vol. 1, no. 2, p. 14, Nov. 2016, doi: 10.3390/casa-3-s2004.
15. D. C. Steere, A. Baptista, D. McNamee, C. Pu, and J. Walpole, "Research Challenges in Environmental Observation and Forecasting Systems," in

- Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM, 2000, pp. 292–299, doi: 10.1145/345910.345961.
16. A. J. Garcia-Sanchez, F. Garcia-Sanchez, and J. Garcia-Haro, “Wireless Sensor Network Deployment for Integrating Video-Surveillance and Data-Monitoring in Precision Agriculture over Distributed Crops,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 75, no. 2, pp. 288–303, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.compag.2010.12.005.
 17. S. A. Nikolidakis, D. Kandris, D. D. Vergados, and C. Douligeris, “Energy Efficient Automated Control of Irrigation in Agriculture by Using Wireless Sensor Networks,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 113, pp. 154–163, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.compag.2015.02.004.
 18. M. Gocić et al., “Soft Computing Approaches for Forecasting Reference Evapotranspiration,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 113, pp. 164–173, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.compag.2015.02.010.
 19. E. P. R. da Fonseca, E. Caldeira, H. S. Ramos Filho, L. Barbosa e Oliveira, A. C. M. Pereira, and P. S. Vilela, “Agro 4.0: A Data Science-Based Information System for Sustainable Agroecosystem Management,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 102, July 2020, doi: 10.1016/j.simpat.2020.102068.
 20. “Agricultural Sensors Market to Reach USD 2.56 Billion by 2026 | Reports and Data.” [Online]. Available: <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/02/12/1983986/0/en/Agricultural-Sensors-Market-To-Reach-USD-2-56-Billion-By-2026-Reports-And-Data.html>. [Accessed: 30-June-2020].
 21. R. Pon et al., “Networked Infomechanical Systems: A Mobile Embedded Networked Sensor Platform,” in *4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, IPSN 2005*, 2005, vol. 2005, pp. 376–381, doi: 10.1109/IPSN.2005.1440952.
 22. S. Nath, J. Liu, and F. Zhao, “SensorMap for Wide-Area Sensor Webs,” *Comput. (Long Beach, Calif.)*, vol. 40, no. 7, pp. 90–93, July 2007, doi: 10.1109/MC.2007.250.
 23. K. Aberer, M. Hauswirth, and A. Salehi, “The Global Sensor Networks Middleware for Efficient and Flexible Deployment and Interconnection of Sensor Networks,” 2006.
 24. “Lteencyclopedia.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/home>. [Accessed: 30-June-2020].
 25. “Zigbee FAQ – Zigbee Alliance.” [Online]. Available: <https://zigbeealliance.org/zigbee-faq/>. [Accessed: 30-June-2020].
 26. P. Baronti, P. Pillai, V. W. C. Chook, S. Chessa, A. Gotta, and Y. F. Hu, “Wireless Sensor Networks: A Survey on the State of the Art and the

- 802.15. 4 and ZigBee Standards,” *Comput. Commun.* vol. 30, no. 7, pp. 1655–1695, 2007.
27. “Bluetooth® Technology Website.” [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/>. [Accessed: 30-June-2020].
 28. “Nokia Networks Kick-Starts Industry Collaboration to Enable the Programmable World | Nokia.” [Online]. Available: <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2015/11/05/nokia-networks-kick-starts-industry-collaboration-to-enablethe-programmable-world/>. [Accessed: 30-June-2020].
 29. “WiBree | Ultra Low Power Bluetooth Technology.” [Online]. Available: <https://www.wibree.com/>. [Accessed: 30-June-2020].
 30. “3GPP.” [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/>. [Accessed: 30-June-2020].
 31. D. J. Goodman and R. A. Myers, “3G Cellular Standards and Patents,” in *2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, 2005, vol. 1, pp. 415–420.
 32. M. Deruyck et al., “Comparison of Power Consumption of Mobile WiMAX, HSPA and LTE Access Networks,” in *2010 9th Conference of Telecommunication, Media and Internet*, 2010, pp. 1–7.
 33. D. Thakur, Y. Kumar, A. Kumar, and P. K. Singh, “Applicability of Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture: A Review,” *Wireless Pers. Commun.*, vol. 107, no. 1. Springer New York LLC, pp. 471–512, 01-Apr-2019, doi: 10.1007/s11277-019-06285-2.
 34. F. J. Mestas-Carrascosa, D. Verdú Santano, J. E. Meroño, M. Sánchez de la Orden, and A. García-Ferrer, “Open Source Hardware to Monitor Environmental Parameters in Precision Agriculture,” *Biosyst. Eng.*, vol. 137, pp. 73–83, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.005.
 35. T. Kutter, S. Tiemann, R. Siebert, and S. Fountas, “The Role of Communication and Co-operation in the Adoption of Precision Farming,” *Precis. Agric.*, vol. 12, no. 1, pp. 2–17, 2011, doi: 10.1007/s11119-009-9150-0.
 36. Aqeel-Ur-Rehman, A. Z. Abbasi, N. Islam, and Z. A. Shaikh, “A Review of Wireless Sensors and Networks’ Applications in Agriculture,” *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 36, no. 2, pp. 263–270, 2014, doi: 10.1016/j.csi.2011.03.004.
 37. M. O. Farooq and T. Kunz, “Operating Systems for Wireless Sensor Networks: A Survey,” *Sensors*, vol. 11, no. 6, pp. 5900–5930, May 2011, doi: 10.3390/s110605900.
 38. “TinyOS Home Page.” [Online]. Available: <http://www.tinyos.net/>. [Accessed: 30-June-2020].

39. "Contiki: The Open Source Operating System for the Internet of Things." [Online]. Available: <http://www.contiki-os.org/>. [Accessed: 30-June-2020].
40. A. Dunkels, B. Grönvall, and T. Voigt, "Contiki – A Lightweight and Flexible Operating System for Tiny Networked Sensors," in Proceedings – Conference on Local Computer Networks, LCN, 2004, pp. 455–462, doi: 10.1109/LCN.2004.38.
41. A. Eswaran, A. Rowe, and R. Rajkumar, "Nano-RK: An Energy-Aware Resource-Centric RTOS for Sensor Networks," in Proceedings – Real-Time Systems Symposium, 2005, doi: 10.1109/RTSS.2005.30.
42. A. Rowe, R. Mangharam, and R. Rajkumar, "FireFly: A Time Synchronized Realtime Sensor Networking Platform." in Wireless Ad Hoc Networking: Personal Area, Local-Area, and the Sensory-Area Networks, CRC Press Book.
43. H. Abrach et al., "MANTIS: System Support for Multimodal Networks of In-situ Sensors," Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Wireless Sensor Networks and Applications, pp. 50–59, 2003.
44. "What Is LabVIEW? — National Instruments." [Online]. Available: <https://www.ni.com/en-in/shop/labview.html>. [Accessed: 30-June-2020].
45. "LabVIEW – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>. [Accessed: 30-June-2020].
46. Arduino Software Release Notes. Arduino Project.
47. F. Azzola, "10 Arduino IDE Alternatives to Start Programming – DZone IoT," 2018. [Online]. Available: <https://dzone.com/articles/10-arduino-ide-alternativesto-start-programming>. [Accessed: 30-June-2020].
48. "Arduino – Software." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. [Accessed: 30-June-2020].
49. "What is an Actuator? A Look at Types of Actuators, Attributes, Applications and Top Suppliers." [Online]. Available: <https://www.thomasnet.com/articles/pumps-valves-accessories/types-of-actuators/>. [Accessed: 30-June-2020].
50. V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, "Energy-Aware Wireless Microsensor Networks," IEEE Signal Process. Mag., vol. 19, no. 2, pp. 40–50, 2002, doi: 10.1109/79.985679.
51. "Light Sensor Including Photocell and LDR Sensor." [Online]. Available: https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_4.html. [Accessed: 30-June-2020].

52. N. Bhalla, P. Jolly, N. Formisano, and P. Estrela, "Introduction to Biosensors," *Essays Biochem.*, vol. 60, no. 1, pp. 1–8, June 2016, doi: 10.1042/EBC20150001.
53. A. Kawamura and T. Miyata, "Biosensors," in *Biomaterials Nanoarchitectonics*, William Andrew Publishing, pp. 157–176, 2016.
54. Y. H. Lee, A. Chou, J. Yu, Y. Chen, and J. J. Gooding, "Demonstration of the advantage of using bamboo-like nanotubes for electrochemical biosensor applications compared with single walled nanotubes," *Electrochem. Commun.*, vol. 7, p. 1457.
55. "Graphene Sensors – GROLLTEX – GRAPHENE-ROLLING-TECHNOLOGIES." [Online]. Available: <https://grolltex.com/graphene-sensors/>. [Accessed: 30-June-2020].
56. "How Gas Sensing Can Improve Cereal Storage Facilities." [Online]. Available: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=1946>. [Accessed: 30-June-2020].
57. A. Bhatt, "Sensors: Different Types of Sensors," 2011. [Online]. Available: https://www.engineersgarage.com/article_page/sensors-different-types-of-sensors/. [Accessed: 30-June-2020].
58. [] "Humidity Sensors." [Online]. Available: <https://in.element14.com/sensorhumidity-sensor-technology?ICID=I-CT-TP-BROWSE-4>. [Accessed: 30-June-2020].
59. S. Pongnumkul, P. Chaovalit, and N. Surasvadi, "Applications of SmartphoneBased Sensors in Agriculture: A Systematic Review of Research," *J. Sensors*, vol. 2015, p. 195308, 2015, doi: 10.1155/2015/195308.
60. "Sensor Manufacturers EU UK ASIA USA Germany Switzerland Japan Korea Sweden." [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20170707204959/http://robotic-material.com/Sensor-Manufacturers-Association.html>. [Accessed: 30-June-2020].
61. J. Schmalzel, F. Figueroa, F. Morris, J. Mandayam, and R. Polikar, "Smart and Intelligent Sensors." Stennis Space Center, Mississippi, NASA, 2009., "An architecture for intelligent systems based on smart sensors," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 54, no. 4, pp. 1612–1616.
62. "Sensors: Smart vs. Intelligent." [Online]. Available: https://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/E_27.htm. [Accessed: 30-June-2020].
63. M. A. Pertijs, K. A. Makinwa, and J. H. Huijsing, "A CMOS smart temperature sensor with a 3σ inaccuracy of ± 0.1 C from -55 C to 125 C," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 40, no. 12, 2005.
64. J. H. Huijsing, F. R. Riedijk, and G. van der Horn, "Developments in Integrated Smart Sensors," *Sensors Actuators A. Phys.*, vol. 43, no. 1–3, pp. 276–288, May 1994, doi: 10.1016/0924-4247(93)00657-P.

65. J. Panchard, T. V. Prabhakar, J. P. Hubaux, and H. S. Jamadagni, "Commonsense Net: A Wireless Sensor Network for Resource-Poor Agriculture in the Semiarid Areas of Developing Countries," *Inf. Technol. Int. Dev.*, vol. 4, no. 1, p. 51, 2007.
66. F. Nabi and S. Jamwal, "Wireless Sensor Networks and Monitoring of Environmental Parameters in Precision Agriculture," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 432–437, May 2017, doi: 10.23956/ijarcsse/SV7I5/0344.
67. D. L. Ndzi et al., "Wireless Sensor Network Coverage Measurement and Planning in Mixed Crop Farming," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 105, pp. 83–94, 2014, doi: 10.1016/j.compag.2014.04.012.
68. H. Genno and K. Kobayashi, "Apple Growth Evaluated Automatically with High-Definition Field Monitoring Images," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 164, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.compag.2019.104895.
69. R. Zhang, Z. Ren, J. Sun, W. Tang, D. Ning, and Y. Qian, "Method for Monitoring the Cotton Plant Vigor Based on the WSN Technology," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 133, pp. 68–79, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.compag.2016.12.009.
70. S. E. Díaz, J. C. Pérez, A. C. Mateos, M. C. Marinescu, and B. B. Guerra, "A Novel Methodology for the Monitoring of the Agricultural Production Process Based on Wireless Sensor Networks," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 76, no. 2, pp. 252–265, May 2011, doi: 10.1016/j.compag.2011.02.004.
71. F. Nabi and S. Jamwal, "Wireless Sensor Networks and Monitoring of Environmental Parameters in Precision Agriculture," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 432–437, 2017, doi: 10.23956/ijarcsse/sv7i5/0344.
72. E. Muller and H. Decamps, "Modeling Soil Moisture – Reflectance," *Remote Sens. Environ.*, vol. 76, no. 2, pp. 173–180, 2001.
73. R. Rinnan and Å. Rinnan, "Application of Near Infrared Reflectance (NIR) and Fluorescence Spectroscopy to Analysis of Microbiological and Chemical Properties of Arctic Soil," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 39, no. 7, pp. 1664–1673, 2007.
74. M. Koller and S. K. Upadhyaya, "Prediction of Processing Tomato Yield Using a Crop Growth Model and Remotely Sensed Aerial Images," *Trans. ASAE*, vol. 48, no. 6, pp. 2335–2341, 2005.
75. R. J. Hagggar, C. J. Stent, and S. Isaac, "A Prototype Hand-Held Patch Sprayer for Killing Weeds, Activated by Spectral Differences in Crop/Weed Canopies," *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 28, no. 4, pp. 349–358, July 1983, doi: 10.1016/0021-8634(83)90066-5.

76. L. Tian, "Development of a Sensor-Based Precision Herbicide Application System," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 36, no. 2–3, pp. 133–149, 2002.
77. A. K. Mahlein, E. C. Oerke, U. Steiner, and H. W. Dehne, "Recent Advances in Sensing Plant Diseases for Precision Crop Protection," *Eur. J. Plant Pathol.*, vol. 133, no. 1. Springer, pp. 197–209, 27-May-2012, doi: 10.1007/s10658-011-9878-z.
78. J. Gutiérrez, J. F. Villa-Medina, A. Nieto-Garibay, and M. A. Porta-Gándara, "Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 63, no. 1, pp. 166–176.
79. H. Navarro-Hellín, J. Martínez-del-Rincon, R. Domingo-Miguel, F. Soto-Valles, and R. Torres-Sánchez, "A Decision Support System for Managing Irrigation in Agriculture," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 124, pp. 121–131, June 2016, doi: 10.1016/j.compag.2016.04.003.
80. I. Bennis, H. Fouchal, O. Zytoune, and D. Aboutajdine, "Monitoring Drip Irrigation System Using Wireless Sensor Networks," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 461, pp. 297–315, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-44354-6_17.
81. M. R. M. Kassim, I. Mat, and A. N. Harun, "Wireless Sensor Network in Precision Agriculture Application." in 2014 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS), IEEE, pp. 1–5, July 2014.
82. M. Srbinovska, C. Gavrovski, V. Dimcev, A. Krkoleva, and V. Borozan, "Environmental Parameters Monitoring in Precision Agriculture Using Wireless Sensor Networks," *J. Clean. Prod.*, vol. 88, pp. 297–307, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.04.036.
83. B. Zhu, W. Han, Y. Wang, N. Wang, Y. Chen, and C. Guo, "Development and Evaluation of a Wireless Sensor Network Monitoring System in Various Agricultural Environments," *J. Microw. Power Electromagn. Energy*, vol. 48, no. 3, pp. 170–183, Jan. 2014, doi: 10.1080/08327823.2014.11689881.
84. P. O. Dusadeerungsikul, V. Liakos, F. Morari, S. Y. Nof, and A. Bechar, "Chapter 5 – Smart Action," in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, A. Castrignanò, G. Buttafuoco, R. Khosla, A. M. Mouazen, D. Moshou, and O. Naud, Eds. Academic Press, 2020, pp. 225–277.
85. D. S. Gangwar and S. Tyagi, "Challenges and Opportunities for Sensor and Actuator Networks in Indian Agriculture," in 2016 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), 2016, pp. 38–42.

86. “Ultrasonic Sensor Module HC-SR-04 by Robokart: Amazon.in: Industrial & Scientific.” [Online]. Available: <https://www.amazon.in/Ultrasonic-Sensor-Module-HC-SR-04-Robokart/dp/B00ZNB01HI>. [Accessed: 30-June-2020].

فصل چهارم

سامانه کشاورزی مبتنی بر اینترنت اشیا

زمانی که میل به کسب دانش با ترس از شکست برابری می کند، یادگیری آسان تر می شود.
آتابیا

۴-۱- مقدمه

در طول چند دهه گذشته، تعریف کشاورزی دقیق به دلیل معرفی مفاهیم و فناوری های چندرشته ای یکپارچه، پویا بوده است. با این پیشرفت ها، کشاورزی دقیق به ویژگی های متنوعی دست یافته و به طرز پیچیده تری تکامل یافته است.

همیشه تقاضای فزاینده تولید برای پاسخ گویی به جمعیت روبه رشد وجود داشته است. براساس گزارش فائو، تخمین زده می شود که جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ از مرز ۹ میلیارد نفر عبور کند و در نتیجه نیاز شدیدی به غذا و منابع ایجاد شود. بنابراین، افزایش تولید با محدودیت منابع، نیروی کار ماهر و زمین های زراعی به یک وظیفه خیلی بزرگ تبدیل شده است. ما درس های بسیار مهمی را از گذشته آموخته ایم که باید آن ها را تجربه کنیم تا بتوانیم بر عواقب ناشی از دانش ناکافی غلبه کنیم یا حداقل آن را کاهش دهیم. در طول قرن بیستم، به منظور افزایش بهره وری، ما بر موارد زیر تمرکز کردیم:

(۱) مکانیزاسیون

(۲) بهبود ژنتیک

(۳) پرنهاده

برخی از این عوامل به طور مستقیم یا غیرمستقیم باعث اثرات نامطلوب بر خاک و آب و همچنین منجر به جنگل زدایی گسترده و تخریب ناشی از گازهای گلخانه ای می شود.

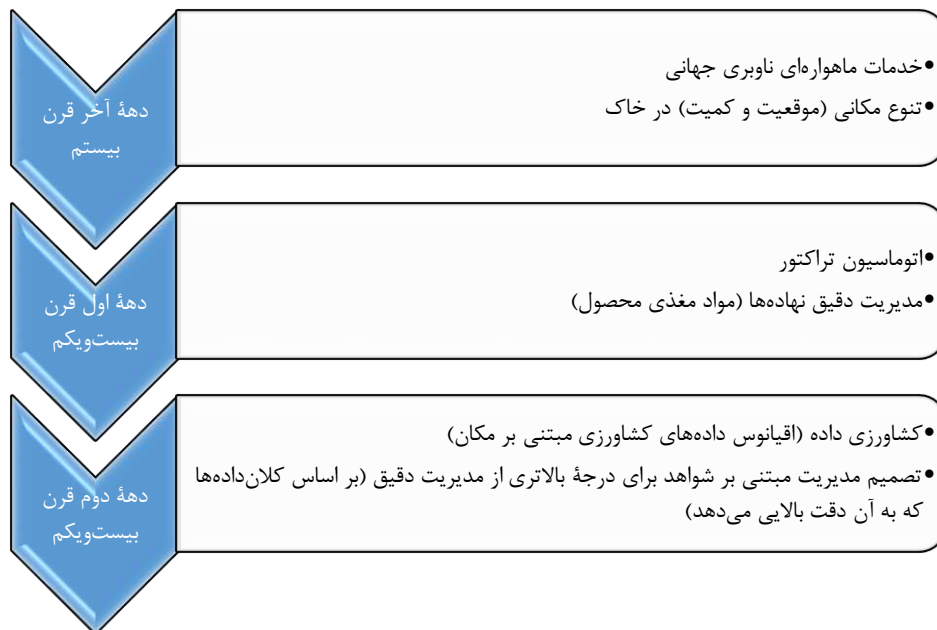
در حال حاضر حدود ۷۰ درصد مصرف آب مربوط به بخش کشاورزی است و سطح نسبتاً ناپایداری از مصرف مواد شیمیایی وجود دارد که منجر به کشاورزی ناپایدار می شود. از این رو، نیاز به کشاورزی دقیق با هدف اصلی کشاورزی پایدار وجود دارد. به عنوان یک روش انعطاف پذیر و چندرشته ای، کشاورزی دقیق ثابت کرده است که یکی از راه حل های مؤثر برای حل گرسنگی قریب الوقوع در سراسر جهان و تخریب منابع طبیعی است. همچنین با حوزه های مختلف در کشف یک رویکرد مؤثر برای مقابله با مشکلات رایج در کشاورزی ادغام می شود.

از این رو، تعریف کشاورزی دقیق با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی آشکار شده است. در حال حاضر، بهترین تعریف کشاورزی دقیق عبارت است از:

کشاورزی دقیق یک استراتژی مدیریتی است که داده های زمانی، مکانی و فردی را جمع آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل می کند و آن را با اطلاعات دیگر ترکیب می کند تا تصمیمات مدیریتی

مکان خاص، گیاه یا حیوان را برای بهبود کارایی منابع، بهره‌وری، کیفیت، سودآوری و پایداری تولیدات کشاورزی هدایت کند.

- انجمن بین‌المللی کشاورزی دقیق^۱ [۱]



شکل ۴-۱- جدول زمانی مناطق تمرکز کشاورزی دقیق

۴-۱-۱- اینترنت اشیا^۲

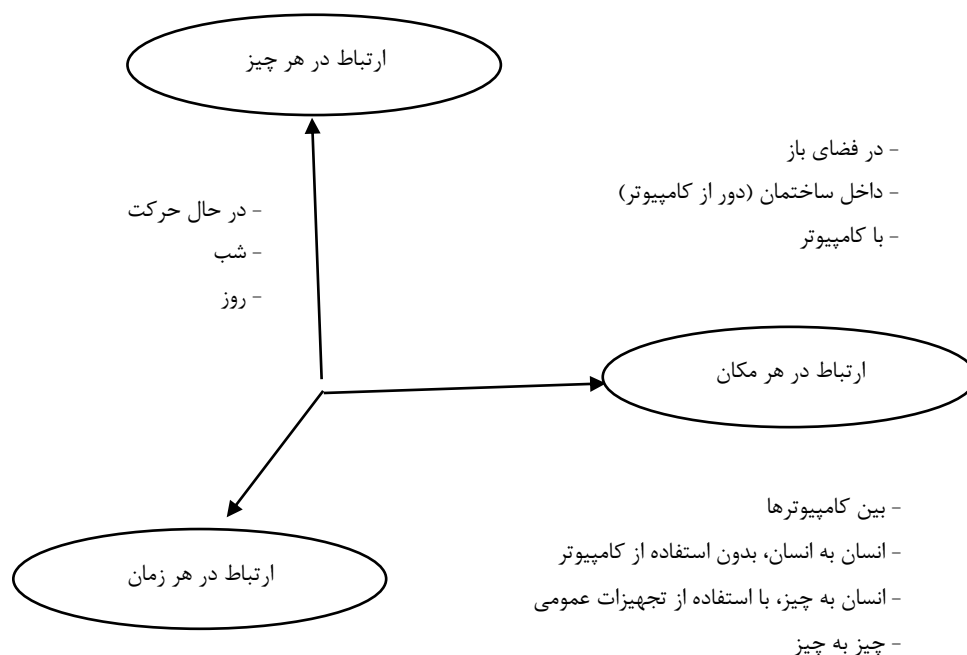
اصطلاح اینترنت اشیا را کوین اشتون در سال ۱۹۹۹ ابداع کرد و نشان‌دهنده مجموعه‌ای از داده‌های برگرفته از «اشیا» است که در سطح انفرادی «اشیا» یا گروهی از «اشیا» را در هر ترکیبی با کمک هوش (معمولاً یادگیری ماشینی) در تصمیم‌گیری‌های کارآمد بر اساس کلان‌داده‌ها و موقعیت منبع (داده‌ها) پردازش می‌کند. این امر کشاورزی را به کشاورزی هوشمند تبدیل کرد؛ درحالی‌که در مورد کشاورزی دقیق، تنها موقعیت داده‌ها برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد (شکل ۴-۲) [۲].

با اینترنت اشیا، انتقال داده‌ها در زمان واقعی به پایگاه داده ذخیره‌سازی وجود دارد که در آن یک برنامه از پیش نصب‌شده بر اساس دانش داده‌ای که قبلاً به آن منتقل شده است، تصمیمات دقیق می‌گیرد و اطلاعات صحیح را برای کاربر ارسال می‌کند. کشاورزی سنتی به‌شکل یک سامانه

^۱. The International Society of Precision Agriculture (ISPA)

^۲. Internet of Things (IoT)

فیزیکی سایبری^۱ متحول شده است؛ از این رو، کشاورزی هوشمند، تکامل کشاورزی دقیق است که اینترنت اشیا، پایه آن است. اینترنت اشیا در بخش کشاورزی دارای گستره فوق العاده‌ای است؛ زیرا کار طاقت فرسا جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای استنباط تصمیمات شایسته، تلاش انسانی، خطای انسانی، اتلاف منابع و غیره را به حداقل می‌رساند. از نظر عملی اکنون نظارت از راه دور همه پارامترها تقریباً امکان پذیر است و هدف از اتوماسیون در روش‌های کشاورزی به واسطه اینترنت اشیا تا حد زیادی به واقعیت تبدیل شده است. بنابراین، اینترنت اشیا کشاورزی هوشمند را تقویت کرده است [۳].



شکل ۴-۲- تعریف اتحادیه بین المللی مخابرات^۲ از اینترنت اشیا ۲۰۰۶

وقتی درباره انقلاب صنعتی ۴ صحبت می‌کنیم، بحث در مورد اینترنت اشیا ضروری است؛ زیرا زیرمجموعه ضروری آن محسوب است. به طور کلی، اینترنت اشیا به مجموعه‌ای از رابط‌ها و ماژول‌ها اشاره دارد (یعنی یک سامانه یا گاهی اوقات، ماژول می‌تواند خودش یک سامانه باشد، از این رو، آن را

^۱. Cyber-Physical System (CPS)

^۲. The International Telecommunication Union (ITU)

به «سامانه سامانه‌ها» تبدیل می‌کند). این سامانه‌ها شامل دستگاه‌ها، یک سامانه فیزیکی سایبری و ماشین‌های دیجیتالی است که به هم متصل هستند؛ دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند و می‌توانند با استفاده از هویت‌های شبکه منحصربه‌فرد خود، محاسبات و ارتباطات داده را روی یک شبکه انجام دهند. اینترنت اشیا، در حال افزایش محبوبیت است؛ زیرا به اندازه کافی منعطف است تا جدیدترین انواع فناوری را دربرگیرد و آن‌ها را با اینترنت ترکیب کند [۴] و همچنین به دلیل این واقعیت که تلاش‌های انسانی با این فناوری کاهش یافت، زیرا تعاملات «انسان به انسان» و «انسان به ماشین» در اینترنت اشیا از نظر جمع‌آوری، انتقال و پردازش داده‌ها حذف شد [۵].

معماری اصلی اینترنت اشیا از سه لایه تشکیل شده است که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است: کاربردهای خاص اینترنت برای ارتباطات داده و ارتباط متقابل «اشیا» و مشخص کردن لایه‌ها با توجه به کار انجام‌شده روی داده‌ها (یعنی جمع‌آوری و انتقال) از منبع و دنیای فیزیکی انجام می‌شود [۶ و ۷].

بسیاری با تعبیه ابزار شناسایی فرکانس رادیویی^۱، حسگرها و محرک‌ها، در تحقیق، توسعه و طراحی سامانه‌های اینترنت اشیا مشارکت داشته‌اند [۸].

سیسکو^۲ اصطلاح اینترنت همه‌چیز^۳ را به عنوان سامانه‌ای معرفی کرد که از ارتباط متقابل افراد، اشیا، داده‌ها و فرآیندها تشکیل شده است. آن‌ها معتقدند که «اثر شبکه» دلیل اصلی لزوم تمرکز روی اینترنت همه‌چیز است. رابرت ملانکتون متکالف^۴، که از سال ۱۹۷۰ به پیشرفت اینترنت کمک کرد، قانونی را تدوین کرد که بیان می‌کند ارزش یک شبکه با مجذور تعداد کاربران متصل به سامانه متناسب است. این نیروی محرکه برای اینترنت همه‌چیز بود [۹].

انقلاب صنعتی ۴ فرصت‌هایی ایجاد کرد و افق را برای جوامع مختلف دانشگاهی و فنی گسترده کرد تا آن‌ها به توسعه بین‌المللی، شفافیت و امنیت با استفاده از فناوری اینترنت اشیا در بخش کشاورزی کمک کنند [۱۰].

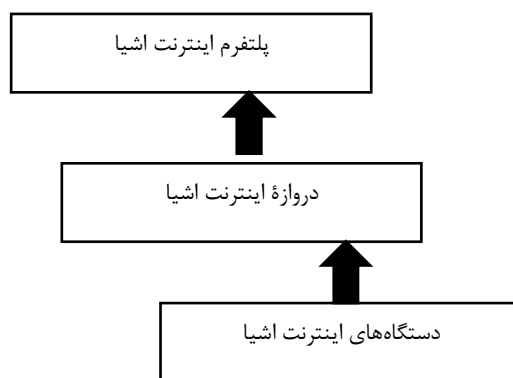
با پیشرفت و ارتقا در سامانه‌های فیزیکی سایبری و اینترنت اشیا، تقاضای تصاعدی برای دستگاه‌های هوشمند و دستگاه‌های اینترنت اشیا [۱۱] وجود داشته‌است؛ زیرا این دستگاه‌ها اجزای اصلی سامانه محسوب می‌شوند که به عنوان پلی بین محیط‌های فیزیکی و مجازی عمل می‌کنند [۱۲].

¹. Radio-Frequency IDentification (RFID)

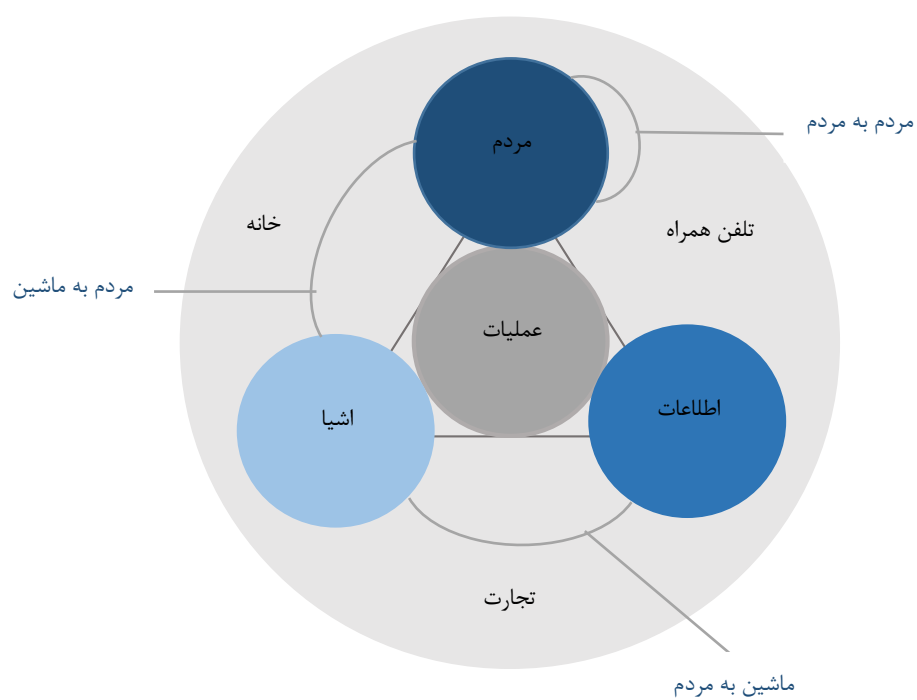
². Cisco

³. Internet of Everything (IoE)

⁴. Robert Melancton Metcalfe



شکل ۴-۳- معماری پایه اینترنت اشیا



شکل ۴-۴- اینترنت همه‌چیز [۹].

۴-۱-۱-۱- چیزی که شیء در اینترنت اشیا به آن اشاره دارد

بر اساس توصیه‌نامه‌ای^۱ از اتحادیه جهانی ارتباطات، تعاریف زیر را برای دستیابی به درک روشنی از یک «دستگاه» و یک «شیء» در اینترنت اشیا ارائه می‌کنند:

دستگاه: قطعه‌ای از تجهیزات اینترنت اشیا با قابلیت‌های ارتباطی اجباری و اختیاری سنجش، فعال‌سازی، ضبط داده، ذخیره‌سازی داده‌ها و پردازش داده است.

اشیا: در رابطه با اینترنت اشیا، این موضوع دنیای فیزیکی (اشیاء فیزیکی) یا دنیای اطلاعات (امور مجازی) است که قابلیت شناسایی و ادغام شبکه‌های ارتباطی را دارد [۲].

پس از بررسی منابع بزرگی از ادبیات منتشرشده تا به امروز، سه دیدگاه عمده و کلی وجود دارد:

(۱) مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک^۲ یک «شیء» را به‌سادگی به‌عنوان هر شیء

فیزیکی‌ای که از دیدگاه کاربر یا برنامه مرتبط است، در نظر می‌گیرد.

(۲) برخی از سازمان‌ها مانند مؤسسه ملی استانداردها و تکنولوژی^۳، اتحادیه بین‌المللی

مخابرات، کنسرسیوم وب جهانی^۴، مرکز بین‌المللی تحقیقات انرژی^۵ و نیروی ضربت

مهندسی اینترنت^۶ موافق این هستند که یک «شیء» می‌تواند فیزیکی یا مجازی باشد،

باید دارای هویت باشد و می‌تواند در یک شبکه ادغام شود.

(۳) ادویده اوریووه^۷ و مارک کنراد^۸ [۱۳] مطالعه مفصلی برای تعریف «شیء» در اینترنت اشیا

انجام داده‌اند و تعریف دقیق و مفصلی ارائه کرده‌اند [۱۴].

¹. ITU-T Y.2060

². Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

³. National Institute of Standards and Technology (NIST)

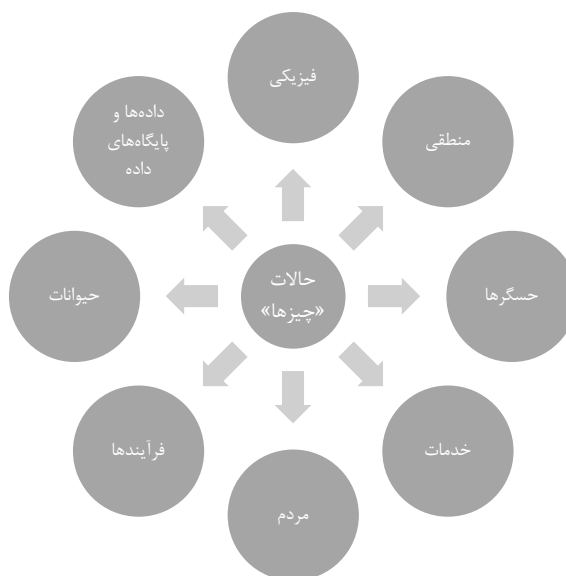
⁴. World Wide Web Consortium (W3C)

⁵. International Energy Research Centre (IERC)

⁶. Internet Engineering Task Force (IETF)

⁷. Edewede Oriwoh

⁸. Marc Conrad



شکل ۴-۵- حالات‌های مختلف «اشیا» [۱۳].

جدول ۴-۱ ویژگی‌های کلیدی مختلفی را در تعاریف مختلف نشان می‌دهد:

یک «شیء» باید توانایی اتصال در یک شبکه با هر پروتکل ارتباطی تخصصی را داشته باشد و قدرت پردازش مدیریت آن ارتباط را نیز داشته باشد. «شیء» در اینترنت اشیا ممکن است پس از دریافت فرمان بتواند اقدامات خاصی انجام دهد، اما برای این منظور، باید فرمان را بشناسد و تکمیل آن را تأیید کند. مسیریاب‌ها، کنترل‌کننده‌ها و دروازه‌ها به‌عنوان بخشی از شبکه در نظر گرفته می‌شوند، اما ممکن است به‌عنوان چیزهایی نیز طبقه‌بندی شوند [۵]. یک اجبار برای کار اینترنت اشیا وجود دارد که داده می‌تواند به شکل هر چیزی شبیه به داده‌های جمع‌آوری شده توسط خود چیزها باشد. مانند داده‌هایی که در حسگرهای کشاورزی مختلف استفاده می‌شود:

(۱) حسگرهای مکان، برای تعیین طول و عرض یا طول و ارتفاع با دقت بالا که در کشاورزی

دقیق اهمیت زیادی دارد.

(۲) حسگرهای نوری، که از نور برای اندازه‌گیری خواص خاک مانند میزان رس، مقدار مواد

آلی موجود در خاک و رطوبت خاک با استفاده از طیف‌های مختلف نور (مانند مادون

قرمز، پلاریزه و غیره) استفاده می‌کنند.

- ۳) حسگرهای الکتروشیمیایی، که برای تعیین میزان اسیدی یا بازی بودن^۱ و سطوح مواد مغذی در خاک با استفاده از تشخیص یون استفاده می‌شوند.
- ۴) حسگرهای مکانیکی، که به یافتن مقاومت خاک به منظور دریافت خواص خاک کمک می‌کنند.

جدول ۴-۱- تعاریف یک «شیء» در اینترنت اشیا [۱۴]

سازمان ها	کلیدواژه‌ها
مؤسسه ملی استانداردها و تکنولوژی	- در فضای فیزیکی یا مجازی رخ می‌دهد. - می‌تواند تمام نرم‌افزار، تمام سخت‌افزار یا ترکیبی از نرم‌افزار و سخت‌افزار باشد.
اتحادیه بین‌المللی مخابرات	- یک شیء است. - می‌تواند فیزیکی یا مجازی باشد. - قابل شناسایی است. - می‌تواند در یک شبکه یکپارچه شود.
مرکز بین‌المللی تحقیقات انرژی	- فیزیکی است یا مجازی. - هویت دارد. - ویژگی‌های فیزیکی دارد. - دارای شخصیت‌های مجازی است. - از رابط‌های هوشمند استفاده می‌کند.
مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک	شامل هر شیء فیزیکی مرتبط از دیدگاه کاربر یا برنامه است.
نیروی ضربت مهندسی اینترنت	- می‌تواند یک کامپیوتر، یک حسگر، افراد، یک محرک، یک ماشین، یک کتاب باشد. - می‌توان به سه‌حوزه طبقه‌بندی کرد: افراد، ماشین، اطلاعات. - می‌توان با یک راه منحصربه‌فرد شناسایی کرد. - یک چیز شناسایی شده را یک شیء می‌نامند.

^۱. pH

ادامه جدول ۴-۱- تعاریف یک «شیء» در اینترنت اشیا [۱۴]

سازمان ها	کلیدواژه ها
کنسرسیوم وب جهانی	• می تواند یک نمایش مجازی یا انتزاعی از یک موجود فیزیکی باشد • می تواند متصل و یا غیرمتصل باشد. • هر چیز می تواند یک یا چند نمایش مجازی داشته باشد. • می تواند تاریخچه داشته باشد. • دارای هویت، توضیحات غنی، خدمات، کنترل دسترسی و سیاست های مدیریت داده است. • دارای شناسه منع یکنواخت.
اورپو و کنراد ^۱	• در خدمت هدف است. • می تواند به هم متصل شود. • ارتباطات می تواند از طریق تکنولوژی یا روش های سنتی باشد. • دارای فرم یا مجموعه ای از ساختارها است. • قابل ردیابی است. • می تواند ارتباط برقرار کند. • قابل واسط است. • می تواند شکل فیزیکی یا منطقی داشته باشد. • می تواند زنده یا غیرزنده باشد. • قابل شناسایی است. • می تواند در یک شبکه یکپارچه شود.

۵) حسگرهای دی الکتریک، رطوبت خاک را با تشخیص ثابت دی الکتریک^۲ خاک، که

جنبه ای از رطوبت است، شناسایی می کنند.

۶) حسگرهای جریان هوا بر اساس اصل تجزیه و تحلیل فشار مورد نیاز برای عبور مقدار خاصی

از هوا در عمق مشخص برای تشخیص نفوذپذیری خاک کار می کنند.

۷) ایستگاه های هواشناسی کشاورزی که دارای حسگرهای متعددی برای تعیین دمای هوا و

خاک، بارندگی، رطوبت برگ، محتوای کلروفیل، سرعت باد، دمای نقطه شبنم، جهت باد،

رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و فشار اتمسفر هستند.

داده های درگیر در حسگرهای فوق در کشاورزی دقیق، برای کارهای مختلف مانند ثبت

توپوگرافی و مرزها که علاوه بر نمای کلی دقیق از ویژگی های زمین، هنگام تفسیر نقشه های شوری،

^۱. Oriwoh and Conrad

^۲. symbol = K

نقشه‌های عملکرد و نقشه‌های علف‌های هرز، کاملاً مفید هستند. اینترنت اشیا به کارآیی و عملکرد پهپادها و وسایل نقلیه بدون سرنشین در کشاورزی با هوشمندتر کردن این امر کمک می‌کند. از این رو، با پذیرش اینترنت اشیا در کشاورزی دقیق، مطمئناً شاهد مزایای پیش‌بینی‌شده و پیش‌بینی‌نشده خواهیم بود که به‌طور قابل‌توجهی بخش کشاورزی را بهبود می‌بخشد.

۴-۱-۲- دستگاه‌های اینترنت اشیا و اشیای هوشمند

استفاده از فناوری‌های شناختی، مانند بینایی رایانه و یادگیری ماشین، به ما کمک می‌کند تا موقعیت‌های عملی را بهتر درک و تجزیه و تحلیل کنیم، در نتیجه، دقت لازم را برای کشاورزی به‌منظور دستیابی به عملکرد بهتر و استفاده کارآمد از منابع افزایش می‌دهد. فناوری‌های اینترنت اشیا که از محاسبات شناختی (زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی) استفاده می‌کنند، بر استدلال و درک در سطح بالاتر تمرکز دارند و به روشی مشابه با توانایی‌های انسان با هم‌بستگی کلان‌داده‌ها (ساختاریافته یا بدون ساختار) روی منابع متعدد مانند حسگرهای مکان، حسگرهای نوری، حسگرهای الکتروشیمیایی، حسگرهای مکانیکی، حسگرهای دی‌الکتریک رطوبت خاک، حسگرهای جریان هوا و غیره برای ارائه اطلاعات ارزشمند خاصی به کاربر و پیشنهاد تغییرات بسیار دقیق یا اقدامات لازم برای بهبود کارآیی است.

جدول ۴-۲- تعاریف یک شیء هوشمند [۱۴]

تعاریف	نویسندگان
فضا_زمان، مکان_آگاه، آگاه به محیط، خودثبت، خودمستندسازی، شیء منحصر به فرد.	استرلینگ ^۱
- داده‌هایی را در مورد خود و محیط آن ارائه می‌دهد. - شیء فیزیکی یا دیجیتال مستقل، با قابلیت‌های سنجش، پردازش و شبکه افزوده شده است.	کورتئوم و همکاران ^۲
تکه‌هایی از منطق برنامه را برای درک موقعیت محلی خود و تعامل با کاربران انسانی حمل می‌کند.	
حس می‌کند، ثبت می‌کند و تفسیر می‌کند که درون خودش و جهان اتفاق می‌افتد.	
خودکار عمل می‌کند، با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کند و اطلاعات را با مردم مبادله می‌کند.	

^۱. Sterling

^۲. Korteum et al.

ادامه جدول ۴-۲- تعاریف یک شیء هوشمند [۱۴]

نویسندگان	تعاریف
فورتینو و همکاران ^۱	• خودمختار، سایبری_فیزیکی. • با قابلیت‌های سنجش یا فعال‌سازی، پردازش، ذخیره‌سازی و شبکه‌سازی تقویت شده است. • مدل ابر داده با ویژگی‌ها، شناسه، سازنده، ویژگی فیزیکی، نوع، دستگاه، سرویس، عملیات، مکان، پارامترهای کیفیت خدمات.
سازمان استانداردهای مطبوعاتی مستقل ^۲	• مجموعه مشخصی از منابع قابل استفاده مجدد، مانند نوع فیزیکی، خصوصیات استاتیک و پویا. • دارای هویت منحصر به فرد است.
لوپز و همکاران ^۳	• قادر به حس کردن و ذخیره اندازه‌گیری‌های انجام شده به وسیله مبدل‌های حسگر مرتبط با آن است. • می‌تواند شناسایی، اندازه‌گیری‌های حسگر و سایر ویژگی‌های خود را در اختیار نهادهای خارجی، مانند دیگر اشیا یا سیستم‌ها قرار دهد. • می‌تواند با سایر اشیاء هوشمند ارتباط برقرار کند. • می‌تواند در مورد خود و تعاملاتش با موجودات خارجی تصمیم‌گیری کند.

بسیار مهم است که بدانیم در واقع ما با عباراتی که اغلب در یک سامانه کشاورزی مبتنی بر اینترنت اشیا استفاده می‌شود به چه چیزی اشاره می‌کنیم، به طوری که تصور اشتباهی در مورد اصطلاحاتی مانند شیء هوشمند، حسگر هوشمند و «شیء» در اینترنت اشیا وجود نداشته باشد. همچنین در مباحث پیش رو، تعاریفی از سوی محققان و سازمان‌های مختلف ارائه شده است تا بتوان دید روشنی از دیدگاه‌های مختلف به دست آورد.

باید توجه داشت که یک دستگاه اینترنت اشیا ممکن است اصلاً یک شیء هوشمند نباشد؛ زیرا برای این که یک دستگاه هوشمند باشد، باید شرایط خاصی را برآورده کند. تعاریف مختلفی از اشیاء هوشمند به صورت جدولی در زیر ارائه شده است [۱]:

جدول ۴-۳ مقایسه‌ای از ویژگی‌های کلیدی برای حسگرهای هوشمند، اشیای هوشمند، و «چیزها» را در اینترنت اشیا نشان می‌دهد.

¹. Fortino et al.

². Independent Press Standards Organisation (IPSO)

³. Lopez et al.

جدول ۴-۳- مقایسه ویژگی‌های کلیدی برای حسگرهای هوشمند، اشیای هوشمند و چیزها در اینترنت اشیا [۱۴]

ویژگی‌های کلیدی	موجودیت
- یک دستگاه فیزیکی با رابط شبکه - فقط حس کردن - ذخیره‌سازی داده‌های محلی - پردازش داده‌های محلی	حسگرهای هوشمند
- اشیای فیزیکی یا مجازی با رابط شبکه - فقط حسگر یا با محرک - ذخیره‌سازی داده‌های محلی - پردازش داده‌های محلی - تعامل با اشیای دیگر	اشیای هوشمند
- اشیای فیزیکی یا مجازی با رابط شبکه - حسگر و محرک - ذخیره‌سازی داده‌های محلی - پردازش داده‌های محلی	اینترنت اشیا «چیزها»

۴-۲- کشاورزی با اینترنت اشیا

به‌منظور درک اینترنت اشیا و همچنین تشخیص فرآیندهای درگیر، مطالعه یک مدل کلی که عناصر اینترنت اشیا را در سطوح مختلف توصیف می‌کند، ضروری است [۱]. امروزه مدل‌های مختلفی از اینترنت اشیا وجود دارد، اما برای تحقق هدف این کتاب، مدل‌های مرجع ذکر شده در زیر از دیدگاه کشاورزی ضروری هستند. در سال ۲۰۱۴، ابتکار مشترک سیسکو^۱، آی‌بی‌ام^۲، اتوماسیون راکول^۳، همراه با دیگران منجر به تشکیل کمیته‌ای شد که معماری استاندارد اینترنت اشیا را چارچوب‌بندی کرد [۱۵]. این مدل مرجع به‌عنوان انجمن جهانی اینترنت اشیا^۴ شناخته می‌شود و انجمن جهانی اینترنت اشیا یک رویداد صنعتی سالانه است که توسط سیسکو [۱۶] میزبانی می‌شود.

ویژگی کلیدی این مدل این است که به‌صورت مرکزی کنترل می‌شود. مرکز، معمولاً نقاط امنیت کنترل ابر است. جریان داده‌ها از نقاط انتهایی به‌سمت مرکز است که سپس پردازش می‌شود. با این حال، ممکن است پردازش غیرمتمرکز نیز وجود داشته باشد که به‌عنوان یک سرویس ابری عمل می‌کند. تقسیم‌بندی مدل از هفت لایه تشکیل شده است؛ زیرا هنگام مواجهه با موقعیت‌هایی

¹. Cisco

². IBM

³. Rockwell

⁴. IoT World Forum (IoTWF)

که هدف آن ایجاد یک اینترنت اشیای سفارشی شده برای یک هدف خاص است، دانستن نقش هر لایه به همراه رابط‌های مورد نیاز به ایجاد آسان یک سامانه اینترنت اشیای کمک می‌کند. از این رو، بسیاری از مؤسسات می‌توانند عناصر را برای لایه‌های مختلف در حالی که قابلیت همکاری کافی دارند، مشارکت دهند. یکی دیگر از مزایای این مدل این است که امنیت را می‌توان به طور خاص در هر لایه دلخواه وصل کرد [۱۵] و این امر اینترنت اشیای ساده و قابل دسترس می‌کند [۱۷]. این هفت لایه عبارت‌اند از:

(۱) دستگاه‌ها و کنترل‌کننده‌های فیزیکی

این اولین لایه‌ای است که شامل چیزهای اینترنت اشیای، دستگاه‌های اینترنت اشیای، موضوعات، اشیای هوشمند، حسگرها، حسگرهای هوشمند و همچنین شامل کنترلرها است (تعریف آن‌ها در بخش‌های قبلی این فصل مورد بحث قرار گرفته است). بنابراین، هدف اصلی آن‌ها جمع‌آوری داده‌ها، تحمل توانایی انتقال داده‌ها و توانایی انجام دستورات به کمک محرک‌ها است.

مثال این لایه شامل یک حسگر ساده با گرداننده آن (هم سخت‌افزار و هم نرم‌افزار) است [۱ و ۱۵].

(۲) اتصال یا شبکه

این لایه به اتصال موجودیت‌های اینترنت اشیای (اشیای اینترنت اشیای، دستگاه‌های اینترنت اشیای، اشیای، اشیای هوشمند، حسگرها، حسگرهای هوشمند و همچنین شامل کنترلرها) به شبکه اشاره دارد و شامل تمام روش‌شناسی‌ها، فناوری‌ها و ابزارهای برقراری ارتباط در سامانه اینترنت اشیای است. این لایه شامل هر دو حالت اتصال سیمی و بدون سیم در اینترنت اشیای و همچنین یک سامانه کنترل است که معمولاً یک سرویس ابری است. فرآیند تصمیم‌گیری به لایه یا سطح خاصی محدود نمی‌شود. بلکه بستگی به شرایط دارد. به عنوان مثال، اگر دستگاهی بتواند به صورت محلی تصمیم بگیرد، می‌تواند عمل خود را انجام دهد و تنها در صورت بروز یک موقعیت پیچیده به پلتفرم اینترنت اشیای اطلاع دهد. تصمیم‌گیری در بسیاری از سطوح در سامانه اینترنت اشیای صورت می‌گیرد، بنابراین آن را به یک فرآیندی «بسیار منعطف» تبدیل می‌کند [۱].

بنابراین، عملکرد این لایه این است که به عنوان یک گذرگاه مطمئن برای داده‌ها عمل کند و آن را به لایه‌های بالایی که در آن فیلتراسیون، تجزیه و تحلیل، تجمع و اطلاعات ارزشمند از این داده‌ها دریافت می‌شود، ارسال کند. سوئیچینگ یا مسیریابی در این لایه انجام می‌شود و در صورت نیاز، ترجمه و هماهنگی بین پروتکل‌ها نیز امکان‌پذیر است [۱۵].

این لایه همچنین شامل امنیت در سطح شبکه می‌شود (به‌عنوان مثال کاربرد سیاست امنیت شبکه) و ممکن است ویژگی تجزیه و تحلیل شبکه یا خودآموزی را داشته باشد [۱۷].

۳) محاسبات لبه یا مه

این لایه، لایه لبه یا لایه مه نامیده می‌شود؛ زیرا محاسبات لبه یا محاسبات مه در اینجا انجام می‌شود و وظیفه اصلی آن جدا کردن، جمع و پردازش داده‌ها است. در این مورد، پردازش ممکن است شامل ارزیابی، قالب‌بندی، گسترش یا رمزگشایی، جابه‌جایی یا کاهش و ارزیابی باشد.

وظیفه آن شروع تبدیل داده‌ها به اطلاعات است تا بتوان آن را بیشتر پردازش کرد و در سطح بعدی ذخیره کرد.

یک سامانه کارآمد باید پردازش را نزدیک‌تر به لبه آغاز کند تا ترافیک داده کاهش یابد و در نتیجه سامانه سریع‌تر و در زمان واقعی پاسخ دهد [۱۵ و ۱۷]. محاسبات لبه و محاسبات مه بیشتر در بخش‌های بعدی این فصل مورد بحث قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۶- مدل مرجع اینترنت اشیا از انجمن جهانی اینترنت اشیا [۱۵].

۴) انباشت داده‌ها

داده‌های تولیدشده در لایه اول از طریق شبکه به لایه دوم منتقل می‌شود و پردازش خاصی در سطح سوم انجام می‌شود. تا این سطح، داده‌ها در حال حرکت در نظر گرفته می‌شوند و سرعت انتقال به تنظیمات سامانه اینترنت اشیا بستگی دارد. پردازش داده‌ها لزوماً برای یک برنامه اینترنت اشیا نیازی به زمان واقعی ندارد. بنابراین، عملکرد این لایه آماده‌سازی داده‌ها برای ذخیره‌سازی است؛ به‌طور خاص، تبدیل داده‌های مبتنی بر رویداد به داده‌های مبتنی بر پرس‌وجو به‌طوری که بتوان آن‌ها را پس از انباشته شدن در پرس‌وجوها بازیابی کرد.

۵) انتزاع داده‌ها

این لایه نیز در درجه اول یک لایه داده‌گرا است. با افزایش حجم داده‌ها، سامانه‌های ذخیره‌سازی بیشتری موردنیاز است و گاهی اوقات داده‌ها از منابع مختلف به‌طور جداگانه ذخیره می‌شوند. داده مفید به‌عنوان «اطلاعات» نامیده می‌شود. علاوه‌براین، مقدار کافی از اطلاعات موردنیاز برای تبدیل یک تصمیم به «دانش» موردنیاز است. داده‌ها در این سطح از سامانه‌های ذخیره‌سازی چندگانه جمع‌آوری می‌شوند و «سازگار، کامل و معتبر» می‌شوند تا بتوانند به یک پرس‌وجو پاسخ دهند و با یک نتیجه ارزشمند برگردند [۱، ۱۵ و ۱۷].

۶) سطح کاربردی

مدل مرجع اینترنت اشیا به‌طور دقیق یک برنامه کاربردی را تعریف نمی‌کند، زیرا تا حد زیادی متفاوت است. در این حالت اطلاعات لایه پنجم تفسیر می‌شود. این اپلیکیشن به‌واسطه ویژگی‌های متعددی که از خدمات و پلتفرم‌های وب دارد، می‌تواند به هدف موردنظر دست یابد. برای توسعه برنامه، روش‌هایی قطعی که در آن‌ها می‌توان از عناصر نرم‌افزاری تکرارشونده استفاده کرد، ترجیح داده می‌شود تا از ایجاد مشکل در توسعه نرم‌افزار جدید جلوگیری شود.

زمانی که سفارشی‌سازی یک برنامه خاص امکان‌پذیر نباشد، تنها کاربر نهایی می‌تواند برنامه آن را بر اساس تعامل انسان و ماشین انتخاب‌شده و تنها با تمرکز بر این مؤلفه بسازد. در زیر اهداف برنامه‌های کاربردی مختلف با هدف دستیابی به آن‌ها ارائه شده است:

- نظارت بر داده‌های دستگاه
- دستگاه‌های کنترلی
- ترکیب داده‌های دستگاه و غیردستگاه
- مدیریت تعاملات ساده (برنامه موبایل)

- تجزیه و تحلیل
 - مرکز مدیریت یا کنترل سیستم (خود سامانه اینترنت اشیا را کنترل می کند و روی داده های تولید شده توسط آن عمل نمی کند) [۱، ۱۵ و ۱۷].
- (۷) منابع همکاری و پردازش
- برای بهره مندی مناسب از اطلاعات به دست آمده از سامانه اینترنت اشیا، لازم است که چیزی با ارزش به نتیجه برسد. برای این منظور، همکاری بین منابع و پردازش ضروری است. افراد از برنامه ها استفاده می کنند و بر اساس نیازهای خود از مزایایی برخوردار می شوند که راه را برای فرصت های تجاری مختلف هموار می کند. بنابراین، مردم اغلب در این سطح درگیر هستند، از جمله بخش تجاری.
- برخی از نمونه ها عبارتند از:
- سامانه مدیریت گردش کار
 - سامانه پشتیبانی تصمیم^۱
 - سامانه های شبیه سازی فرآیند [۱، ۱۵ و ۱۷].

۴-۲-۱- مدل مرجع ساده شده از اینترنت اشیا

- (۱) سطح اینترنت اشیا که از موارد زیر تشکیل شده است:
- حسگرهای اینترنت اشیا
 - عملگرها
- (۲) سطح شبکه اینترنت اشیا که شامل تمام اجزای شبکه است و بنا به نیاز، به اتصال و انتقال داده ها کمک می کند و شامل موارد زیر است:
- دروازه های اینترنت اشیا
 - عملگرها
 - مسیریاب ها
- عناصر مه یا لبه را در این عنوان قرار می دهیم. هدف اصلی محاسبات مه و لبه برای تجزیه و تحلیل داده ها در نزدیکی چیزهای اینترنت اشیا انجام می شود؛ زیرا این امر پردازش را سریع تر می کند و ترافیک شبکه را کاهش می دهد. تأخیر کم و پاسخ های سریع تر از ویژگی های کلیدی آن است. مراقبت های بهداشتی می تواند نمونه ای از این اینترنت اشیا باشد.

¹. Decision Support System (DSS)

۳) اینترنت اشیای ابری^۱ و سطح کابری به مدیریت و پردازش داده‌ها کمک می‌کند. همچنین مسئول مدیریت دستگاه‌های اینترنت اشیا و سیستم عمومی اینترنت اشیا است [۱۹] و [۲۰].

۴-۲-۲- ساختار چهار مرحله‌ای اینترنت اشیا

پایه مرحله ۱ این ساختار شیء مربوط به اینترنت اشیا است که طیف وسیعی از ورودی‌ها را عبور می‌دهد. این ورودی‌ها به ایجاد مجموعه داده بزرگی از زمینه اطلاعاتی مرتبط کمک می‌کنند [۲۱].

(۱) مرحله ۱:

اولین مرحله این ساختار شامل حسگرها و محرک‌هایی است که «داده‌ها یا اطلاعات» را از «اشیا» دریافت می‌کنند. «داده یا اطلاعات» فوق‌الذکر برای پردازش بیشتر به شکل دیجیتال تبدیل می‌شود.

(۲) مرحله ۲:

سامانه‌های جمع‌آوری داده و دروازه‌های اینترنتی که عملکردهای مهمی را انجام می‌دهند در این مرحله آغاز می‌شوند. این کار با جمع‌آوری انواع داده‌ها از منابع ورودی مختلف و تبدیل آن به یک فرم مناسب برای پردازش بیشتر کار می‌کند. این مرحله همچنین وظیفه اندازه‌گیری و کنترل آنالوگ به دیجیتال را بر عهده دارد. دروازه اینترنت اشیا بخشی از این مرحله است که ارتباط را امکان‌پذیر می‌کند و بنابراین، تمام داده‌های ارتباطی باید از آن عبور کنند.

(۳) مرحله ۳:

این مرحله به عنوان «لبه» نیز نامیده می‌شود و فرآیند انجام‌شده در آن «محاسبات لبه» نامیده می‌شود. «داده‌ها یا اطلاعات» از مرحله دوم از طریق دروازه‌های مختلف یا از طریق انتقال سیمی یا بی‌سیم دریافت می‌شود. معمولاً لبه داده‌ها را با حالت‌های بی‌سیم مانند وای‌فای^۲، لورا^۳ یا زیگ‌بی^۴ دریافت می‌کند. یکی از ویژگی‌های مهم معماری خوب این است که داده‌ها را نزدیک به انتها پردازش کند. بنابراین، پردازش پیش‌تحلیلی در این جا انجام می‌شود تا به پردازش بعدی کمک کند [۲۲-۲۴].

^۱. IoT Cloud

^۲. WiFi

^۳. LoRa

^۴. ZigBee

۴) مرحله ۴:

مرحله نهایی این ساختار جایی است که پردازش واقعی انجام می‌شود و در یک ابر جمع می‌شود. تجزیه و تحلیل داده‌ها، مدیریت داده‌ها و برخی از آرشیو داده‌ها از ویژگی‌های اصلی آن است. پس از پردازش داده‌ها، تجزیه و تحلیل بر اساس هدف انجام می‌شود و نتایج ارزشمندی به دست می‌آید که به کنترل، مدیریت و تصمیم‌گیری کمک می‌کند.

۴-۲-۳- ساختار اینترنت اشیا در کشاورزی

پس از ارائه مدل مرجع کلی، انجمن جهانی اینترنت اشیا با ساختار متفاوت، باید مشخص شود که چگونه اجزا و سطوح مختلف با هم هماهنگ و همگام می‌شوند تا یک سامانه اینترنت اشیا را کاملاً کاربردی کند [۲۱]. لازم به ذکر مجدد است که هدف این کتاب ارائه تمام اطلاعات و دانش لازم به خواننده برای کمک به او در سناریوی فعلی است که آگاهی فناوری به یک نیاز تبدیل شده است. تا پایان سال ۲۰۱۸، بازار کشاورزی مبتنی بر حسگر در سطح جهانی ۱,۸ میلیارد دلار بود و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۳ با نرخ رشد ترکیبی سالانه^۱ ۱۹,۳ درصد به ۴,۳ میلیارد دلار افزایش یابد [۲۵].

این بخش تمام جزئیات ضروری و اصطلاحات فنی را که در فناوری اینترنت اشیا با آن‌ها برخورد کرده‌ایم، ارائه می‌دهد. این بخش باید از دیدگاه کشاورزی توضیح داده شود تا درک بهتری ایجاد کند.

سامانه‌های مختلف اینترنت اشیا که تا به امروز در حوزه کشاورزی اجرا شده‌اند، اگر در سه لایه ساختاری مطالعه شوند، به راحتی قابل درک هستند:

۱) دستگاه اینترنت اشیا

برای درک سامانه اینترنت اشیا، اولین لایه‌ای که باید مورد مطالعه قرار گیرد، سطحی است که از دستگاه‌های اینترنت اشیا تشکیل شده است. زیرا اولین چیزی که در اینترنت اشیا با آن مواجه می‌شویم، دستگاه‌هایی هستند که عمدتاً در مکان‌های خاصی در محیط توزیع می‌شوند تا ورودی‌ها را به دست آورند [۲۶]. این دستگاه‌ها قادر به سنجش و فعال‌سازی محیط فیزیکی هستند [۲۷].

طبق یک رویه یا پروتکل استاندارد، این اطلاعات جمع‌آوری شده به یک لایه دروازه اینترنت اشیا [۱۱ و ۱۲] منتقل می‌شود. اتصال به اینترنت، سامانه اینترنت اشیا را قادر می‌سازد تا از یک سرور ابری همراه با خدمات استفاده کند که لایه سوم ساختاری (یعنی لایه پلت‌فرم اینترنت اشیا) را تشکیل می‌دهد [۲۸].

^۱. Compound Annual Growth Rate (CAGR)

۲) دروازه اینترنت اشیا

همان‌طور که از نام آن پیداست، این لایه به اتصال لایه دستگاه‌های اینترنت اشیا به لایه پلتفرم اینترنت اشیا کمک می‌کند، در نتیجه به عنوان یک پل عمل می‌کند که می‌تواند به شکل نرم‌افزار یا سخت‌افزار باشد. به عبارت ساده‌تر، دستگاه حسگر و فعال‌کننده سیستم اینترنت اشیا را به گونه‌ای امن به انواع مختلف پلتفرم‌ها و برنامه‌ها متصل می‌کند. بنابراین، به امنیت کلی سامانه اینترنت اشیا می‌افزاید. دروازه اینترنت اشیا امکان ارتباط «اشیا» را در سامانه‌های اینترنت اشیا مانند مواردی که معمولاً در صنایع، شهرهای هوشمند و همچنین در کشاورزی یافت می‌شوند، در میان چیزهای دیگر می‌دهد [۲۹].

برخی از انواع اینترنت اشیا زمانی که تعاملات ماشین به ماشین^۱ خاصی مورد نیاز باشد می‌توانند ساختار دروازه محوری داشته باشند [۳۰].

در حال حاضر، دروازه‌های اینترنت اشیای هوشمند خاصی وجود دارد که می‌تواند بر مشکلات اتصال غلبه کند تا به یک شبکه ناهمگن، شبکه زیگبی ادوک^۲، شبکه کابلی و شبکه محلی بی‌سیم^۳ پیوندد [۳۱].

۳) لایه پلتفرم اینترنت اشیا

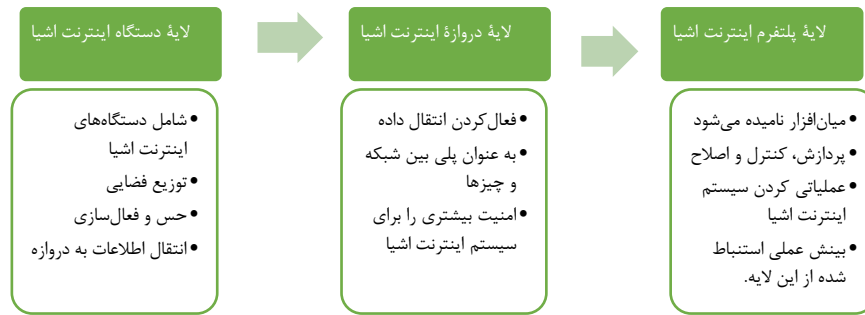
لایه پلتفرم اینترنت اشیا یک لایه نیست، بلکه مجموعه‌ای از لایه‌ها است و اغلب به آن «میان‌افزار» می‌گویند. این لایه بخش غالب سامانه اینترنت اشیا است زیرا موارد زیر را امکان‌پذیر می‌سازد:

- ۱) پشتیبانی برنامه از اینترنت اشیا
- ۲) مدیریت دستگاه اینترنت اشیا
- ۳) نظارت و کنترل جریان داده
- ۴) سامانه مدیریت برنامه

^۱. M2M

^۲. Zigbee Adhoc

^۳. Local Area Network (LAN)



شکل ۴-۷- ساختار سه‌لایه اینترنت اشیا

خدمات راه حل اینترنت اشیا، مدیریت خدمات اینترنت اشیا و خودکارسازی «اشیا» در اینترنت اشیا تنها به دلیل لایه پلتفرم اینترنت اشیا امکان‌پذیر است. منابع باز و اختصاصی زیادی در سراسر جهان وجود دارد که توسعه راه‌حل‌های اینترنت اشیا را تقویت می‌کند. نمونه‌هایی از پلتفرم‌های اینترنت اشیا عبارت‌اند از:

(۱) پلتفرم‌هایی که یک راه‌حل انتها به انتها ارائه می‌دهند.

(۲) پلتفرم‌هایی که امکان اتصال را فراهم می‌کنند.

(۳) پلتفرم‌های ابری

(۴) پلتفرم‌های داده

در پلتفرم‌های اینترنت اشیا کشاورزی، کشاورز و متعاقباً توسعه‌دهنده از مشکل آگاه هستند و چنین پلتفرمی را انتخاب می‌کنند که بستگی به نوع ویژگی‌ها و عملکردهای تعریف‌شده سامانه دارد. این پلتفرم باید دارای ویژگی‌های زیر باشد [۳۲]:

(۱) امکان جمع‌آوری داده‌های لازم

(۲) امکان ذخیره و مدیریت همان داده‌ها

(۳) مقررات اجباری برای پردازش داده‌ها

(۴) مدل‌های تحلیلی کاربردی و تکنیک‌های تجسم به‌منظور ارائه نتایج معنادار و عملی

۴-۳- مروری کوتاه بر شبکه اینترنت اشیا

به‌منظور حصول اطمینان از حداکثر بهره‌مندی از پیاده‌سازی یک سامانه اینترنت اشیا در یک حوزه مرتبط با کشاورزی، آگاهی عمومی در مورد شبکه اینترنت اشیا ضروری است تا پیاده‌سازی، نگهداری و امنیت مربوطه برای کاربر آسان شود، حتی اگر در این زمینه متخصص نباشد [۱۵]. همچنین واضح است که شبکه اینترنت اشیا از دو بخش اصلی تشکیل شده است:

(۱) اینترنت

(۲) شبکه لبه

این دو در خصوصیات متفاوت هستند و همچنین عملکردهای متفاوتی دارند. به بیان ساده، یک شبکه لبه را می‌توان به‌عنوان شبکه‌ای از همه «اشیا» بیان کرد که می‌تواند هر چیزی مانند حسگرها در میدان، اشیا، وسایل نقلیه، ابزار، دستگاه‌ها و غیره باشد که به یک سامانه اینترنت اشیا متصل هستند. هر اینترنت اشیا محیط را به‌عنوان یک محدودیت در نظر می‌گیرد؛ زیرا بر شبکه مورد پذیرش و همچنین تعداد گره‌ها و موقعیت مکانی مربوطه آن‌ها تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، حسگرهایی که در یک منطقه وسیع مستقر می‌شوند، گاهی اوقات نمی‌توانند با یک شبکه تغذیه شوند؛ برای این محدودیت خاص، باید بتواند از هر منبع محلی موجود استفاده کند.

تمام پارامترها در شبکه‌های لبه به نتیجه مورد نیاز کاربر متصل هستند و از این‌رو، می‌توانند انحراف زیادی را در عملکرد هر پارامتر نشان دهند. چند نمونه در زیر ذکر شده است:

(۱) سرعت انتقال داده: برخی از حسگرها معمولاً در یک شبکه لبه، سرعت داده پایینی در

مقایسه با شبکه‌ای که قرار است ویدیوی بلادرنگ در آن منتقل شود، دارد و بنابراین شامل کلان داده‌ها می‌شود.

(۲) تأخیر در ذخیره‌سازی و پردازش: معمولاً تأخیر زیاد و پویا در ذخیره‌سازی و پردازش

در شبکه لبه قابل قبول است. باین‌حال، در مورد برنامه کنترل و اعلان هشدار، تأخیر باید حداقل و ثابت باشد.

(۳) میزان خطا: این فاکتور همچنین در انتخاب یک برنامه در نظر گرفته می‌شود.

در بعضی از مواقع در برنامه‌های اینترنت اشیا به‌عنوان «سامانه سامانه‌ها» اشاره می‌شود، زیرا تعامل بسیاری از سامانه‌های (گره‌ها) مستقل را برای یک نتیجه نسبتاً روشن‌کننده ممکن می‌سازد [۳۳].

دروازه‌ها گره‌هایی هستند که شبکه لبه را با استفاده از پروتکل‌های خاص به اینترنت متصل می‌کنند و به ارتباط داده‌ها بین پروتکل‌های شبکه لبه و پروتکل‌های اینترنتی کمک می‌کنند؛ زیرا این پروتکل‌ها دارای ویژگی پردازش هستند و بنابراین، به کاهش تأخیر شبکه و انتقال به پردازش نزدیک‌تر به «اشیا» کمک می‌کنند [۳۴].

۴-۳-۱- مدل سازمان بین‌المللی استاندارد^۱، اتصال داخلی سامانه^۲ و مدل سازمان بین‌المللی استاندارد اتصال داخلی سامانه ساده‌شده

مدل اتصال داخلی سامانه یک مدل مفهومی است که توسط سازمان بین‌المللی استانداردسازی ایجاد شده است [۱۵] و یک سامانه ارتباطی را به لایه‌های انتزاعی تقسیم می‌کند. از آنجایی که یک مدل مفهومی است، با تقسیم آن به لایه‌های کوچک‌تر، دانشی در مورد ارتباطات در یک شبکه فراهم می‌شود. هفت لایه در مدل مرجع اتصال داخلی سازمان بین‌المللی استاندارد اصلی [۳۵] وجود دارد.

به‌طور کلی، در یک شبکه اینترنت اشیا، ما از مدل اتصال داخلی سازمان بین‌المللی استاندارد ساده‌شده استفاده می‌کنیم که از پنج لایه تشکیل شده است؛ زیرا سه لایه از مدل واقعی در یک لایه ادغام می‌شوند که در شکل ۴-۸ نشان داده شده است:

در یک شبکه اینترنت اشیا، واحد داده پروتکل^۳، بخش پیام‌های داده‌ای هستند که برای ارتباط بین لایه نشان‌داده شده در شکل ۴-۹ استفاده می‌شوند. بسته به نوع داده‌های درگیر، واحد داده پروتکل به‌عنوان «بسته»، «دیتاگرام»، «فریم» و «بخش» نیز شناخته می‌شود.

۴-۳-۲- لایه‌های مدل اتصال داخلی سامانه سازمان بین‌المللی استاندارد ساده‌شده

تشریح عملکرد هر لایه با شرایط فنی مناسب خارج از حوصله این کتاب است. از این‌رو، یک رویکرد اساسی برای ایجاد صلاحیت کافی برای خواننده برای این که بتواند حداقل یک سامانه اینترنت اشیا را پیاده‌سازی کند و همچنین از عملکرد روان آن اطمینان حاصل کند، استفاده شده است.

۱) سطح کاربردی

لایه برنامه در درجه اول مربوط به تبادل داده‌های برنامه است که در گره‌های انتهایی انجام می‌شود و نوع پیامی را که منتقل می‌شود مشخص می‌کند. این لایه در واقع ترکیبی از سه لایه در مدل اتصال داخلی سامانه سازمان بین‌المللی استاندارد است که در شکل ۴-۹ نشان داده شده است: در مدل اتصال داخلی سامانه سازمان بین‌المللی استاندارد، اهداف دولایه ادغام‌شده به شرح زیر است:

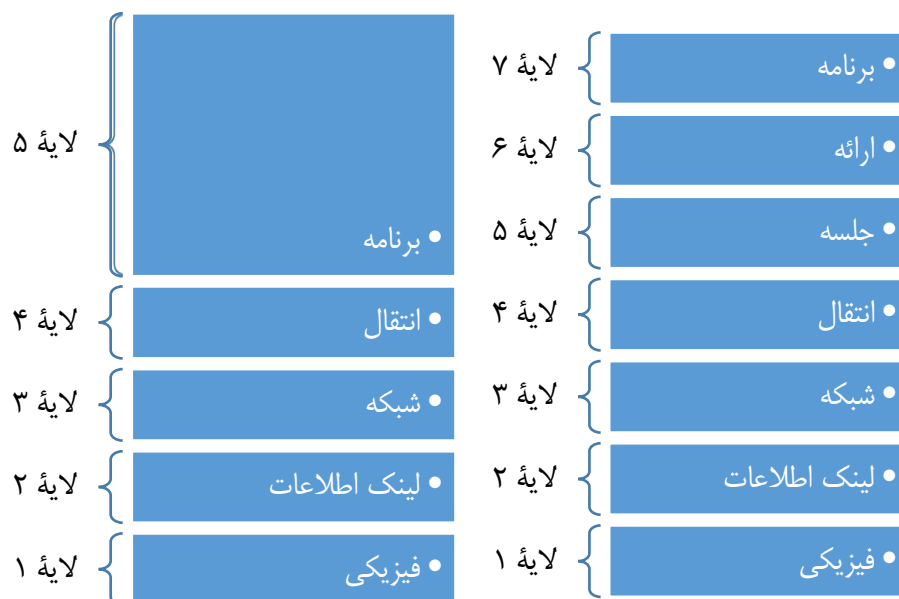
۱) لایه ارائه: نمایش داده‌ها و رمزگذاری

۲) لایه جلسه: ایجاد جلسه، مدیریت و بازیابی

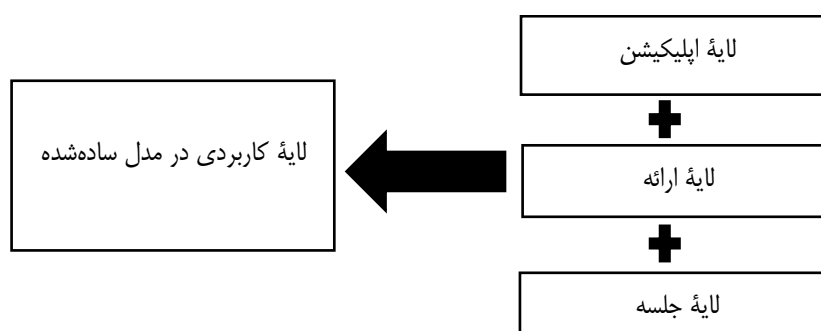
^۱. International organization of Standardization (IOS)

^۲. Open System Interconnection (OSI)

^۳. Protocol Data Unit (PDU)



شکل ۴-۸- مدل اتصال داخلی سامانه سازمان بین‌المللی استاندارد و مدل اتصال داخلی سامانه سازمان بین‌المللی استاندارد ساده‌شده



شکل ۴-۹- لایه کاربردی ادغام‌شده در مدل اتصال داخلی سامانه سازمان بین‌المللی استاندارد ساده‌شده

۲) لایه انتقال

عملکرد لایه انتقال این است که یک آدرس را به فرآیندهای مختلفی که در لایه برنامه اجرا می‌شود برچسب‌گذاری کند. دو پروتکل رایج در لایه انتقال عبارت‌اند از:

۱) پروتکل کنترل انتقال یا پروتکل اینترنت^۱

۲) پروتکل دیتاگرام کاربر^۲

هر دو پروتکل مزایا و معایبی دارند. به این ترتیب خطراتی در مورد به‌تربودن یکی از دیگری مطرح شده است.

این پروتکل‌ها با توجه به موضوع خاصی استفاده می‌شوند که باید همراه با محدودیت‌های دیگر در سامانه اینترنت اشیا، مانند نیاز به دسته‌بندی شدن داده‌ها (زمانی که داده‌ها زیاد هستند) تأیید داده‌ها، نحوه انتقال داده استفاده‌شده در سامانه، انرژی موجود، تأخیر موردنیاز، امنیت و غیره مورد استفاده قرار گیرند [۳۶].

۳) لایه شبکه

عملکرد لایه شبکه در مسیریابی است که با استفاده از دو پروتکل اینترنت رایج انجام می‌شود: آی‌پی‌وی۴ و آی‌پی‌وی۶. آی‌پی‌وی۶ آخرین نسخه است و نسبت به آی‌پی‌وی۴ مزایایی دارد. به‌منظور انتقال یک پروتکل کنترل انتقال، باید یک منبع و همچنین یک آدرس مقصد وجود داشته باشد که به آن پیوند داده شده باشد؛ زیرا به فرآیند مسیریابی کمک می‌کند.

به زبان ساده، می‌توانیم آدرس آی‌پی^۵ را با آدرس فرستنده و گیرنده در یک سامانه پست معمولی مقایسه کنیم.

آی‌پی‌وی۴: معمولاً دارای اندازه آدرس ۳۲ بیتی است.

در نماد اعشاری نقطه‌چین نشان داده شده است.

مثال: ۱۶۹,۱۴۹,۴۲,۳۴

آی‌پی‌وی۶: دارای اندازه آدرس ۱۲۸ بیتی است که معمولاً با نشان a نشان داده می‌شود.

مثال: d:8d13:9d8b:12e:1328:943a۲۴۰۵:۲۰۵:۸

^۱. Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)

^۲. User Datagram Protocol (UDP/IP)

^۳. IPv4

^۴. IPv6

^۵. IP

۴) لایه پیوند داده

وظیفه اصلی لایه پیوند داده، شناسایی رابط‌های گره و تنظیم دسترسی به رسانه است. دو روش اصلی در لایه پیوند داده استفاده می‌شود که در زیر به آن اشاره شده است:

- دسترسی چندگانه حس حامل^۱
- دسترسی چندگانه تقسیم زمانی^۲ به دست آمده از شبکه‌های تلفن

۵) لایه فیزیکی

در این کتاب، شرح مفصل و اساسی از لایه فیزیکی مدل ISO/PSI الزامی است؛ زیرا مسئول انتقال در رسانه است. هنگام پرداختن به وضعیت عملی اینترنت اشیا در کشاورزی، کاربر باید از عملکرد و ویژگی‌های حالت‌های مختلف انتقال داده در این لایه آگاه باشد. معمولاً یک برنامه اینترنت اشیا از بخش‌های خاصی از طیف الکترومغناطیسی استفاده می‌کند که به آن «باند فرکانس» گفته می‌شود. برای انتقال، از یک باند فرکانسی خاص استفاده می‌شود تا با هیچ انتقال دیگری تغییر یا تداخل نداشته باشد؛ زیرا دو باند فرکانسی مختلف می‌توانند به‌طور هم‌زمان کار کنند و دو ارسال در یک باند فرکانسی در یک‌زمان امکان‌پذیر نیست.

به‌منظور حفظ تعادل و جلوگیری از هرگونه درگیری فنی، دولت تخصیص طیف الکترومغناطیسی را تنظیم کرد. باندهای فرکانسی که دولت برای هر سازمان خاصی صادر می‌کند، باندهای مجاز نامیده می‌شوند که معمولاً ارائه‌دهندگان شبکه تلفن همراه هستند. باندهای باقیمانده را می‌توان بنا به صلاحدید با توجه به شرایط زیر استفاده کرد:

- انتقال قدرت تابشی $P <$

- انتقال قدرت تابشی $\frac{n(PDU)}{TIME} <$

این باندهای فرکانسی به‌عنوان «باندهای بدون مجوز» شناخته می‌شوند که می‌توانند هر شکافی را در طیف الکترومغناطیسی اشغال کنند و معمولاً در شبکه‌های محلی^۳ و شبکه شخصی^۴ استفاده می‌شوند. فرکانس ماهیت و رفتار سیگنال را تعیین می‌کند. در برخی از انتقالات، مانند وای‌فای که فرکانس آن ۲٫۴ گیگاهرتز یا ۵ گیگاهرتز است، فرستنده و گیرنده باید در خط‌دید مستقیم^۵ باشند. هر چه فرکانس بالاتر باشد، ظرفیت انتقال داده بیشتر از سیگنال است.

^۱. Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

^۲. Time Division Multiple Access (TDMA)

^۳. Local Area Network (LAN)

^۴. Personal Area Network (PAN)

^۵. Line of Sight (LOS)

پروتکل‌های مختلف مدباس در زیر آورده شده است [۴۵]:

- کنترل واحد پایانی مدباس^۱
- کد استاندارد آمریکایی برای تبادل اطلاعات مدباس^۲
- مدباس پیشرفته (مدباس+ مگا بایت+ شبکه مدباس پیشرفته)
- مدباس یا پروتکل کنترل انتقال مدباس
- مدباس پروتکل کنترل انتقال بالا یا مدباس واحد کنترل پایانی
- مدباس پروتکل دیتاگرم کاربر^۳

(۲) ارتباطات حوزه نزدیک^۴:

نوعی فناوری شناسایی فرکانس رادیویی است. ارتباطات حوزه نزدیک، دستگاه‌ها را قادر می‌سازد تا در مجاورت چهارسانی متری با هم ارتباط برقرار کنند.

(۳) بلوتوث

بلوتوث یک استاندارد فناوری بی‌سیم است که برای تبادل داده در فواصل کوتاه استفاده می‌شود [۴۸-۵۰].

نسخه‌های بلوتوث: همه این فناوری‌ها با نسخه‌های قبلی سازگار هستند. برخی از نسخه‌های مهم بلوتوث عبارت‌اند از:

- بلوتوث ایکس.۱۵
- بلوتوث ایکس.۶۲
- بلوتوث نسل ۳،۰
- بلوتوث نسل ۴،۰
- بلوتوث ایکس.۵

^۱. Modbus Remote Terminal Unit (RTU)

^۲. Modbus American Standard Code for Information Interchange (ASCII)

^۳. Modbus over User Datagram Protocol (UDP)

^۴. Near-Field Communication (NFC)

^۵. Bluetooth 1.x

^۶. Bluetooth 2.x

^۷. Bluetooth 3.0

^۸. Bluetooth 4.0

^۹. Bluetooth 5.x

- (۴) مؤسسه مهندسين برق و الكترونيك ۸۰۲,۱۵,۴ استاندارد مؤسسه مهندسين برق و الكترونيك ۸۰۲,۱۵,۴ از لايه‌های پیوند فیزیکی و داده‌ای برای شبکه‌های شخصی بی‌سیم با نرخ پایین^۱ تشکیل شده است [۵۱].
- (۵) زیگ‌بی یک استاندارد شبکه برای اتصال بی‌سیم است که تحت توان کم و نرخ داده کم استفاده می‌شود که در شبکه‌های شخصی (محدوده نزدیک) مطلوب است و بر اساس استاندارد مؤسسه مهندسين برق و الكترونيك ۸۰۲,۱۵,۴ است [۵۲-۵۵].
- (۶) زیگ‌بی آی‌پی^۲ زیگ‌بی آی‌پی یک نوع شبکه بی‌سیم است که تحت پروتکل آی‌پی‌وی ۶ کار می‌کند و اتصال نرمی را برای دستگاه‌های اقتصادی کم‌مصرف فراهم می‌کند. این شبکه اولین استاندارد باز بود که در آی‌پی‌وی ۶ برای یک شبکه بی‌سیم کار می‌کرد [۵۶].
- (۷) وایرلس هارت^۳ پروتکل ارتباطی مبدل از راه دور قابل آدرس‌دهی به بزرگراه هارت، یک پروتکل باز اتوماسیون صنعتی ترکیبی «آنالوگ و دیجیتال» است. وایرلس هارت نوعی مبدل هارت با اتصال بی‌سیم است [۵۷].
- (۸) انجمن بین‌المللی خودکارسازی ۱۱,۱۰۰,۴۱ انجمن بین‌المللی خودکارسازی ۱۱,۱۰۰,۴۱ هنگام در نظر گرفتن ویژگی کنترل فرآیند، انجمن بین‌المللی خودکارسازی ۱۱,۱۰۰,۴۱ جایگزینی برای وایرلس هارت است. این فرآیند را انجمن بین‌المللی اتوماسیون^۵ ایجاد کرد [۵۷].
- (۹) وای‌فای (خانواده مؤسسه مهندسين برق و الكترونيك ۸۰۲,۱۱) وای‌فای متعلق به خانواده مؤسسه برق و الكترونيك ۸۰۲ است که پروتکل‌های شبکه محلی را در لایه فیزیکی و لایه پیوند داده، مدل اتصال داخلی سامانه سازمان بین‌المللی استاندارد ساده‌شده را برای شبکه محلی بی‌سیم^۶ ارائه می‌دهد. عمدتاً با باندهای ۲,۴ گیگاهرتز و ۵ گیگاهرتز کار می‌کند؛ اما می‌تواند در برخی از باندهای فرکانسی دیگر نیز کار کند [۵۸ و ۵۹].

^۱. Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN)

^۲. Zigbee IP

^۳. WirelessHART

^۴. ISA100.11a

^۵. International Society of Automation (ISA)

^۶. Wireless Local Area Network (WLAN)

۱۰) لوراوان^۱ (شبکه‌های گسترده کم‌مصرف) لوراوان اغلب در سامانه‌های کشاورزی اینترنت اشیا به‌دلیل پوشش گسترده آن در ایجاد شبکه‌های کم‌مصرف استفاده می‌شود. لورا^۲ نامی است که به لایه فیزیکی آن داده شده است [۶۴-۶۰].

۱۱) ۶ لوپن^۳ (شبکه‌های شخصی کم‌مصرف بی‌سیم^۴) ۶ لوپن، لوپنی است که دارای پروتکل‌های آی‌پی‌وی ۶ است. بنابراین، این شبکه یک شبکه شخصی کم‌مصرف بی‌سیم است که روی آی‌پی‌وی ۶ کار می‌کند [۶۷-۶۵].

۱۲) موج_زد^۵ موج_زد با انتشار امواج رادیویی کم‌انرژی در یک شبکه برای ارتباط دستگاه به دستگاه همراه با کنترل بی‌سیم آن کار می‌کند [۶۸].

۱۳) ارتباطات بی‌سیم نوری^۶ [۶۹] انتقال سیگنال با کمک نور هدایت‌نشده (مناطق مرئی، یووی و مادون قرمز) صورت می‌گیرد. ارتباطات نور مرئی نوعی از ارتباطات بی‌سیم نوری است که در آن از ناحیه مرئی طیف برای حمل سیگنال استفاده می‌شود [۷۰ و ۷۱].

۱۴) تردید^۷ تردید یک پروتکل شبکه‌ای برای دستگاه‌های اینترنت اشیا کم‌مصرف، جاسازی شده و تجاری است که از آی‌پی‌وی ۶ استفاده می‌کنند. در ابتدا، هدف آن جلوگیری از شکست تک‌نقطه‌ای در شبکه بود [۷۲].

۱۵) استاندارد شبکه سلولی دستگاه‌های متعددی وجود دارند که در هنگام استفاده از امواج رادیویی برای انتشار سیگنال روی مکانیسم‌های بی‌سیم کار می‌کنند. نمونه‌ای از آن تلفن‌های همراه است. این دستگاه‌ها می‌توانند سیگنال را از بسیاری از ایستگاه‌های پایه شبکه سلولی دریافت کنند.

- نسل دوم (فناوری سلولی) [۷۳]
- نسل سوم (فناوری ارتباطات سیار بی‌سیم) [۷۴]
- نسل چهارم (فناوری شبکه سلولی پهن باند) [۷۵]

^۱. Low Power Wide Area Networking (LPWAN)

^۲. LoRa

^۳. 6LoWPAN

^۴. Low-Power Wireless Personal Area Networks

^۵. Z-Wave

^۶. Optical Wireless Communications (OWCs)

^۷. Thread

- (فناوری سلولی اینترنت اشیا باند باریک) [۶۰ و ۷۶]: این یک استاندارد فناوری رادیویی شبکه گسترده و کم‌قدرت است که آن را پروژه مشارکتی نسل سوم^۱ توسعه داد.
- LTE Cat M1.
- نسل پنجم آخرین نسل ارتباطات تلفن همراه است [۷۷].

۴-۴- ویژگی‌های اینترنت اشیا

مشخصات زیر براساس استانداردهای مخابراتی اتحادیه بین‌المللی مخابرات [۷۸] و سازمان بین‌المللی استاندارد کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیکی ۱-۲۹۱۸۲ است:

- (۱) قابلیت اتصال به یکدیگر
- مهم‌ترین ویژگی اینترنت اشیا این است که باید توانایی اتصال هر چیزی را به اطلاعات جهانی و زیرساخت ارتباطی داشته باشد.
- (۲) خدمات مرتبط با اشیا
- اینترنت اشیا باید توانایی ارائه حریم خصوصی و ثبات معنایی در خدمات مرتبط با اشیا را داشته باشد.
- (۳) ناهمگونی
- این ویژگی اینترنت اشیا، انواع مختلفی از دستگاه‌ها را علی‌رغم داشتن پروتکل‌ها و پلتفرم‌های سخت‌افزاری و شبکه‌ای مختلف برای برقراری ارتباط متقابل می‌سازد. این دستگاه‌ها همچنین می‌توانند به یک پلتفرم خدماتی که متعلق به یک شبکه خارجی است متصل شوند.
- (۴) تغییرات پویا
- این ویژگی به انعطاف‌پذیری دستگاه در تغییر عملکرد آن با توجه به محیط اشاره دارد. این تغییرات می‌تواند با توجه به مکان و زمان کار باشد [۷۹]; همچنین می‌تواند به تعداد دستگاه‌های فعال باشد.
- (۵) مقیاس عظیم
- ممکن است تعداد زیادی دستگاه متصل به اینترنت اشیا وجود داشته باشد که داده‌های انبوهی تولید می‌کنند و نیاز به مدیریت و پردازش بیشتر برای برنامه‌ها دارند.

¹. 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

- (۶) جمع‌آوری و پردازش داده‌ها به‌وسیله اشیا
دستگاه‌های اینترنت اشیا داده‌های جمع‌آوری‌شده را پیش‌پردازش می‌کنند. علاوه‌براین، خدمات به‌طور مستقیم از خود دستگاه یا از طریق یک ارائه‌دهنده خدمات ارائه می‌شود. بدیهی است که فناوری شبکه حسگر یکی از توانمندسازهای کلیدی برای خدمات اینترنت اشیا است.
- (۷) پردازش داده‌های مشترک
یکی از ویژگی‌های مهم یک سامانه اینترنت اشیا، توانایی حل یک مشکل پیچیده با همکاری بسیاری از «اشیا» در سامانه است. داده‌های جمع‌آوری‌شده را می‌توان در همان دستگاه یا از طریق دستگاه دیگری در سامانه از قبل پردازش کرد. اطلاعات خاصی را می‌توان از پیش‌پردازش به‌دست آورد و ممکن است بین دستگاه‌های مختلف به اشتراک گذاشته شود. در مرحله بعد، ترکیب داده‌ها برای به‌دست آوردن بینش‌های ارزشمند موردنیاز باشد.
- (۸) عملکرد بدون نیاز به تعمیر و نگهداری
ممکن است لازم باشد که سامانه اینترنت اشیا بدون دخالت انسان برای مدت طولانی کار کند. براین‌اساس، دستگاه اینترنت اشیا یا باید بدون نیاز به تعمیر و نگهداری باشد، یا قابلیت نگهداری از راه‌دور داشته باشد.
- (۹) خودسازگاری
دستگاه‌های موجود در سامانه اینترنت اشیا باید هوشمند باشند تا بتوانند تغییرات در شرایط عملیاتی را تنظیم کنند و همچنین بتوانند مدیریت و عملکرد منابع را بهینه کنند.
- (۱۰) بهره‌وری انرژی و طول عمر عملیاتی
برای این‌که یک دستگاه بیشتر کار کند، مصرف انرژی دستگاه باید به‌طور مؤثر مدیریت شود. از این‌رو، ابزارها و فناوری‌های برداشت انرژی، طول عمر دستگاه‌ها را افزایش می‌دهند.
- (۱۱) دامنه‌های کاربردی
برخی از دامنه‌های کاربردی اینترنت اشیا در جدول زیر آورده شده است. همچنین لازم به ذکر است که دامنه‌ها می‌توانند با یک سامانه اینترنت اشیا ترکیبی کار کنند.
- (۱۲) فراگیری
در دسترس بودن و دسترسی به اطلاعات در هر زمان و هر مکان از طریق دستگاه‌های اینترنت اشیا متصل به شبکه امکان‌پذیر است. این مشخصه، امکان افزودن دستگاه‌های مختلف را بهبود می‌بخشد [۷۹].

۱۳) قابلیت همکاری

توانایی پشتیبانی از انواع مختلف استانداردها و پروتکلها به منظور عملکرد کامل یک سامانه اینترنت اشیا، یکی از ویژگیهای اصلی آن است.

۱۴) سنجش و فعال سازی

اصلی ترین ویژگی اینترنت اشیا است که علاوه بر نظارت بر دستگاه، پارامترهای مختلف در محیط خارجی اطراف دستگاه را شناسایی می کند. همچنین، فعال کردن دستگاهها بسیار نگران کننده است که به کار و سازگاری کمک می کند [۷۹].

جدول ۴-۴ - چند نمونه از دامنه های کاربردی اینترنت اشیا [۷۸]

دامنه ها	توضیحات	مثال ها
صنعت	فعالیت های مربوط به معاملات مالی یا تجاری بین شرکت ها، سازمان ها و سایر نهادها؛ شامل تجارت به تجارت و تجارت به مشتریان می شود	تولید، تدارکات، بخش خدمات، بانکداری، مقامات مالی دولتی، واسطه ها و غیره.
محیط	فعالیت های مربوط به حفاظت، نظارت و توسعه همه منابع طبیعی	کشاورزی و اصلاح نژاد، بازیافت، خدمات مدیریت زیست محیطی، مدیریت انرژی و غیره.
جامعه	فعالیت ها یا ابتکارات در رابطه با توسعه و شمول جوامع، شهرها و مردم	خدمات دولتی به شهروندان و سایر ساختارهای اجتماعی (مشارکت)، شمول الکترونیکی (مانند سالنندان و افراد ناتوان)، حمل و نقل عمومی و غیره. نظارت بر سلامت برای خود (وزن، ساعات خواب و غیره)، مراقبت از تغذیه با نظارت بر رژیم غذایی اعضای خانواده با استفاده از پایگاه داده ابری

۴-۴-۱- پلتفرم های مختلف اینترنت اشیا برای کشاورزی هوشمند

- فارم بیتس^۱

فارم بیتس یک پلتفرم اینترنت اشیای گسترده برای کشاورزی است که جمع آوری یکپارچه داده ها را از حسگرها، دوربین ها و هواپیماهای مختلف بدون سرنشین، امکان پذیر می کند [۸۰]. فارم بیتس یک پلتفرم اینترنت اشیای کم هزینه و دردسترس برای کشاورزی است؛ از حسگرهای پهنای باند بالا با استفاده از فضای سفید تلویزیون^۲ پشتیبانی می کند که یک فناوری کم هزینه و دوربرد است. فارم بیتس از یک ایستگاه پایه

^۱. FarmBeats

^۲. TV White Space (TVWS)

اینترنت اشیا با انرژی خورشیدی آگاه به آب و هوا و یک دروازه هوشمند استفاده می‌کند که تضمین می‌کند خدمات هم در فضای ابری و هم در حالت آفلاین در دسترس باشند؛ همچنین از الگوریتم‌های جدید برنامه‌ریزی مسیر استفاده می‌کند که عمر باتری پهپاد را افزایش می‌دهد. فارمیتس یک پلتفرم اینترنت اشیا است که اهداف را در یک محیط بسیار متغیر و با محدودیت منابع برآورده می‌کند.

– اسمارت فارمنت^۱

اسمارت فارمنت یک پلتفرم اینترنت اشیا برای برنامه‌های کشاورزی هوشمند است که امکان یکپارچه‌سازی و تقریباً استفاده از هر دستگاه اینترنت اشیا، از جمله حسگرهای تجاری، دوربین‌ها، ایستگاه‌های هواشناسی و غیره را فراهم می‌کند (همچنین به عنوان «اصل حسگر اینترنت اشیا» نیز شناخته می‌شود) [۸۱]. این امر هزینه‌های نصب و نگهداری حسگر را کاهش می‌دهد؛ درحالی‌که ارتقای آسان به حسگرهای جدیدتر و پیشرفته‌تر را فراهم می‌کند و از تجزیه و تحلیل داده‌های مقیاس‌پذیر که می‌تواند به‌طور مداوم داده‌های با حجم بالای عملکرد محصول را پردازش کند، پشتیبانی می‌کند. این پلتفرم همچنین ابزارهایی را ارائه می‌دهد که به بیولوژیست‌های گیاهی و کشاورزان و پرورش‌دهندگان اجازه می‌دهد داده‌های عملکرد گیاه را تجزیه و تحلیل و تجسم کنند.

– اسمارت فارمنت را یک تیم چندرشته‌ای استرالیایی که شامل زیست‌شناسان محصولات کشاورزی، دانشمندان کامپیوتر، پرورش‌دهندگان و کشاورزان بود، توسعه دادند. اسمارت فارمنت از نظر تعداد حسگرهای متصل، محصولات ارزیابی‌شده و کاربرانی که از آن پشتیبانی می‌کنند، بزرگ‌ترین سامانه در جهان است که تجزیه و تحلیل عملکرد محصول و توصیه‌هایی را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، اسمارت فارمنت ابزارهایی را برای داده‌های سریع و مقیاس‌پذیر فراهم می‌کند که می‌تواند با سرعت بسیار زیاد تولید داده (یعنی کلان‌داده) که از صدها هزار حسگر اینترنت اشیا تولید می‌شود، مقابله کند.

– اینفیسویفت^۲

پلتفرم اینترنت اشیا اینفیسویست یک موتور نرم‌افزار تحلیلی و اتصال ابری نوآورانه را با معماری قوی اینتل^۳ ترکیب می‌کند.

^۱. SmartFarmNet

^۲. Infiswift

^۳. Intel

– دتینگز.آی او^۱

این پلتفرم برای فعال سازی اپلیکیشن اینترنت اشیا است که اتصال سریع و مقیاس پذیر اشیا را به اینترنت با پروتکل های متعدد، داشبوردهای زیبا و رابط های برنامه نویسی کاربردی^۲ قوی امکان پذیر می سازد [۸۲].

– رزبری پای^۳

رزبری پای اخیراً به عنوان پلتفرم منتخب اینترنت اشیا ظاهر شده است. رزبری پای کامپیوتری نسبتاً مقرون به صرفه تر است که روی لینوکس اجرا می شود؛ اما مجموعه ای از پین های ورودی یا خروجی عمومی^۴ را نیز ارائه می کند که به کاربر اجازه می دهد اجزای الکترونیکی را برای محاسبات فیزیکی کنترل کند و اینترنت اشیا را با طیف وسیعی از گزینه های اتصال تا ۸ گیگابایت حافظه، ذخیره سازی و کشف کند [۸۳ و ۸۴]. در مقایسه، این برد قدرتمندتر و سریع تر از سایر بردهای اینترنت اشیا است و می تواند عملکردهای پیچیده ای از جمله جریان صوتی و تصویری با حجم بالا را انجام دهد. این پلتفرم در یک اکوسیستم منبع باز عمل می کند؛ زیرا برد سخت افزار منبع بسته مقرون به صرفه ای است [۸۴] که با توجه به درخواست اضافه شدن هزاران پروژه اینترنت اشیا قبل از متصل شدن به آن، از حمایت جامعه عظیمی برخوردار شده است و می تواند سیستم عامل های زیادی را اجرا کند، مانند راسپبین^۵ (راسپبین منبع باز است و مجموعه ای از نرم افزارهای منبع باز یا دبیان^۶ لینوکس^۷ را اجرا می کند)، اندروید^۸، ویندوز^۹، هسته اینترنت اشیا^{۱۰} و غیره مدل های مختلفی دارد که تحت هر یک از خانواده های زیر طبقه بندی می شوند [۸۵]: رزبری پای، رزبری پای ۲، رزبری پای ۰، رزبری پای ۳ و رزبری پای ۴.

^۱. The things.iO

^۲. Application Programming Interface (API)

^۳. Raspberry Pi

^۴. General Purpose Input or Output (GPIO)

^۵. Raspbian

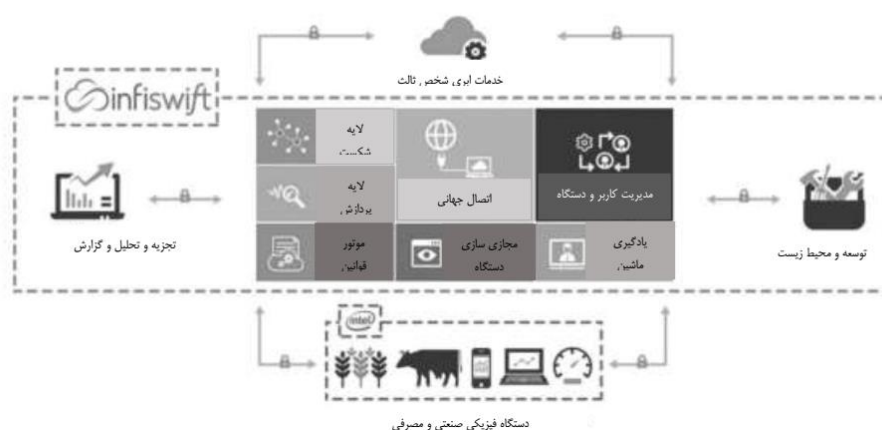
^۶. Debian

^۷. Linux

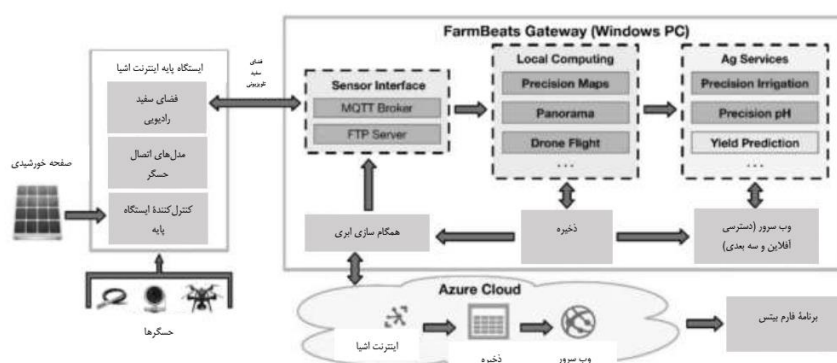
^۸. Android

^۹. Windows 10

^{۱۰}. IoT Core



شکل ۴-۱۰- نمای کلی سامانه فارم بیت [۸۰]



شکل ۴-۱۱- اینفیسویفت محصولات فیزیکی را به یکدیگر و ابر متصل می‌کند تا صنعت کشاورزی را قادر سازد داده‌های مربوطه را جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و عملی کند.



شکل ۴-۱۲- توابع سینگر. آی او [۸۲]



شکل ۴-۱۳- رزبری پای ۳ مدل یک [۸۳]

– خدمات وب آمازون^۱

آمازون با خدمات اینترنت اشیا وب آمازون، راه‌حلی مدیریت‌شده و مبتنی بر ابر ارائه می‌دهد. پلتفرم‌ها و نرم‌افزارها همگی به‌عنوان یک سرویس، با قابلیت مقیاس‌بندی و استفاده از ابزار تحلیلی آن روی داده‌های اینترنت اشیا ارائه می‌شوند [۸۶]. خدمات وب آمازون دارای خدمات اینترنت اشیا گسترده و عمیق است که از لبه تا ابر را شامل می‌شود. فروشنده ابر اینترنت اشیا خدمات وب آمازون مدیریت داده و تجزیه و تحلیل غنی را در سرویس‌هایی با کاربری آسان که برای داده‌های اینترنت اشیا با نويز قابل توجه طراحی شده‌اند، گرد هم می‌آورد؛ همچنین دارای ویژگی‌های امنیتی

^۱. Amazon Web Services (AWS)

چندلایه مانند رمزگذاری و کنترل دسترسی به داده‌های دستگاه و همچنین سرویسی برای نظارت و بازرسی مداوم پیکربندی‌ها است.

– آردینو^۱

آردوینو برای مدت طولانی با کشاورزی مرتبط بوده است. آردوینو یک پلتفرم سخت‌افزاری منبع باز است که از مجموعه بردهای الکترونیکی مجهز به یک میکروکنترلر، تشکیل شده است [۸۷]. آردوینو یک پلتفرم اینترنت اشیا با کاربری ساده است که دارای ترکیبی مناسب از سخت‌افزار و نرم‌افزار اینترنت اشیا است و از طریق مجموعه‌ای از مشخصات سخت‌افزاری عمل می‌کند که می‌توان آن‌ها را در الکترونیک تعاملی به کار برد. نرم‌افزار آردوینو در پلان زبان برنامه‌نویسی آردوینو و محیط توسعه یکپارچه^۲ برای برنامه‌نویسی میکروکنترلر ظاهر می‌شود. محیط توسعه یکپارچه تخصصی^۳ که اخیراً منتشر شده نسبتاً راحت‌تر است و کدنویسی سریع‌تری را امکان‌پذیر می‌کند [۸۸]. همه نرم‌افزارهای ارائه‌شده رایگان هستند و نمودارهای مدار به‌عنوان سخت‌افزار رایگان توزیع می‌شوند [۱].

– کآ^۴

پلتفرم اینترنت اشیا کآ، یک فناوری فعال‌سازی اینترنت اشیا در سطح سازمانی است که اجازه می‌دهد با خیال راحت وارد حوزه اینترنت اشیا کشاورزی شوید [۹۰]. با به هم پیوستن حسگرهای مختلف، دستگاه‌های متصل و امکانات کشاورزی، کآ توسعه سامانه‌های کشاورزی هوشمند را ساده می‌کند و حداکثر انعطاف‌پذیری را برای طراحی ساختار سفارشی فراهم می‌کند. کآ برای محصولات کشاورزی هوشمند تک‌منظوره مانند دستگاه‌های اندازه‌گیری هوشمند، ردیاب‌های دام یا سامانه‌های پیش‌بینی خرابی و همچنین برای راه‌حل‌های چنددستگاه کاملاً قابل استفاده است از جمله آن‌ها می‌توان به نقشه‌برداری منابع و راه‌حل‌های تجزیه و تحلیل محصولات کشاورزی اشاره کرد. کآ روی یک ساختار میکروسرویس ماژولار ساخته شده است که امکان هرگونه اصلاح، توسعه یا ادغام لازم را فراهم می‌کند.

^۱. Arduino

^۲. Integrated Development Environment (IDE)

^۳. Pro IDE

^۴. Kaa

۴-۲-۴- سخت افزار

پس از توسعه قابل توجهی در زمینه اینترنت اشیا، در حال حاضر، اجزای سخت افزاری متعددی از اینترنت اشیا وجود دارد که به نمونه سازی کمک می کند و قادر به انجام سطوح مختلف عملکرد مانند بردهای توسعه است، برای مثال [۹۱]:

- آردینو
- بیگل برد^۱
- پینوکیو^۲
- رزبری پای
- کوبی برد^۳



شکل ۴-۱۴- آردینو نانو ۳۳ اینترنت اشیا [۸۹]

اجزای ساختاری این بردهای توسعه به شرح زیر است:

(۱) میکروکنترلرها^۴:

میکروکنترلرها واحدهای پردازشی دستگاه اند و به عنوان فضای ذخیره سازی عمل می کنند؛ همچنین مدارهای مجتمع^۵ هستند که شامل یک پردازنده، حافظه خواندنی رام^۶ و حافظه

^۱. Beagle Board

^۲. Pinoccio

^۳. Cubie Board

^۴. Microcontroller (MCU)

^۵. Integrated Circuits (IC)

^۶. Read-Only Memory (ROM)

با دسترسی تصادفی^۱ هستند. به عنوان مثال می توان به آرم^۲، اینتل^۳، برودکام^۴ و غیره اشاره کرد.

(۲) ورودی یا خروجی عمومی

پین ها: تعدادی پین ورودی و خروجی عمومی وجود دارد که هم دیجیتال و هم آنالوگ کار می کنند.

ترکیب ماژولار بردهای توسعه مختلف به ارتباطات، تشکیل حسگرهای جدید، محرک های جدید و موارد دیگر به پیش برد دستگاه اینترنت اشیا کمک می کند. انواع زیادی از حسگرها وجود دارد که در اینترنت اشیا استفاده می شود. به عنوان مثال می توان به حسگرهای اندازه گیری بازی و قلیایت^۵، حسگرهای جریان هوا، پتانسیومترها، حسگرهای مجاورت، حسگرهای رطوبت خاک، حسگرهای مادون قرمز، حسگرهای لرزش، حسگرهای زیستی و غیره اشاره کرد. حسگرها معمولاً به میکروکنترلر متصل می شوند که در آن عملیات دستگاه اینترنت اشیا انجام می شود.

۴-۳-سیستم های عامل

در یک سامانه اینترنت اشیا، ممکن است یک «شیء» به هیچ سیستم عاملی نیاز نداشته باشد؛ درحالی که برخی ممکن است بسته به کارآیی، امنیت و هدفی که باید ارائه شود، به یک سیستم عامل بلادرنگ^۶ نیاز داشته باشند. سیستم عامل زمان واقعی مدیریت فرآیند و حافظه را پیاده سازی می کند و از خدمات مختلف پشتیبانی می کند [۹۱].

هنگامی که باید یک سامانه اینترنت اشیا نصب شود، بررسی کاملی در مورد تمام اجزا انجام می شود و انتخاب تنها پس از اطمینان از مطابقت آن ها با معیارهای لازم انجام می شود. باین حال، اطلاعات دقیق در مورد سیستم عامل در اینترنت اشیا خارج از محدوده این کتاب است.

دانش اولیه سیستم عامل هایی که در اینترنت اشیا کشاورزی استفاده می شوند ضروری است؛ زیرا این امر کاربر را در انتخاب سامانه مناسبی که به بهترین وجه در خدمت هدف است، تسهیل می کند. در برخی موارد، امنیت از اهمیت بالایی برخوردار است، بنابراین سیستم عامل مورد استفاده باید از ساختار امنیتی بالایی برخوردار باشد و دستگاه های مربوطه باید از این سطح امنیتی پشتیبانی کنند. نمونه هایی از این سیستم عامل های زمان واقعی عبارت اند از کونتیکی^۷، اشیا

¹. Random-Access Memory (RAM)

². ARM

³. Intel

⁴. Broadcom

⁵. pH

⁶. Real-Time Operating System (RTOS)

⁷. Contiki

اندروید^۱، اینترنت اشیا آر^۲، آپاچی ماینو^۳، هواوی لایت اواس^۴، زفیر^۵، اسنپی^۶، تینی اواس^۷، فوشیا^۸، اینترنت اشیا ویندوز^۹، تایزن آر تی^{۱۰}، راسپین، سیستم عامل زمان واقعی رایگان آمازون^{۱۱}، لینوکس جاسازی شده^{۱۲}، سیستم عامل امبد^{۱۳} و غیره.

امنیت و حفظ حریم خصوصی از اهمیت بالایی برخوردار هستند؛ زیرا برای یک سیستم عامل بسیار نامناسب است که نقایص امنیتی داشته باشد یا اجازه هرگونه نقض حریم خصوصی را بدهد.

۴-۵- چالش‌های بین عملیاتی

اصطلاح «عملکرد متقابل» در اینترنت اشیا را می‌توان به عنوان نیاز یک سامانه اینترنت اشیا در نظر گرفت [۷۹]. از آنجایی که دهه اخیر شاهد یک پیشرفت تصاعدی در این زمینه بوده‌ایم، امروزه، به «عملکرد متقابل» به عنوان ویژگی یک اینترنت اشیا اشاره می‌شود که در خدمت انگیزه واقعی اینترنت اشیا برای اتصال هر «شیء» دیگری است. به دلیل قابلیت همکاری، اکنون می‌توان تعداد زیادی از دستگاه‌های متنوع را به هم متصل کرد و بینشان ارتباط برقرار کرد، بنابراین به بخشی کاربردی از اینترنت اشیا تبدیل شد. قابلیت همکاری انواع مختلف اجزای اینترنت اشیا امکان پذیر است. تعدادی از استانداردها و پروتکل‌ها در حال توسعه هستند و برای ایجاد تعامل بین دستگاه‌ها توسعه پیدا کرده‌اند. برای درک عمیق‌تر، قابلیت همکاری به‌طور کلی به سه‌نوع طبقه‌بندی شده است که در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است:

(۱) قابلیت همکاری فنی

این قابلیت به عنوان تطابق بین سخت افزار سامانه اینترنت اشیا با تمام «مؤلفه‌های نرم افزاری» آن شناخته می‌شود. به عبارت دیگر، نرم افزار باید به اندازه کافی انعطاف پذیر باشد تا طیف متنوعی از دستگاه‌های سخت افزاری را پشتیبانی کند و با آن‌ها سازگار باشد [۹۲].

¹. Android Things

². RIOT

³. Apache Mynewt

⁴. Huawei LightOS

⁵. Zephy

⁶. Snappy

⁷. TinyOS

⁸. Fuchsia

⁹. Windows IoT

¹⁰. TizenRT

¹¹. Amazon FreeRTOS

¹². Embedded Linux

¹³. Mbed OS

۲) قابلیت همکاری نحوی

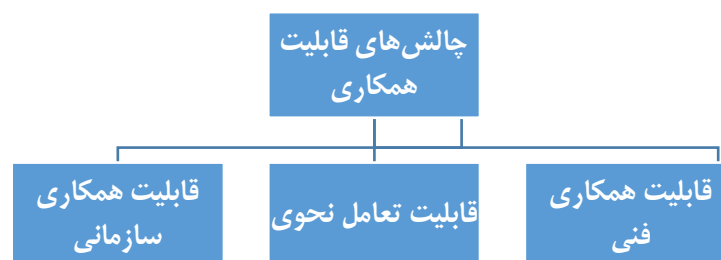
در یک شبکه اینترنت اشیا، برای ارتباط دستگاه‌ها، لازم است که پیام‌های دستگاه به دستگاه دارای یک الگوی تعریف‌شده باشند. نوع قالب پیام می‌تواند از جداول بیت تا زبان‌های سطح بالا مانند اچ‌تی‌ام‌ال^۱، ایکسام‌ال^۲، نمادگذاری شیء اسکریپت جاوا^۳ متغیرهای جداشده با کاما^۴ و تبادل الکترونیکی داده^۵ متغیر باشد [۹۲-۹۴].

۳) قابلیت همکاری سازمانی

زیرساخت جهانی اینترنت اشیا و سامانه بسیارپراکنده تنها به دلیل قابلیت سامانه‌های اینترنت اشیا برای برقراری ارتباط داده‌های ارزشمند و معنادار علی‌رغم برخی از سامانه‌های بسیار متغیر، امکان‌پذیر بوده‌است. اتصال باز برای رسیدگی به انواع چالش‌ها بهبود یافته‌است [۹۵-۹۷].

۴-۶- کاربردهای اینترنت اشیا در کشاورزی هوشمند

همان‌طور که قبلاً در فصل اول این کتاب ذکر شد، تقاضای فزاینده‌ای برای غذا و نیاز به تغذیه جمعیت عظیم جهان وجود دارد و اینترنت اشیا تا به امروز ثابت کرده‌است که بهترین راه‌حل است. اینترنت اشیا راه‌حلی برای تعداد زیادی از مشکلات است که بدون آن نمی‌توان حل کرد. موانع موجود در تولید محصولات کشاورزی ناشی از تغییرات محیطی را می‌توان با سازگاری سیستم‌های اینترنت اشیا کاهش داد. برخی از کاربردهای اخیر و رایج اینترنت اشیا در حوزه‌های خاص کشاورزی به شرح زیر است:



شکل ۴-۱۵- انواع قابلیت همکاری

^۱. HTML

^۲. XML

^۳. Java Script Object Notation (JSON)

^۴. Comma-Separated Variables (CSV)

^۵. Electronic Data Interchange (EDI)

۱) سامانه آبیاری قطره‌ای خودکار با انرژی خورشیدی

کشاورزی ۷۰ درصد مصرف آب در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد [۹۸ و ۹۹]. روش‌های مرسوم آبیاری در بررسی تلفات مزرعه ناکافی هستند. آبیاری زیاد و یا کمتر از نیاز گیاه، می‌تواند تأثیر منفی بر کشاورزی بگذارد.

اینترنت اشیا راه‌حلی برای کاهش هدررفت آب ارائه می‌دهد و درعین حال به تقویت فناوری نرخ متغیر^۱ برای کاربرد کود کمک می‌کند. در این سامانه از شبکه‌ای از حسگرهای مستقر در میدان به نام دستگاه‌های اینترنت اشیا برای تشخیص پارامترهای مختلف مزرعه استفاده می‌شود و این حسگرها از انرژی خورشیدی به‌عنوان منبع انرژی خود بهره می‌برند و درعین حال باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شوند. این سامانه با تعیین میزان رطوبت خاک، داده‌ها را به واحدهای پردازش سامانه اینترنت اشیا انتقال می‌دهد (واحدهای پردازش می‌توانند برای سامانه‌های مختلف اینترنت اشیا متفاوت باشند) و بنابراین آبیاری را دقیقاً در مزرعه انجام می‌دهد.

۲) پهپادهای کشاورزی

پهپادها از جمله اختراعات پیچیده‌ای هستند که کاربردهای مختلفی در حوزه‌های مختلف دارند [۱۰۰]. پهپادها، زمانی که در یک سامانه اینترنت اشیا کشاورزی ادغام شوند، هم در شیوه‌های سنتی و هم در شیوه‌های نوآورانه می‌توانند بسیار سودمند واقع شوند. پهپادها را می‌توان در سم‌پاشی دقیق، نظارت صحرائی، نظارت بر رشد محصول، بررسی خاک و زمین، تعیین محتوای کلروفیل، تعیین محتوای نیتروژن و تصاویر با کیفیت بالا برای تجزیه و تحلیل اهداف مختلف و غیره استفاده کرد. نظارت بر عملکرد محصول از داده‌های به‌دست‌آمده از هواپیماهای بدون سرنشین می‌تواند بیشتر پردازش و تجزیه و تحلیل شود تا بینش‌های مفیدی ارائه شود. فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ کارایی این پهپادها را در انجام عملیات کشاورزی دقیق افزایش می‌دهد.

۳) کشاورزی دقیق

مهم‌ترین کاربرد اینترنت اشیا، کشاورزی دقیق بوده‌است؛ زیرا اصول کشاورزی دقیق به واقعیت تبدیل شده است. کشاورزی دقیق در فصل ۱ این کتاب به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. با این حال، در این بخش، برخی از حوزه‌های پیاده‌سازی اینترنت اشیا برجسته شده‌اند. این امر مورد توجه صنایع و سازمان‌های معتبر در سراسر جهان قرار گرفته است. حجم قابل توجهی از تحقیقات در این زمینه در حال انجام است [۱۰۰].

^۱. Variable Rate Technology (VRT)

^۲. Geographic Information System (GIS)

در حال حاضر نصب و کار با اینترنت اشیا آسان است. اطلاعات موجود از طریق سرویس‌های ابری اینترنت اشیا آنقدر قانع‌کننده بوده‌است که از آن در هوش مصنوعی استفاده می‌شود. اینترنت اشیا نظارت در زمان واقعی را برای کشاورزان فعال کرده‌است و اکنون، کشاورز می‌تواند اطلاعات را دریافت کرده و از راه دور به این دستگاه‌ها دسترسی داشته باشد. سامانه‌های اینترنت اشیا از نظر اقتصادی در بازار موجود است و این روند نوظهور موفقیت کشاورزی دقیق را بیشتر افزایش داده‌است [۱۰۱].

۴) کشت هوشمند

کشت هوشمند توسط سامانه اینترنت اشیا که در یک زمینه خاص پیاده‌سازی شده است تقویت می‌شود؛ زیرا در یک مفهوم گسترده‌تر، سامانه پشتیبانی تصمیم^۱ را اینترنت اشیا [۱۰۰] تقویت می‌کند. در کشت، اینترنت اشیا با محاسبه مقدار کافی نیاز ورودی، هدررفت را به حداقل می‌رساند، مزرعه برداشت را می‌تواند نظارت کند و سامانه‌های هوشمند در اینترنت اشیا با کاهش تلاش‌های انسان به کشاورزان سود می‌رساند.

۵) تولید گلخانه

با فعال شدن اینترنت اشیا، کاستی‌های گلخانه‌ای تاحدزیادی کاهش یافته‌است [۱۰۱]. شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۲ قابل نصب در گلخانه می‌تواند شرایط محیطی را شناسایی کرده و این داده‌ها را به مکان ذخیره‌سازی منتقل کنند. پس از آن، تجزیه و تحلیل روی این داده‌ها با استفاده از ابزارهای پیچیده و مدل‌های تحلیلی بی‌شماری انجام می‌شود و نظارت آسان می‌شود. دسترسی از راه دور به عناصر مختلف مانند سامانه آبیاری، سامانه شدت نور، سامانه کنترل دما و غیره در حال حاضر امکان‌پذیر است. اکنون، یک کشاورز می‌تواند تعدادی از فرایندها را از طریق تلفن هوشمند مدیریت کند [۱۰۰].

۶) فعالیت‌های نظارتی

به منظور کسب پیشنهاد کارشناسی از کشاورزان، نظارت مستمر بر پارامترهای مختلف مزرعه و محصولات زراعی ضروری است [۱۰۱]. به صورت دستی نمی‌توان به این شکل بر امور نظارت کرد. براین اساس، اینترنت اشیا مزیتی را در نظارت بر تمام جنبه‌های کشاورزی فراهم می‌کند و این داده‌ها را در اختیار متخصص قرار می‌دهد تا توصیه‌های قابل اعتمادی برای کشاورز ارائه شود.

^۱. Decision Support System (DSS)

^۲. Wireless Sensor Networks (WSN)

پارامترهای اصلی کشاورزی که نیاز به نظارت دارند عبارت‌اند از:

• مدیریت کیفیت آب و آبیاری

یک سامانه آبیاری هوشمند برای کشاورزی هوشمند ضروری است. برای این منظور، داده‌های رطوبت و دمای خاک به‌طور مداوم به‌وسیله حسگرها تعیین می‌شود و به واحد پردازش منتقل می‌شود یا گاهی اوقات می‌توان آن را در خود حسگر پردازش کرد. نظارت بر کیفیت آب در زمان واقعی نیز با کمک همین سامانه اینترنت اشیا انجام می‌شود. از این‌رو، آبیاری و مدیریت کیفیت آب راحت‌تر می‌شود.

• پایش آب‌وهوا

آب‌وهوا نقش مهمی در عملکرد به‌دست آمده از محصولات دارد. بنابراین برای جلوگیری از هرگونه خسارت ناشی از آب‌وهوا، لازم است که هوا، دما، رطوبت، فشار، شدت نور، بارندگی، سرعت و جهت باد را به‌طور مستمر رصد شود تا براساس این داده‌ها پیش‌بینی انجام گیرد. در نتیجه یک کشاورز می‌تواند زمان مناسب را تعیین کند و هرگز با شرایط نامساعد محیطی مواجه نشود. شبکه‌های حسگر بی‌سیم یک انتخاب ارجح برای پایش آب‌وهوا است [۱۰۲].

• نظارت بر خاک

رطوبت برای رشد محصول بسیار مهم است؛ زیرا برای محصولات کشاورزی نیاز به آب است و مواد مغذی نیز از طریق آن برای محصول تأمین می‌شود. رطوبت در خاک به‌طور مؤثر از طریق برخی از انواع حسگرها تعیین می‌شود، اما زمانی نیاز به تلاش جدی انسان داشت. از سامانه آبیاری خودکار علاوه بر کاهش هدررفت آب می‌توان برای شناسایی عناصر غذایی درشت مغذی (مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم) استفاده کرد. برای کشاورزانی که به‌صورت دستی این آزمایش را انجام می‌دهند، این کار یک فرآیند خسته‌کننده است. اینترنت اشیا کشاورزان را قادر می‌سازد اطلاعاتی درباره شرایط خاک دریافت کنند و از راه‌دور مزرعه را با اطلاعات موردنیاز خاک و پیشنهادات مفید مربوطه برای مقدار ورودی نظارت کنند.

• نظارت بر مزرعه

صنعت کشاورزی گزینه‌های زیادی را ارائه می‌دهد که به مدیریت مزرعه مربوط می‌شود. برخی از این گزینه‌ها شامل گاوداری‌ها، مرغ‌داری‌ها، کندوهای زنبور عسل و غیره است. اینترنت اشیا به‌طور کلی این زمینه‌ها را متحول کرده است و تأثیر آن بر کشاورزی ممکن است مستقیم یا غیرمستقیم باشد. با معرفی اینترنت اشیا در کشاورزی، پیشرفت‌های زیادی در این بخش حاصل شده است. مردم ایده‌های

درخشان و خلاقانه‌ای ارائه کرده‌اند؛ نمونه‌ای از چنین ایده‌ای جلوگیری از حمله حیوانات در مزارع بود. روش‌های مرسوم شناخته‌شده به اندازه کافی قابل توجه نبودند؛ بنابراین اینترنت اشیا و فناوری مبتنی بر ابر استفاده شد و این امر به‌طور قابل توجهی تلفات جانی را در این مورد خاص کاهش داد [دستگاه الکترونیکی برای محافظت از زمین کشاورزی در برابر حملات فیل‌ها در اودیشا: مقاله مروری] [۷۹].

۷) مدیریت زراعی

هنگام افزایش تولید و کیفیت محصولات، مدیریت محصول یک وظیفه مهم است [۱۰۱]. برای این منظور، داده‌های زمان نقش کلیدی در مدیریت محصول دارد. کشاورزی دقیق نیاز به دانشی دارد که از تجزیه و تحلیل عمیق‌تر داده‌ها به دست می‌آید تا هر اقدامی حداکثر کارایی را داشته باشد. برخی از این نمونه‌ها عبارت‌اند از: مقدار آب مورد نیاز، زمان آبیاری، مقدار و زمان مصرف کود و سموم و غیره. تحت یک تکنیک مدیریت پیچیده مبتنی بر اینترنت اشیا، اطلاعات زمان واقعی از طریق ایمیل یا پیامک، با توجه به سهولت استفاده به کشاورز می‌رسد و این امر مدیریت محصول را به سطح بهتری رسانده است.

۸) ماشین‌آلات کشاورزی

اجرای اینترنت اشیا در کشاورزی کل سناریو را تغییر داده است [۱۰۱]. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، پهباد در بخش قبل نمونه‌ای از ماشین‌آلات کشاورزی است. برخی از ماشین‌ها کاربرد مستقیم دارند، در حالی که برخی دیگر به‌طور غیرمستقیم خدمت می‌کنند. برخی از آن‌ها برای نظارت، جایگزین انسان در انجام اعمال کشاورزی و در نظارت بر پارامترهای مختلف استفاده می‌شود. اینترنت اشیا ماشین‌ها را قادر می‌سازد تا نسبت به جایگزین‌های معمولی توانمندتر شوند. برای مثال با در نظر گرفتن یک دستگاه کاشت که از طریق سامانه اطلاعات جغرافیایی هدایت می‌شود، فناوری‌های مشابه سامانه موقعیت‌یاب جهانی که در شبکه‌های اینترنت اشیا به هم متصل هستند، دقت بالاتری در بذرکاری فراهم می‌کنند.

۹) کنترل بیماری و آفات

مزایای مختلفی در اجرای اینترنت اشیا وجود دارد و کنترل بیماری و آفات یکی از دستاوردهای اصلی اینترنت اشیا در کشاورزی است [۱۰۱]. سالانه حدود ۳۷ درصد زیان در تولید محصولات زراعی رخ می‌دهد. داده‌های سامانه اینترنت اشیا در یک ابر ذخیره می‌شود و متعاقباً تجزیه و تحلیل این داده‌ها انجام می‌شود. داده‌ها یا مستقیماً با یک متخصص به اشتراک گذاشته می‌شود یا به یک پلتفرم یادگیری ماشین ارائه می‌شود که در آن نتایج به دست می‌آید. پیش‌بینی‌ها بر اساس تحلیل محاسباتی انجام می‌شود. هم

یادگیری ماشین و هم یادگیری عمیق گنجانده شده‌اند و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، بیماری‌ها و حملات آفات را می‌توان پیش‌بینی کرد. از شبکه‌های عصبی کانولوشنال^۱ نیز برای آموزش سامانه استفاده می‌شود. اینترنت اشیا دارای قابلیت است که کشاورز را از طریق یک شبکه سلولی تلفن خود مطلع می‌کند تا اقدامات لازم را انجام دهد. برای نمونه پردازش تصویر از تصاویر جمع‌آوری‌شده مزرعه برای ارزیابی وضعیت مزرعه و محصولات است.

۴-۷- چالش‌های پیاده‌سازی اینترنت اشیا در کشاورزی

در کشاورزی، پیاده‌سازی سامانه اینترنت اشیا با تعداد قابل توجهی از چالش‌ها مواجه است و این چالش‌ها می‌توانند با توجه به شرایط خاص ایجاد شوند و متفاوت باشند. به‌طور کلی، این مسائل را می‌توان در بخش‌های زیر طبقه‌بندی کرد [۱۰۱]:

- انتخاب دستگاه‌های اینترنت اشیا مناسب (دستگاه‌های فیزیکی و نرم‌افزار)

مهم‌ترین چالش در پیاده‌سازی اینترنت اشیا در کشاورزی، انتخاب دستگاه‌های مناسبی است که باید با سامانه اینترنت اشیا ادغام شوند، که شامل اجزای فیزیکی و نرم‌افزاری است.

در زیر برخی از چالش‌های قطعی در انتخاب دستگاه‌ها برای اینترنت اشیا کشاورزی آورده شده است:

- (۱) دستگاه‌های خاص در کشاورزی به‌طور کلی مستعد شرایط محیطی سخت مانند دمای پایین یا بالا، باران، باد، رطوبت و احتمال تخریب زیاد هستند.
- (۲) از آنجایی که اینترنت اشیا بیشتر در مناطقی اجرا می‌شود که منبع انرژی برای کارکردن سامانه چالش بزرگی است، دستگاه‌هایی که با باتری کار می‌کنند یا آن‌هایی که زمان کار طولانی‌تری دارند ترجیح داده می‌شود.
- (۳) زیرساخت مناسب برای پردازش داده‌های عظیم تولیدشده از طریق دستگاه‌ها یکی از بزرگ‌ترین موانع است و ابزارهای نرم‌افزاری مورد استفاده باید با دستگاه‌ها سازگار باشند تا عملکرد مناسب را در یک اینترنت اشیا خاص داشته باشند.
- (۴) چالش دیگر حفظ ارتباط بدون وقفه با دستگاه‌ها در برابر تهدیدات خارجی‌ای است که برای این دستگاه‌ها ایجاد می‌شود.

¹. Convolutional

- ۵) قابلیت اطمینان سامانه اینترنت اشیا به ایمنی اتصال بین دستگاه‌ها بستگی دارد. از این رو، ایمنی فیزیکی دستگاه‌ها نیز یک مسئله است.
- ۶) مقیاس‌پذیری یک چالش رایج است که سامانه اینترنت اشیا با آن مواجه است؛ زیرا محدودیتی در هر دروازه و همچنین پروتکل پشتیبانی از تعداد خاصی از گرّه‌ها وجود دارد، چون هر گرّه نیاز به شناسایی خاصی در یک شبکه دارد.
- ۷) آرایش فضایی دستگاه‌ها نیز مانعی برای کارایی سامانه اینترنت اشیا است.
- ۸) از نظر ناهمگونی، انواع مختلف دستگاه‌های اینترنت اشیا دارای رابط‌ها و پروتکل‌های ارتباطی متفاوتی هستند، بنابراین یافتن راهی برای کارکرد درست این سامانه مشکل است.

• چالش‌های قابلیت همکاری

همان‌طور که در بخش ۵-۳ توضیح داده شد، انواع مختلفی از دستگاه‌ها و اجزای اینترنت اشیا در یک سامانه اینترنت اشیا وجود دارد که باید با هماهنگی با یکدیگر کار کنند تا کاربر را با نتایج موردنظر منتفع کنند. لازم است که آن‌ها در بسیاری از جنبه‌هایی که قبلاً در این فصل تعریف شده است، قابلیت همکاری داشته باشند.

• انتخاب میان‌افزار کارآمدتر

قابلیت همکاری به دلیل میان‌افزار در یک شبکه اینترنت اشیا امکان‌پذیر است. بنابراین، می‌توان آن را نرم‌افزاری در نظر گرفت که با ایجاد برنامه‌ها و سرویس‌های متنوع به یکدیگر، قابلیت همکاری را ممکن می‌سازد و به عنوان پلی بین لایه شبکه و لایه اپلیکیشن مدل مرجع عمل می‌کند.

• فناوری ارتباطی مناسب

کارایی یک سامانه اینترنت اشیا به فناوری ارتباطی انتخاب شده برای برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا بستگی دارد. در این سناریو، ارتباطات بی‌سیم نقش اصلی را ایفا می‌کند و معمولاً در اینترنت اشیا استفاده می‌شود. با این حال، محدودیت‌های منحصربه‌فردی نیز دارند. دو نوع ارتباط بی‌سیم بر اساس نوع باند فرکانسی وجود دارد:

- ۱) باندهای فرکانس بدون مجوز: این باندها عمدتاً از باند ۲,۴ گیگاهرتز (صنعتی، علمی و پزشکی^۱) برای ارتباط استفاده می‌کنند. این باندها امنیت کمتری دارند، تداخل بیشتری دارند و ایجاد آن‌ها پرهزینه است.

¹. Industrial, Scientific, and Medical (ISM)

۲) باندهای فرکانس مجاز: این باندها در ارتباطات سلولی استفاده می‌شوند. این باندها قابل اعتماد، امن، دارای مدیریت شبکه خوب و کیفیت خدمات خوبی هستند. تنها مشکل در هزینه و مصرف برق است.

• تداخلات

هنگامی که دستگاه‌های اینترنت اشیا در یک شبکه بی‌سیم در یک باند فرکانسی خاص کار می‌کنند، تداخل ایجاد می‌شود که ناشی از دستگاه‌هایی در همان باند فرکانسی یا عملکرد دستگاه‌ها در باند فرکانسی مجاور آن است.

۴-۸- مسائل مربوط به امنیت و حریم خصوصی یک اینترنت اشیا

برای درک مسائل امنیتی پیاده‌سازی اینترنت اشیا، دکتر بری بوهم^۱ اصطلاحات مرتبط زیر را به روشی ساده‌تر توضیح داده است:

- ایمنی: سامانه نباید به دنیا آسیب برساند.

- امنیت: جهان نباید به سامانه آسیب برساند.

براین اساس، برای این که یک سامانه اینترنت اشیا، کافی و قابل اعتماد باشد، باید اطمینان حاصل شود که هر دو جنبه، به روشی مناسب به دست آمده است. مهم‌ترین عاملی که باید درک شود این است که امنیت اینترنت اشیا به‌طور قابل توجهی متفاوت از شبکه‌های معمولی، میزبان‌ها و انواع امنیت سایبری است و بسیار پیچیده‌تر است. این تفاوت به دلیل این واقعیت است که نمی‌توان مجموعه دستورالعمل‌های مشابه یا قوانین متامنیته ثابت خاصی را اعمال کرد؛ زیرا چالش این است که هر دستگاه اینترنت اشیا متفاوت است. علاوه بر این، تنوع این دستگاه‌های متصل نیاز به توصیه‌های امنیتی خاص را برای هر دستگاه ایجاد می‌کند. از این رو، یک برنامه کاربردی منحصر به فرد برای هر سامانه در یک شبکه اینترنت اشیا ضروری است [۹۱].

امنیت «دستگاه اینترنت اشیا» از تعریف آن استنباط می‌شود، «هر دستگاهی که قابلیت برقراری ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم از طریق اینترنت را داشته باشد و توانایی دستکاری یا نظارت بر چیزی فیزیکی (در دستگاه، دستگاه واسطه یا محیط) یعنی خود شیء یا ارتباط مستقیم با یک چیز» [۹۱]. براساس این تعریف، امنیت دستگاه اینترنت اشیا تابع موارد زیر است:

(۱) استفاده از دستگاه

(۲) فرآیند یا حالت فیزیکی‌ای که می‌تواند از طریق دستگاه تحت تأثیر یا کنترل قرار گیرد.

(۳) حساسیت سامانه‌هایی که به آن متصل است.

^۱ Barry Boehm

- امنیت

امنیت؛ به عنوان ایمنی از تهدیدات قابل توجه امنیتی نسبت به محرمانه بودن، اصالت و یکپارچگی داده‌ها و خدمات تعریف می‌شود [۷۸].

- حریم

حریم خصوصی؛ ایمنی در برابر جمع‌آوری داده‌ها از طریق یک شبکه حسگر است؛ بدون این که کاربران انسانی از چنین مجموعه‌ای آگاه باشند، باید ایمنی مناسبی برای محافظت از اطلاعات مربوط به صاحبان قانونی آن‌ها وجود داشته باشد [۷۸].

امنیت مهم‌ترین چالش در پیاده‌سازی اینترنت اشیا در کشاورزی هوشمند است [۱۰۳] و پرداختن به این چالش‌ها اجباری است. معمولاً، یک اینترنت اشیا ناامن مستعد از دست‌دادن داده، دسترسی غیرمجاز به گره‌ها، داده‌های شناسایی شده و تهدیدهای متعدد دیگر است. مانع دیگر در تأمین امنیت اینترنت اشیا، حافظه و پردازش ناکافی آن برای یک الگوریتم رمزگذاری شده پیچیده است.

نمونه‌هایی از مسائل امنیتی شامل موارد زیر است [۱۰۱]:

- حملات ضبط‌شده از طریق دستگاه به دلیل افشای مکان خود با دستگاه‌های اینترنت اشیا
- حمله سرویس انکار^۱، حمله پرازیت و حمله ربایش که در طول ارتباطات اینترنت اشیا رخ می‌دهد.

- خدمات غیرمجاز، دست‌کاری داده‌ها، ربودن جلسه در ابر سیستم اینترنت اشیا

برخی از اقدامات کاهشی ممکن عبارت‌اند از [۱۰۱]:

- الگوریتم‌های رمزگذاری یا رمزگشایی
- مکانیسم‌های توزیع کلیدی
- سیستم‌های تشخیص نفوذ
- سیاست‌های مسیریابی امن

۴-۸-۱-انواع تهدید

تهدیدهای مختلفی به غیر از تغییر داده‌ها در زیر فهرست شده است، این تهدیدها نیز باید مورد توجه قرار گیرند و اقدامات مناسب برای کاهش آن‌ها وجود داشته باشد [۱۵].

- جعل هویت
- دست‌کاری داده‌ها

¹. Denial service attack (DoS)

- افشای اطلاعات
- انکار یا تنزل خدمات
- دورزدن امنیت فیزیکی

به منظور اطمینان از امنیت مناسب سامانه اینترنت اشیا، اقدامات متقابل اتخاذ شده باید در لایه‌های مختلف با توجه به نوع و درجه تهدیدی که در برابر آن آسیب‌پذیر هستند، اعمال شود. دستگاه‌های اینترنت اشیا، سرویس‌های شبکه، سرویس‌های ابری و عناصر کاربر همگی باید به‌طور کامل برای تهدیدها بررسی شوند و باید مقررات مناسبی برای کنترل‌های امنیت سایبری داشته باشند.

۴-۹-۹- ادغام پلتفرم ابری با اینترنت اشیا

وقتی در هر بخش کشاورزی اینترنت اشیا راه‌اندازی می‌شود، به دلیل قدرت محدود آن، در پردازش و ذخیره‌سازی محدود می‌شود. برای غلبه بر این کاستی‌های اساسی اینترنت اشیا، یک پلتفرم ابری با آن ترکیب شده است. ابر یک راه‌حل امیدوارکننده برای مشکلات مربوط به مدیریت داده‌های قابل توجه تولیدشده از اشیای اینترنت اشیا بوده است. این امر راه را برای افق‌های جدیدی هموار کرده است که با تجزیه و تحلیل و مدیریت داده‌ها مرتبط است. با توجه به مزیت کلی ادغام ابر و اینترنت اشیا، می‌توان نتیجه گرفت که کارایی و عملکرد سامانه اینترنت اشیا تا چندین برابر افزایش یافته است. یک شبکه حسگر بی‌سیم مورد استفاده در یک سامانه اینترنت اشیا به انتقال داده‌ها از یک گره و سپس آپلود آن در یک ابر کمک می‌کند تا در آن‌جا ذخیره، پردازش و تجزیه و تحلیل شود.

به غیر از مورد فوق، دلایل متعددی وجود دارد که چرا ابر در یک سامانه اینترنت اشیا مهم است. جدول ارائه‌شده در زیر نمایش دقیق یک اینترنت اشیا یا ابر نیست؛ اما در مفهومی کلی، ممکن است به درک ایده، جنبه‌های مکمل ابر و اینترنت اشیا کمک کند.

۴-۹-۱- ادغام کلان داده‌ها در کشاورزی هوشمند

داده‌هایی که از جدیدترین فناوری‌ها مانند حسگرها، سامانه‌های اینترنت اشیا، ماشین‌های هوش مصنوعی، پهبادها، سامانه اطلاعات جغرافیایی و غیره در کشاورزی نسل ۵,۰ تولید می‌شوند، منجر به تشکیل کلان داده‌های کشاورزی می‌گردند. حتی کشاورزان در مقیاس کوچک از طریق ابزارهای کشاورزی و فعالیت‌های وابسته که داده‌ها را تولید می‌کنند، به کلان داده‌ها کمک می‌کنند.

کلان داده کاربردهای بی پایانی را در کشاورزی هوشمند دارد و داده‌های بزرگ منبع دانش برای اعمال کشاورزی با دقت بالا است. داده‌های کشاورزی از منابع متعددی مانند ماهواره‌ها، سامانه‌های سنجش از راه دور، سامانه‌های اینترنت اشیا، هواپیماهای بدون سرنشین، فناوری سامانه موقعیت‌یاب جهانی، دوربین مادون قرمز، حسگرهای مختلف و غیره تولید می‌شوند که می‌توانند به هر شکلی از جمله ویدئو، تصویر، صدا، الگوهای گرافیکی و غیره باشند؛ در صورتی که ویژگی‌های کلان داده را داشته باشند، می‌توانند به عنوان کلان داده در نظر گرفته شوند [۱۰۷-۱۰۵].

خدمات اینترنت اشیا حجم عظیمی از کلان داده را تولید می‌کند که باید به درستی پردازش و تجزیه و تحلیل شود تا اطلاعاتی حیاتی به دست آید که می‌تواند در شیوه‌های مختلف مانند انتخاب ورودی‌ها، افزایش بهره‌وری خاک و آب، پیش‌بینی مصرف کود هر محصول و غیره کمک کند.

کشاورزی هوشمند از نتایج به دست آمده از سامانه با استفاده از یادگیری ماشین، آمارهای پیشرفته و ابزارهای داده کاوی پیشرفته که تکنیک‌های تحلیلی عالی برای کلان داده‌ها هستند، به دست می‌آید. تعداد زیادی از سازمان‌های صنعتی با استفاده از کلان داده‌ها به عنوان منبعی اساسی برای طراحی ماشین‌آلات هوشمند، سرمایه‌گذاری در کشاورزی هوشمند را آغاز کرده‌اند. برخی از پیش‌بینی‌های حیاتی که بر کشاورزی تأثیر دارند از طریق کلان داده‌ها با دقت بالا مانند پیش‌بینی آب و هوا، پیش‌بینی عملکرد، پیش‌بینی تقاضا در بازار برای یک محصول و غیره به دست می‌آیند. کلان داده قادر به تقویت، افزودن و یا حتی جایگزینی دانشی است که برای شیوه‌های مختلف کشاورزی استفاده می‌شود. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم که به کشاورزی کمک می‌کنند از کلان داده‌ها برای تصمیم‌گیری مؤثر استفاده کنند. علاوه بر این، یکی دیگر از مزایای کلان داده این است که مشاغل و شرکت‌های کشاورزی را متحول کرده‌است که در نهایت سهم زیادی در کشاورزی هوشمند دارند. امروزه ابزارهای زیادی برای تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ وجود دارد که در سرتاسر جهان و به صورت رایگان برای استفاده یا «منبع باز» نامیده می‌شوند (به عنوان مثال هادپو^۱).

از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که کلان داده‌ها در فناوری‌های مخرب مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، بلاک‌چین، اینترنت اشیا و غیره استفاده می‌شود. یکی از نیروهای محرک اصلی برای تبدیل کشاورزی دقیق به «کشاورزی دقیق هوشمند» کلان داده بوده‌است [۱۰۸].

^۱. Hadoop

۴-۹-۲- پلتفرم ابری برای ذخیره‌سازی کلان داده‌های کشاورزی

بزرگی مزایایی را که کشاورزی از پلتفرم ابری به‌دست می‌آورد، می‌توان با استفاده از تعریف تاییدشده رایانش ابری درک کرد.

جدول ۴-۵- جنبه‌های تکمیلی ادغام ابر با اینترنت اشیا [۱۰۴]

ویژگی‌ها/نقش‌ها	اینترنت اشیا	ادغام ابر
جابه‌جایی	فراگیر	متمرکز
قابلیت دسترسی	محدود	همه‌جا
قابلیت‌های محاسباتی	محدود	تقریباً نامحدود
ذخیره‌سازی	محدود و یا هیچ	تقریباً نامحدود
نقش اینترنت	نقطه هم‌گرایی	وسیله‌ای برای ارائه خدمات
کلان داده	منبع	مدیریت

به گفته مؤسسه ملی استاندارد و فناوری^۱ (NIST)، «رایانش ابری مدلی است برای امکان دسترسی به شبکه همه‌جا حاضر، راحت و بر اساس تقاضا به یک مجموعه مشترک از منابع محاسباتی قابل تنظیم که می‌تواند به‌سرعت تهیه و با حداقل تلاش مدیریتی و تعامل، ارائه‌دهنده خدمات منتشر شود.»

فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم، داده‌های قابل توجهی تولید می‌کنند و روی آن داده‌ها کار می‌کنند؛ بنابراین، به زبان ساده‌تر، می‌توان گفت که این فناوری‌ها مبتنی بر داده هستند. به‌ویژه، در مورد اینترنت اشیا، ما عمده‌تاً سامانه‌هایی داریم که حجم قابل توجهی از داده‌ها را تولید می‌کنند که باید در جایی ذخیره شوند. همچنین برای این داده‌ها باید پردازش و تجزیه و تحلیل انجام شود و این امر گاهی در یک شبکه اینترنت اشیا به‌صورت مستقل امکان‌پذیر است؛ اما در بیشتر موارد حداقل به یک ابر برای این منظور نیاز داریم. این دو فناوری متمایز هستند؛ اما مزایای اینترنت اشیا با ادغام آن‌ها با یک ابر به حداکثر می‌رسد. برخی از کاستی‌های اینترنت اشیا از طریق ابر کاهش می‌یابد؛ زیرا مدیریت خدمات اینترنت اشیا عالی را ارائه می‌کند که بسیار ضروری است. ابر همچنین از اینترنت اشیا در پشتیبانی عملی از برنامه‌ها و خدمات خود سود می‌برد.

به روز نگه‌داشتن دستگاه‌های اینترنت اشیا یک کار بسیار مهم است و گزینه (فوتا)^۲ به‌راحتی با کمک ابر امکان‌پذیر است. به‌روزرسانی از راه دور و تشخیص از راه دور کمتر خسته‌کننده شده‌اند و با مزایای زیادی مانند کاهش هزینه‌های نگهداری و پشتیبانی انجام می‌شود [۱۰۹].

^۱. National Institute of Standard and Technologies (NIST)

^۲. Firm Over the Air (FOTA)

نویسندگان [۱۰۴] محدودیت‌های اینترنت اشیا را که با یک ابر حل شده‌اند در زیر ارائه کرده‌اند:

(۱) **ارتباط:** در یک سامانه اینترنت اشیا، ارتباطات داده و خدمات کاربردی، مبتنی بر ارتباطات در شبکه آن است. با معرفی ابر به سامانه اینترنت اشیا، نتایج از نظر مدیریت داده، توزیع و از همه مهم‌تر ارتباطات داده بهبود یافته‌است. ابر پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی سفارشی‌شده را فراهم می‌کند که نظارت، مدیریت و سایر عملیات سامانه اینترنت اشیا را به‌طور قابل توجهی آسان‌تر می‌کند. اتصال پرسرعت، عاملی است که شتاب عملیات و سرعت انتقال داده از لبه به ابر را در یک سامانه اینترنت اشیا تعیین می‌کند. از آنجایی که توسعه رسانه‌های شبکه کارآمدتر و سریع‌تر در حال پیشرفت است، احتمال پیشرفت‌هایی وجود دارد که ممکن است تأثیر قابل توجهی بر سامانه اینترنت اشیا داشته باشد.

(۲) **ذخیره‌سازی:** همچنین در زمینه کشاورزی، دستگاه‌های اینترنت اشیا تعداد زیادی داده تولید می‌کنند که باید به صورت ایمن ذخیره شوند. داده‌ها دارای تنوع زیادی در شکل خود هستند؛ زیرا از منابع متعددی تولید می‌شوند که ماهیت آن‌ها بدون ساختار یا نیمه‌ساختاریافته است. فضای ابری فضای ذخیره‌سازی عظیمی را فراهم می‌کند که در آن زمان ذخیره‌سازی قابل توجه و مقرون‌به‌صرفه است. ابر متصل به اینترنت اشیا، افق‌های جدیدی را برای علوم داده ایجاد می‌کند که در نهایت نتایج را در سامانه اینترنت اشیا بهبود می‌بخشد. داده‌ها حتی از طریق رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی به راحتی برای مالک قانونی آن قابل دسترسی است. ابر امنیت نسبتاً امیدوارکننده‌ای را ارائه می‌دهد و رمزگذاری آن‌ها در سطح جهانی است؛ بنابراین ذخیره داده‌ها قابل اعتمادتر است. احتمال از دست دادن داده‌ها ناچیز است؛ زیرا این اطلاعات در یک مکان ذخیره نمی‌شود و دارای چندین نسخه پشتیبان برای جلوگیری از هر فاجعه است.

(۳) **محاسبه:** همان‌طور که قبلاً بحث شد، پردازش اینترنت اشیا و منابع موردنیاز برای آن می‌تواند به مانعی برای کارایی سامانه اینترنت اشیا تبدیل شود. یک نیروی محرکه قوی‌تر برای ادغام اینترنت اشیا با ابر این است که بسیاری از فرآیندهای پیچیده را فقط خود دستگاه نمی‌تواند اداره کند، حتی اگر دستگاه هوشمند باشد. باید یک گره در سامانه اینترنت اشیا وجود داشته باشد که بتواند چنین پردازشی را مدیریت کند. بنابراین، مسئله مقیاس‌پذیری افزایش تقاضا برای زیرساخت وجود دارد.

در این‌جا نقش ابر برجسته می‌شود و پردازش موردنیاز و ذخیره‌سازی موردنیاز یک اینترنت اشیا را فراهم می‌کند.

برای پیاده‌سازی اینترنت اشیا و پذیرش ابر، دانش لازم در مورد انواع ابرها براساس سرویس آن‌ها لازم است. در حوزه کشاورزی، نیاز به ابر ممکن است به کاربرد خاص آن و همچنین به بسیاری از محدودیت‌های دیگر بستگی داشته باشد. کاربران باید به‌طورکافی در انتخاب یک پلتفرم ابری مناسب برای ارائه بهترین خدمات به آن تخصص داشته باشند.

انواع مختلفی از مدل‌های خدمات ابری وجود دارد که مؤسسه ملی استانداردها و تکنولوژی آن را به سه نوع مرسوم تقسیم می‌کنند [۱۱۰]:

(۱) زیرساخت به‌عنوان یک سرویس^۱: هنگامی که یک اینترنت اشیا به‌طورکلی در زمینه

کشاورزی پیاده‌سازی می‌شود، زیرساخت مناسب برای ذخیره‌سازی داده‌ها و پردازش پیچیده وجود ندارد. بنابراین، ترجیحاً یک ابر در آن سامانه اینترنت اشیا معرفی می‌شود. کاربر می‌تواند به میل خود از این زیرساخت استفاده کند و این گزینه را دارد که با توجه به نیازهای پروژه و با نرخ ارزان‌تری که از نظر اقتصادی غیرممکن است، گسترش یا خاتمه دهد.

سرویس زیرساخت خدماتی مانند شبکه، سرورها، مراکز مدیریت داده و فضای ذخیره‌سازی را ارائه می‌کند که بر اساس منابع ابری خاص انتخاب‌شده، هزینه دریافت می‌کنند.

(۲) پلتفرم به‌عنوان یک سرویس^۲: مدل سرویس پلتفرم ابر خدمات بسیاری را برای برنامه‌های

کاربردی سامانه‌های اینترنت اشیا ارائه می‌دهد و آزمایش یا نمونه‌سازی برنامه‌های جدید ایجادشده را امکان‌پذیر می‌کند. در کشاورزی، مزایای سرویس پلتفرم زیاد است و می‌توان در هنگام توسعه یک سرویس یا برنامه جدید صرفه‌جویی کرد.

در این مدل، یک ابر تمامی اجزای لازم برای ساخت و توزیع کامل یک اپلیکیشن ابری را ارائه می‌کند و بنابراین، ابر مسئولیت تمامی سخت‌افزار، نرم‌افزار و میزبانی لازم را بر عهده دارد.

(۳) نرم‌افزار به‌عنوان یک سرویس^۳: سرویس نرم‌افزار، سامانه‌ای است که در آن نیاز به

بهبود فقط از طریق برنامه بدون نیاز به نگهداری و به‌روزرسانی زیرساخت‌ها و اجزاء است. این راه‌حل، انعطاف‌پذیری بیشتری برای پذیرش ابر دارد. در انتخاب این مدل باید معادله هزینه و سود در نظر گرفته شود. در این مدل، نرم‌افزار ابری (یا سایر نرم‌افزارها به‌عنوان

^۱. Infrastructure as a Service (IaaS)

^۲. Platform as a Service (PaaS)

^۳. Software as a Service (SaaS)

سرویس) از راه دور توسط کاربر اداره می‌شود، سپس در خود ابر اجرا و پردازش می‌شود و از طریق شبکه قابل دسترسی است.

۴-۱۰- نتیجه

اینترنت اشیا یکی از فناوری‌های نوآورانه است که بخشی از انقلاب صنعتی ۴ است. به منظور استقرار یک سامانه اینترنت اشیا در زمینه کشاورزی، باید در مورد اصول، اجزا و عملکرد سامانه اینترنت اشیا، همان‌طور که در این فصل توضیح داده شده است، آگاهی داشت. اینترنت اشیا سامانه‌ای از سامانه‌ها است که در آن ارتباطات و انتقال داده در هر شیء متصل امکان‌پذیر است. اینترنت اشیا به دلیل انعطاف‌پذیری‌ای که در اتصال انواع مختلف چیزها دارد، کشاورزی هوشمند را تقویت کرده است. پلتفرم‌های مختلف اینترنت اشیا، مخصوص کشاورزی وجود دارد که اجرای اینترنت اشیا را عملاً کاری بدون دردسر ساخته است. اینترنت اشیا دارای کاربردهای متعدد و همچنین مزایای مرتبط در عرصه کشاورزی است. اینترنت اشیای کشاورزی، داده‌های عظیمی تولید می‌کند که برای نتیجه‌گیری ارزشمند است. با امنیت و حفظ حریم خصوصی مناسب، این فناوری اینترنت اشیا یک دارایی مهم انقلاب صنعتی ۴ بوده و بخش کشاورزی را متحول کرده است. با ادغام اینترنت اشیا با ابر، مزایای اینترنت اشیا به دلیل فضای ذخیره‌سازی بیشتر، ارتباطات کارآمد و قدرت محاسباتی بالا افزایش یافته است. محاسبات لبه و مه، به روزرسانی‌های اخیر در سامانه‌های اینترنت اشیا هستند که تأثیر مثبتی بر سرعت، کیفیت و عملکرد کلی یک سامانه دارند.

منابع

1. L. Colizzi et al., "Chapter 1 – Introduction to Agricultural IoT," in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, A. Castrignanò, G. Buttafuoco, R. Khosla, A. Mouazen, D. Moshou, and O. Naud, Eds. Academic Press, 2020, pp. 1–33.
2. L. Zhiyu, "An Overview of Internet of Things," *Comput. Meas. Control*, vol. 6, 2012.
3. B. Pradeep, R. Balasubramani, J. E. Martis, and M. S. Sannidhan, "Generic IoT Platform for Analytics in Agriculture," in *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, Volume 2, P. K. Pattnaik, R. Kumar, and S. Pal, Eds. pp. 225–248. Singapore: Springer, 2020.
4. G. Kortuem, F. Kawsar, V. Sundramoorthy, and D. Fitton, "Smart Objects as Building Blocks for the Internet of Things," *IEEE Internet Comput.*, vol. 14, no. 1, pp. 44–51, Jan. 2010, doi: 10.1109/MIC.2009.143.
5. S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao, "The Internet of Things: A Survey," *Inf. Syst. Front.*, vol. 17, no. 2, pp. 243–259, Apr. 2015, doi: 10.1007/s10796-014-9492-7.
6. I. Lee and K. Lee, "The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises," *Bus. Horiz.*, vol. 58, no. 4, pp. 431–440, July 2015, doi: 10.1016/j.bushor.2015.03.008.
7. F. Xia, L. T. Yang, L. Wang, and A. Vinel, "Internet of Things," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 25, no. 9, pp. 1101–1102, Sep. 2012, doi: 10.1002/dac.2417.
8. S. Meyer, A. Ruppen, and C. Magerkurth, "Internet of Things – Aware Process Modeling: Integrating IoT Devices as Business Process Resources," in *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 84–98, 2013.
9. D. Evans, "The Internet of Everything: How More Relevant and Valuable Connections Will Change the World." Cisco IBSG, vol. 2012, pp. 1–9, 2012.
10. J. A. Stankovic, "Research Directions for the Internet of Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–9, Feb. 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2312291.
11. J. Wurm, K. Hoang, O. Arias, A.-R. Sadeghi, and Y. Jin, "Security Analysis on Consumer and Industrial IoT Devices," in *2016 21st Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)*, 2016, pp. 519–524, doi: 10.1109/ASPDAC.2016.7428064.
12. E. Ronen and A. Shamir, "Extended Functionality Attacks on IoT Devices: The Case of Smart Lights," in *2016 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)*, 2016, pp. 3–12, doi: 10.1109/EuroSP.2016.13.
13. E. Oriwoh and M. Conrad, "'Things' in the Internet of Things: Towards a Definition," vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2015, doi: 10.5923/j.ijit.20150401.01.
14. L. Xing and O. Baiocchi, "A Comparison of the Definitions for Smart Sensors, Smart Objects and Things in IoT," in *2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, IEEE, pp. 1–4, 2016.
15. F. Firouzi, K. Chakrabarty, and S. Nassif, *Intelligent Internet of Things: From Device to Fog and Cloud*, Springer Nature, 2020.

16. "Internet of Things World Forum – IoTWF Home." [Online]. Available: <https://www.IoTWF.com/>. [Accessed: 19-June-2020].
17. J. Green, "The Internet of Things Reference Model," pp. 1–12, 2014.
18. J. Green, "IoT Reference Model Whitepaper," 04-Nov-2014. [Online]. Available: <https://www.IoTWF.com/resources>. [Accessed: 22-June-2020].
19. F. Firouzi, B. Farahani, M. Ibrahim, and K. Chakrabarty, "Keynote Paper: From EDA to IoT eHealth: Promises, Challenges, and Solutions," *IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst.*, vol. 37, no. 12, pp. 2965–2978, Dec. 2018, doi: 10.1109/TCAD.2018.2801227.
20. B. Farahani, F. Firouzi, V. Chang, M. Badaroglu, N. Constant, and K. Mankodiya, "Towards Fog-Driven IoT eHealth: Promises and Challenges of IoT in Medicine and Healthcare," *Future Gener. Compu. Syst.*, vol. 78, pp. 659–676, 2018.
21. P. K. Pattnaik, R. Kumar, and S. Pal, "Internet of Things and Analytics for Agriculture," vol. 2, Springer, 2019.
22. C.-L. Zhong, Z. Zhu, and R.-G. Huang, "Study on the IoT Architecture and Gateway Technology," in 2015 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES), 2015, pp. 196–199, doi: 10.1109/DCABES.2015.56.
23. D. Navani, S. Jain, and M. S. Nehra, "The Internet of Things (IoT): A Study of Architectural Elements," in 2017 13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), 2017, pp. 473–478, doi: 10.1109/SITIS.2017.83.
24. H. Saadeh, W. Almobaideen, and K. E. Sabri, "Internet of Things: A Review to Support IoT Architecture's Design," in 2017 2nd International Conference on the Applications of Information Technology in Developing Renewable Energy Processes & Systems (IT-DREPS), 2017, pp. 1–7, doi: 10.1109/IT-DREPS.2017.8277803.
25. "Agricultural Sensors Market to Reach USD 2.56 Billion by 2026 | Reports and Data." [Online]. Available: <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/02/12/1983986/0/en/Agricultural-Sensors-Market-To-Reach-USD-2-56-Billion-By2026-Reports-And-Data.html>. [Accessed: 30-June-2020].
26. A. R. Biswas and R. Giaffreda, "IoT and Cloud Convergence: Opportunities and Challenges," in 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), IEEE, pp. 375–376, 2014.
27. D. Blaauw et al., "IoT Design Space Challenges: Circuits and Systems," in 2014 Symposium on VLSI Technology (VLSI-Technology): Digest of Technical Papers, 2014, pp. 1–2.
28. A. Tewari and B. B. Gupta, "Cryptanalysis of a Novel Ultra-Lightweight Mutual Authentication Protocol for IoT Devices using RFID Tags," *J. Supercomput.*, vol. 73, no. 3, pp. 1085–1102, 2017.
29. Q. Zhu, R. Wang, Q. Chen, Y. Liu, and W. Qin, "IoT Gateway: Bridging Wireless Sensor Networks into Internet of Things," in 2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, 2010, pp. 347–352.

30. S. K. Datta, C. Bonnet, and N. Nikaein, "An IoT Gateway Centric Architecture to Provide Novel M2M Services," in 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 514–519, 2014.
31. S. Guoqiang, C. Yanming, Z. Chao, and Z. Yanxu, "Design and Implementation of a Smart IoT Gateway," in 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, 2013, pp. 720–723.
32. D. Vasisht et al., "Farmbeats: An IoT Platform for Data-Driven Agriculture," in 14th {USENIX} Symposium on Networked Systems Design and Implementation ({NSDI} 17), 2017, pp. 515–529.
33. K. Tsilipanos, I. Neokosmidis, and D. Varoutas, "A System of Systems Framework for the Reliability Assessment of Telecommunications Networks," IEEE Syst. J., vol. 7, no. 1, pp. 114–124, 2012.
34. F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, "Fog Computing and Its Role in the Internet of Things," in Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing – MCC '12, 2012, p. 13, doi: 10.1145/2342509.2342513.
35. A. Tanenbaum, Computer Networks, 4th ed. Prentice Hall Professional Technical Reference, 2002.
36. W. Shang, Y. Yu, R. Droms, and L. Zhang, "Challenges in IoT Networking via TCP/IP Architecture," Technical Report NDN-0038. NDN Project, 2016.
37. "3GPP." [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/>. [Accessed: 19-June-2020].
38. "ITU: Committed to Connecting the World." [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>. [Accessed: 19-June-2020].
39. "International Telecommunication Union – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=888401305>. [Accessed: 19-June-2020].
40. "IEEE." [Online]. Available: <https://www.ieee.org/>. [Accessed: 28-June-2020].
41. "ISO – International Organization for Standardization." [Online]. Available: <https://www.iso.org/home.html>. [Accessed: 28-June-2020].
42. "International Organization for Standardization – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Organization_for_Standardization. [Accessed: 28-June-2020].
43. "Home page | LoRa Alliance®." [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/>. [Accessed: 28-June-2020].
44. C. DiBona and S. Ockman, Open Sources: Voices from the Open Source Revolution. O'Reilly Media, Inc., 1999.
45. "Modbus – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Modbus&oldid=897030889>. [Accessed: 26-June-2020].
46. V. Coskun, B. Ozdenizci, and K. Ok, "A Survey on Near Field Communication (NFC) Technology," Wirel. Pers. Commun., vol. 71, no. 3, pp. 2259–2294, Aug. 2013, doi: 10.1007/s11277-012-0935-5.
47. "Near-Field Communication – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=889005795>. [Accessed: 26-June-2020].

48. "Bluetooth – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=889565151>,. [Accessed: 26-June-2020].
49. E. Ferro and F. Potorti, "Bluetooth and Wi-Fi Wireless Protocols: A Survey and a Comparison," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 12, no. 1, pp. 12–26, 2005.
50. S. Shahina and G. Shanmugapriya, "A Survey on Bluetooth Technology and Its Features," *Int. J. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 1, 2015.
51. E. Fraccaroli and D. Quaglia, "Engineering IoT Networks," in *Intelligent Internet of Things*. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 97–171.
52. "Zigbee – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=889247689>. [Accessed: 26-June-2020].
53. P. Baronti, P. Pillai, V. W. C. Chook, S. Chessa, A. Gotta, and Y. F. Hu, "Wireless Sensor Networks: A Survey on the State of the Art and the 802.15. 4 and ZigBee Standards," *Comput. Commun.*, vol. 30, no. 7, pp. 1655–1695, 2007.
54. "Zigbee – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee>. [Accessed: 28-June-2020].
55. T. Kalaivani, A. Allirani, and P. Priya, "A Survey on Zigbee Based Wireless Sensor Networks in Agriculture," in *3rd International Conference on Trendz in Information Sciences & Computing (TISC2011)*, 2011, pp. 85–89.
56. "Zigbeeip – Zigbee Alliance." [Online]. Available: <https://zigbeealliance.org/?s=zigbeeip&id=371>. [Accessed: 28-June-2020].
57. M. Nixon and T. R. Rock, "A Comparison of WirelessHART and ISA100. 11a," *Whitepaper, Emerson Process Manag.*, pp. 1–36, 2012.
58. E. Khorov, A. Lyakhov, A. Krotov, and A. Guschin, "A Survey on IEEE 802.11 ah: An Enabling Networking Technology for Smart Cities," *Comput. Commun.*, vol. 58, pp. 53–69, 2015.
59. ["IEEE 802.11 – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11. [Accessed: 28-June-2020].
60. R. S. Sinha, Y. Wei, and S.-H. Hwang, "A Survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT," *ICT Express*, vol. 3, no. 1, pp. 14–21, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.icte.2017.03.004.
61. "ETSI – Welcome to the World of Standards!" [Online]. Available: <https://www.etsi.org/>. [Accessed: 28-June-2020].
62. B. Reynders, Q. Wang, and S. Pollin, "A LoRaWAN Module for ns-3," in *Proceedings of the 10th Workshop on ns-3 – WNS3 '18*, 2018, pp. 61–68, doi: 10.1145/3199902.3199913.
63. J. Haxhibeqiri, E. De Poorter, I. Moerman, and J. Hoebeke, "A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application," *Sensors*, vol. 18, no. 11, p. 3995, 2018.
64. "All What You Need to Know about Regulation on RF 868MHz for LPWan – disk91.com – Technology blogdisk91.com – Technology Blog." [Online]. Available: <https://www.disk91.com/2017/technology/sigfox/all-what-you-need-to-know-about-regulation-on-rf-868mhz-for-lpwan/>. [Accessed: 28-June-2020].
65. "6LoWPAN – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN>. [Accessed: 26-June-2020].

66. Z. Shelby and C. Bormann, 6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet, vol. 43. John Wiley & Sons, 2011.
67. G. Mulligan, "The 6LoWPAN Architecture," in Proceedings of the 4th workshop on Embedded Networked Sensors, 2007, pp. 78–82.
68. "Z-Wave – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>. [Accessed: 26-June-2020].
69. "Optical Wireless Communications – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_wireless_communications. [Accessed: 26-June-2020].
70. P. A. Mendez and R. James, "Design of Underwater Wireless Optical/Acoustic Link for Reduction of Back-Scattering of Transmitted Light," Int. J. Eng. Sci., vol. 4, no. 5, pp. 61–68, 2015.
71. S. Motwani, "Tactical Drone for Point-to-Point data delivery using Laser-Visible Light Communication (L-VLC)," 2020 3rd International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet), IEEE, pp. 1–8, 2020.
72. "Home." [Online]. Available: <https://www.threadgroup.org/>. [Accessed: 26-June-2020].
73. "2G – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=889521650>. [Accessed: 26-June-2020].
74. "3G – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=888462727>. [Accessed: 26-June-2020].
75. "4G – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=888700749>. [Accessed: 26-June-2020].
76. "Narrowband IoT – Wikipedia." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=887405493>. [Accessed: 26-June-2020].
77. Alok Sanghavi, "5G Infrastructure Needs Programmability." [Online]. Available: <https://www.eenewseurope.com/news/5g-infrastructure-needs-programmability>. [Accessed: 26-June-2020].
78. L. Da Xu, H. Wu, and L. Shancang, "Internet of things in industries: A survey." IEEE Trans. Ind. Inform., vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243,
79. P. K. Pattnaik, R. Kumar, and S. Pal, Eds., "Internet of Things and Analytics for Agriculture," vol. 2, Springer, 2019.
80. D. Vasisht et al. "FarmBeats: An IoT Platform for Data-Driven Agriculture," in 14th {USENIX} Symposium on Networked Systems Design and Implementation ({NSDI} 17, pp. 515–529, 2017.
81. P. Jayaraman, A. Yavari, D. Georgakopoulos, A. Morshed, and A. Zaslavsky, "Internet of Things Platform for Smart Farming: Experiences and Lessons Learnt," Sensors, vol. 16, no. 11, Nov. 2016, doi: 10.3390/s16111884.
82. "thethings.io – IoT Agriculture Platform." [Online]. Available: <https://thethings.io/IoT-agriculture/#top>. [Accessed: 26-June-2020].
83. "Buy a Raspberry Pi – Raspberry Pi." [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/>. [Accessed: 26-June-2020].
84. "What Is a Raspberry Pi? | Opensource.com." [Online]. Available: <https://opensource.com/resources/raspberry-pi>. [Accessed: 26-June-2020].

85. "Raspberry Pi – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. [Accessed: 26-June-2020].
86. "AWS IoT – Amazon Web Services." [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/IoT/>. [Accessed: 26-June-2020].
87. "Arduino – Home." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Accessed: 26-June-2020].
88. "11 Open Source Internet of Things (IoT) Platforms and Tools – Geekflare." [Online]. Available: <https://geekflare.com/IoT-platform-tools/>. [Accessed: 26-June-2020].
89. "Arduino Nano 33 IoT | Arduino Official Store." [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/nano-33-IoT>. [Accessed: 26-June-2020].
90. "Agriculture IoT Solutions for Smart Farming | Kaa." [Online]. Available: <https://www.kaaproject.org/smart-farming>. [Accessed: 26-June-2020].
91. B. Russell and D. Van Duren, "Practical Internet of Things Security," Packt Publishing Ltd, 2016.
92. M. Serrano, P. Barnaghi, F. Carrez, P. Cousin, O. Vermesan, and P. Friess, "Internet of Things IoT Semantic Interoperability: Research Challenges, Best Practices, Recommendations and Next Steps," IERC: European Research Cluster on the Internet of Things, Tech. Rep, Mar. 2015.
93. P. P. Jayaraman, D. Palmer, A. Zaslavsky, and D. Georgakopoulos, "Do-It-Yourself Digital Agriculture Applications with Semantically Enhanced IoT Platform," in 2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 2015, pp. 1–6, doi: 10.1109/ISSNIP.2015.7106951.
94. J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless Sensor Network Survey," *Comput. Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292–2330, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.comnet.2008.04.002.
95. V. M. Tayur and R. Suchithra, "Review of Interoperability Approaches in Application Layer of Internet of Things," in 2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA), 2017, pp. 322–326, doi: 10.1109/ICIMIA.2017.7975628.
96. "OPEN CONNECTIVITY FOUNDATION (OCF)." [Online]. Available: <https://openconnectivity.org/>. [Accessed: 19-June-2020].
97. "IFTTT: Every Thing Works Better Together." [Online]. Available: <https://ifttt.com/>. [Accessed: 19-June-2020].
98. A. Barman, B. Neogi, and S. Pal, "Solar-Powered Automated IoT-Based Drip Irrigation System," in *IoT and Analytics for Agriculture*, P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, and S. Panda, Eds. pp. 27–49.
99. "Organisation for Economic Co-operation and Development." [Online]. Available: <http://www.oecd.org/agriculture/topics/water-and-agriculture/>. [Accessed: 04-June-2020]. 1
100. S. Chakraborty, P. Das, and S. Pal, "IoT Foundations and Its Application," in *IoT and Analytics for Agriculture*, P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, and S. Panda, Eds. pp. 51–68, Singapore: Springer, 2020.
101. P. Nayak, K. Kavitha, and C. M. Rao, "IoT-Enabled Agricultural System Applications, Challenges and Security Issues," in *IoT and Analytics for*

- Agriculture, P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, and S. Panda, Eds. pp. 139–163. Singapore: Springer, 2020.
102. F. Nabi and S. Jamwal, “Wireless Sensor Networks and Monitoring of Environmental Parameters in Precision Agriculture,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 432–437, 2017, doi: 10.23956/ijarcsse/sv7i5/0344.
 103. S. Sicari, A. Rizzardi, L. A. Grieco, and A. Coen-Porisini, “Security, Privacy and Trust in Internet of things: The Road Ahead,” *Comput. Networks*, vol. 76, pp. 146–164, 2015, doi: 10.1016/j.comnet.2014.11.008.
 104. A. Botta, W. De Donato, V. Persico, and A. Pescapé, “Integration of Cloud Computing and Internet of Things: A survey,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 56, pp. 684–700, 2016, doi: 10.1016/j.future.2015.09.021.
 105. R. Patgiri and A. Ahmed, “Big Data: The V’s of the Game Changer Paradigm,” in 2016 IEEE 18th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 14th International Conference on Smart City; IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), 2016, pp. 17–24, doi: 10.1109/HPCC-SmartCity-DSS.2016.0014.
 106. S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M. J. Bogaardt, “Big Data in Smart Farming – a review,” *Agric. Syst.*, vol. 153, Elsevier Ltd, pp. 69–80, 01-May-2017, doi: 10.1016/j.agry.2017.01.023.
 107. J. Masih and R. Rajasekaran, “Integrating Big Data Practices in Agriculture,” in *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, P. Kumar, P. Raghvendra, K. Souvik, and P. S. N. Panda, Eds. pp. 1–26, Singapore: Springer, 2020.
 108. R. Reghunadhan, “Big Data, Climate Smart Agriculture and India–Africa Relations: A Social Science Perspective,” pp. 113–137 Singapore: Springer, 2020.
 109. F. Firouzi, B. Farahani, M. Weinberger, G. DePace, and F. Shams Aliee, “IoT Fundamentals: Definitions, Architectures, Challenges, and Promises,” in *Intelligent Internet of Things*, pp. 3–50, Cham: Springer, 2020.
 110. F. Firouzi and B. Farahani, “Architecting IoT Cloud,” in *Intelligent Internet of Things*, F. Firouzi, K. Chakrabarty, and S. Nassif, Eds. pp. 173–241, Cham: Springer, 2020.
 111. C. Brewster, I. Roussaki, N. Kalatzis, K. Doolin, and K. Ellis, “IoT in Agriculture: Designing a Europe-Wide Large-Scale Pilot,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 9, pp. 26–33, 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1600528.
 112. T. Bradicich, “Exploring the Four Stages of an Industrial IoT Solution – Hpe,” 4 Stages of IoT Architecture, 2016. [Online]. Available: <https://community.hpe.com/t5/IoT-at-the-edge/exploring-the-four-stages-of-an-industrial-IoTsolution/ba-p/6917607#XvCDkWgzZnJ>. [Accessed: 22-June-2020].

فصل پنجم

(هوش مصنوعی) کشاورزی هوشمند

۵-۱- مقدمه

تصور آفرینش دست‌ساخته به‌عنوان موجودات هوشمند در اساطیر یونان وجود داشته‌است. پیدایش هوش مصنوعی^۱ مدرن به زمان فلسفه کلاسیک برمی‌گردد که تفکر انسان را دست‌کاری نمادها توصیف می‌کند [۱]. سؤال آلن تورینگ «آیا ماشین‌ها می‌توانند فکر کنند؟» [۲] در سال ۱۹۵۰ دامنه جدیدی را در محاسبات راه‌اندازی کرد. اصطلاح «هوش مصنوعی» اولین بار در سال ۱۹۵۶ توسط دانشمند کامپیوتر آمریکایی، جان مک‌کارتی در کنفرانس دارتموث ابداع شد. مک‌کارتی به همراه آلن تورینگ، آلن نیول (دانشگاه کارنگی ملون)^۲، هربرت آ. سیمون، ماروین مینسکی (مؤسسه فناوری ماساچوست)^۳ و آرتور ساموئل (شرکت ماشین‌های تجاری بین‌المللی)^۴ به‌عنوان بنیان‌گذاران هوش مصنوعی شناخته می‌شوند [۳]. در اوایل دهه ۱۹۵۰، روش‌های حل مسئله و نمادین بیشترین تحقیقات در زمینه هوش مصنوعی بودند. در دهه ۱۹۶۰، وزارت دفاع در ایالات‌متحده شروع به توسعه کنجکاوی در آموزش رایانه‌هایی کرد که رفتار انسان را تقلید می‌کنند. همه این تلاش‌ها مسیری را برای دنیای هوشمند امروزی همراه با قدرت استدلال رایانه‌ها ایجاد کردند که از ترکیب رفتار انسانی در آن‌ها پشتیبانی می‌کند [۴]. از سال ۲۰۰۰، انقلاب هوش مصنوعی آغاز شد و تا به امروز وارد خانه‌ها، فیس‌بوک، نتفلیکس، هالیوود و سایر زمینه‌های مهم شد (شکل ۵-۱). اصطلاح هوش مصنوعی با دو کلمه شکل گرفته و در دهه‌های گذشته تعاریف زیادی داشته‌است. فرهنگ لغت «هوش» را این‌گونه تعریف می‌کند:

- توانایی حس کردن
- توانایی عمل کردن
- توانایی حل مسئله
- توانایی در مسئله

علاوه بر این، کلمه «مصنوعی» به این صورت تعریف می‌شود: تولید یا اصلاح غیرطبیعی از طریق مهارت و کار انسانی.

هنگامی که دو اصطلاح هوش و مصنوعی به‌صورت «هوش مصنوعی» با هم ترکیب می‌شوند، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

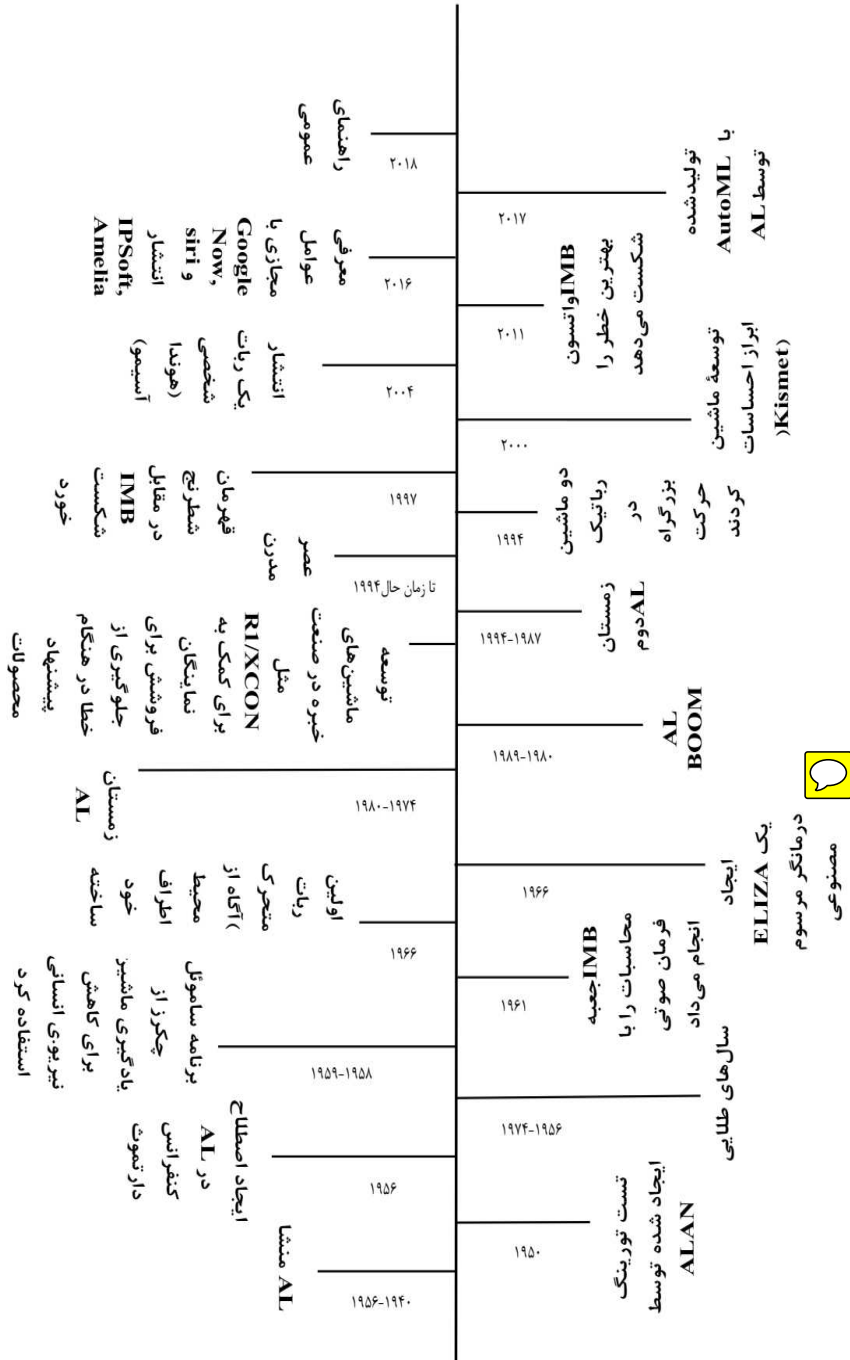
جان مک‌کارتی هوش مصنوعی را «علم و مهندسی ساخت ماشین‌های هوشمند» تعریف کرد.

¹. Artificial Intelligence (AI)

². Carnegie Mellon University (CMU)

³. Massachusetts Institute of Technology (MIT)

⁴. International Business Machines Corporation (IBM)



ویژگی‌های هوش مصنوعی عبارت‌اند از:

نورویگ و راسل به بررسی چهار رویکرد مختلف می‌پردازند که حوزه هوش مصنوعی را به‌طور کامل تعریف کرده‌است: انسانی اندیشیدن، عقلانی اندیشیدن، انسانی عمل کردن و منطقی عمل کردن [۷]. در تعریفی دیگر:

پاتریک وینستون، پروفیسور فورد متخصصین هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر در مؤسسه فناوری ماساچوست، هوش مصنوعی را این‌گونه تعریف می‌کنند: « الگوریتم‌های فعال‌شده از طریق محدودیت‌ها، در معرض نمایش‌هایی قرار می‌گیرند که مدل‌های حمایتی را در حلقه‌ها هدف قرار می‌دهند و تفکر، ادراک و عمل را به یکدیگر پیوند می‌دهند» [۸].

در نهایت یک تعریف قابل‌قبول دیگر این است:

« رویکردی برای ساختن یک کامپیوتر، یک ربات یا محصولی که فکر کند انسان‌های باهوش چگونه فکر می‌کنند، یاد می‌گیرند، تصمیم می‌گیرند و زمانی که سعی در حل مشکلات دارند، چکار می‌کنند».

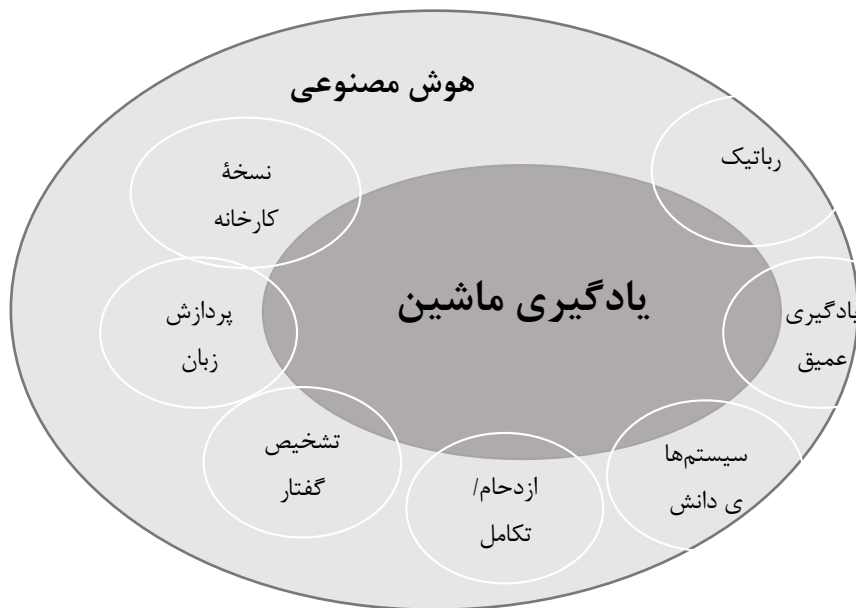
در نتیجه افزایش حجم داده‌ها، هوش مصنوعی با الگوریتم‌های پیشرفته و بهبود قدرت محاسباتی و ذخیره‌سازی، توانایی تعامل با دنیای واقعی برای درک، حل مسائل جدید، برنامه‌ریزی و توانایی تصمیم‌گیری در مواجهه با مشکلات غیرمنتظره، یادگیری مداوم عدم قطعیت‌ها و سازگاری [۵] محبوبیت بیشتری پیدا کرده‌است. هوش مصنوعی در مورد اصل شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی هوش انسان در ماشین‌ها به‌منظور انجام عملکردهای مشابه انسان است [۹]. ویژگی عالی هوش مصنوعی توانایی آن در تمایز و تعریف اقدامات براساس احتمال آن‌ها در تلاش برای دستیابی به اهداف پیچیده به بهترین شکل ممکن است. ماشین‌ها به عملکردهای شناختی مانند ادراک، یادگیری و استدلال دست می‌یابند و می‌توانند مشکلات را حل کنند، مانند نوزاد تازه‌متولدشده‌ای که به‌تازگی شروع به یادگیری دسته‌بندی و تشخیص کرده [۱۰]. جان مک کارتی و همکاران [۱۱] ویژگی‌های زیر را در رابطه با هوش مصنوعی تأیید می‌کنند:

- هوشمندسازی‌ها
- زبان قابل برنامه‌ریزی
- اندازه محاسبه
- خودبهبودی
- انتزاعات
- تصادفی و خلاقیت

تمام کارهای پیشرو در هوش مصنوعی در جست‌وجوی یافتن پاسخ ویژگی‌های ذکرشده در بالا شروع شد و امروزه هوش مصنوعی بسیار موردبحث و محبوب است؛ به‌طوری‌که تحقیقات زیادی روی آن انجام می‌شود.

در حال حاضر، هوش مصنوعی مفهوم بزرگ‌تری در ایجاد ماشین‌های هوشمند است که می‌توانند توانایی تفکر و رفتار انسان را شبیه‌سازی کنند، درحالی‌که یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق، زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی هستند که به ماشین‌ها اجازه می‌دهد از داده‌ها بدون برنامه‌ریزی صریح یاد بگیرند [۱۰]. شکل ۵-۲ زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی را نشان می‌دهد. با این توضیحات هوش مصنوعی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

« یک سیستم کامپیوتری که برای انجام وظایف معمولاً به هوش انسانی نیاز دارند... بسیاری از این سیستم‌های هوش مصنوعی از طریق یادگیری ماشینی کار می‌کنند. برخی از آن‌ها با یادگیری عمیق و برخی از آن‌ها با چیزهای بسیار خسته‌کننده مانند قوانین قدرت می‌گیرند» [۳]، [۵].



شکل ۵-۲- زیرمجموعه‌های مختلف هوش مصنوعی

هوش مصنوعی در صنعت مالی برای کشف تقلب، خودروهای خودران، تراکتورهای کشاورزی، پهپادها و ربات‌ها [۱۲]–[۱۴]، اینترنت اشیا، زنجیره تولید، سلامت [۱۵]، آموزش، برنامه‌های تحلیلی، تصمیم‌گیری و سیستم‌های تخصصی، دستیارهای هوشمند مانند الکسا^۱، سیری^۲ و ... محبوب شده است.

۵-۲- دسته‌بندی هوش مصنوعی

با یادگیری ماشینی^۳، پردازش زبان طبیعی^۴ و یادگیری عمیق به عنوان زیرمجموعه‌های انقلابی هوش مصنوعی، متمایزترین دسته‌های هوش مصنوعی شروع به توسعه کردند که در زیر بحث شده است [۱۶–۱۹ و ۲۰]:

۵-۲-۱- نوع اول (براساس سطح هوشمندبودن)

۱) هوش مصنوعی ضعیف یا هوش مصنوعی باریک

هوش مصنوعی ضعیف یا باریک نوعی از هوش مصنوعی است که قادر است یک کار اختصاصی را با هوشمندی انجام دهد و در حال حاضر رایج‌ترین و پرکاربردترین شکل هوش مصنوعی است. هوش مصنوعی باریک تنها قادر به انجام وظیفه‌ای است که برای آن آموزش دیده است و در انجام وظایف فراتر شکست می‌خورد. به عنوان مثال می‌توان به اپل سیری^۵، توصیه‌های خرید الکترونیکی، اتومبیل‌های خودران و ابرایانه واتسون آی ام بی^۶ اشاره کرد.

۲) هوش مصنوعی عمومی

هوش مصنوعی عمومی نوعی هوش است که می‌تواند هر کار فکری را به اندازه یک انسان کارآمد انجام دهد. ایده اصلی هوش مصنوعی عمومی این است که ماشین‌ها را با قابلیت تفکر خاص خود، مانند انسان‌ها باهوش کند. هوش مصنوعی فعلی در جهان قرن بیست و یکم در این مرحله است و برای عبور از این مرحله به زمان و پیشرفت بیشتری نیاز است.

¹. Alexa

². Siri

³. Machine Learning (ML)

⁴. Natural Language Processing (NLP)

⁵. Apple Siri

⁶. Watson IBM

(۳) سوپر هوش مصنوعی

سطحی از هوش مصنوعی است که در آن ماشین‌ها از هوش انسان پیشی می‌گیرند و می‌توانند در هر کاری بهتر از انسان‌ها عمل کنند. اگرچه در حال حاضر یک مفهوم فرضی است، اما اگر محقق شود، جهان را تغییر خواهد داد.

۵-۲-۲- نوع دوم (بر اساس عملکرد)

(۱) ماشین‌های واکنش‌پذیر

ماشین‌های واکنش‌پذیر قدیمی‌ترین شکل هوش مصنوعی با قابلیت‌های بسیار محدود هستند. این ماشین‌ها ظرفیت ذخیره‌سازی ندارند؛ بنابراین نمی‌توانند از داده‌های گذشته استفاده کنند. آن‌ها فقط می‌توانند به یک وسیلهٔ مشخص واکنش نشان دهند. سیستم دیپ بلو آی بی ام^۱ و آلفاگو^۲ گوگل نمونه‌هایی از ماشین‌های واکنشی هستند.

(۲) با حافظهٔ محدود

ماشین‌های با حافظهٔ محدود ظرفیت ذخیره‌سازی برای مدت‌زمان کوتاهی دارند. آن‌ها می‌توانند از داده‌های ذخیره‌شده استفاده کنند، آموزش ببینند و همچنین عملکردهای یک ماشین واکنش‌پذیر را انجام دهند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی مختلف را می‌توان در حجم زیادی از داده‌ها برای ایجاد بینش و افزایش دقت به این ماشین‌ها اعمال کرد. ماشین خودران از رویکرد حافظهٔ محدود استفاده می‌کند. بیشتر ماشین‌های هوش مصنوعی امروزی قرن بیست و یکم از رویکرد حافظهٔ محدود استفاده می‌کنند.

(۳) نظریهٔ ذهن

نظریهٔ ذهن سطح بعدی هوش مصنوعی است که هنوز در دست تحقیق است و تا به امروز موفقیتی حاصل نشده است. یک نظریهٔ هوش مصنوعی در سطح ذهن می‌تواند با تشخیص نیازها، احساسات، باورها و فرآیندهای فکری موجوداتی را که با آن‌ها در تعامل است، درک کند. ماشین‌های هوش مصنوعی می‌توانند انسان‌ها را به عنوان افرادی که ذهنشان می‌تواند از طریق عوامل متعددی شکل بگیرد درک کنند؛ بنابراین اساساً انسان‌ها را که در روان‌شناسی «نظریهٔ ذهن» نامیده می‌شود، «درک» می‌کنند.

(۴) خودآگاهی

ایجاد این نوع هوش مصنوعی، که قرن‌ها تا تحقق آن زمان لازم است، همیشه هدف نهایی تحقیقات هوش مصنوعی بوده و خواهد بود. این نوع هوش مصنوعی نه تنها قادر به درک و

^۱. Deep Blue IBM

^۲. AlphaGo

برانگیختن احساسات در افرادی است که با آن‌ها در تعامل است، بلکه دارای احساسات، نیازها، باورها و به‌طور بالقوه، خواسته‌های خود است. ماشین‌ها آگاهی، احساسات و خودآگاهی خود را خواهند داشت. علاوه‌براین، این همان نوع هوش مصنوعی است که فناوران نسبت به آن محتاط هستند؛ زیرا هوش مصنوعی پس از خودآگاهی می‌تواند ایده‌هایی برای محافظت از خود به‌دست آورد که ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم پایانی برای بشریت باشد. به‌این‌ترتیب، یک موجودیت می‌تواند به فاجعه نیز منجر شود. فیلم‌های هالیوودی مانند ترمیناتور یا ربات‌های نمونه‌های مشابهی هستند که این نوع هوش مصنوعی می‌تواند به آن تبدیل شود.

۵-۳- زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی

تا این‌جا با تعاریف هوش مصنوعی آشنا شدیم؛ در این قسمت با زیرمجموعه‌های مختلف هوش مصنوعی آشنا می‌شویم. موارد زیر رایج‌ترین زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی هستند [۲۰-۲۲].

۵-۳-۱- یادگیری ماشینی

یادگیری ماشینی جزئی از هوش مصنوعی است که داده‌هایی را در اختیار ماشین‌ها قرار می‌دهد، بنابراین این ماشین‌ها می‌توانند توانایی یادگیری خودکار از طریق تجربیات را بدون برنامه‌ریزی صریح به‌دست آورند. این نوع هوش مصنوعی رایج‌ترین و محبوب‌ترین رویکرد هوش مصنوعی در زمینه کشاورزی و فراتر از آن است و از سه نوع تحت نظارت، بدون نظارت و تقویتی تشکیل شده است. فصل ۶ به‌طور جامع به تشریح و بحث یادگیری ماشینی می‌پردازد.

۵-۳-۲- یادگیری عمیق

یادگیری عمیق زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی است که ماشین را قادر می‌سازد تا وظایف انسان را بدون دخالت انسان انجام دهد. یادگیری عمیق، عوامل هوش مصنوعی را قادر می‌سازد مانند یک شبکه عصبی مصنوعی از مغز انسان تقلید کنند و می‌تواند از یادگیری نظارت‌شده و بدون نظارت برای آموزش یک عامل هوش مصنوعی استفاده کند.

۵-۳-۳- پردازش زبان انسان

پردازش زبان انسان زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی است که سیستم را قادر می‌سازد تا زبان انسانی مانند انگلیسی، متن یا گفتار را درک و پردازش کند. پردازش زبان انسان، به‌عنوان یک ابزار

زبانی برای هوش مصنوعی عمل می‌کند و می‌تواند برای یادگیری و کار ماشین‌ها استفاده شود. امروزه هوش مصنوعی همراه با پردازش زبان انسان در اطراف ما وجود دارد. ما به راحتی می‌توانیم از سیری^۱، گوگل^۲ یا کورتانا^۳ بخواهیم تا وظایفی را به زبان ما، برای ما اجرا کنند.

۵-۳-۴- سیستم متخصص

سیستم‌های متخصص برنامه‌هایی رایانه‌ای هستند که به دانش به دست آمده از متخصصان انسانی بستگی دارند که متعاقباً در یک سیستم برنامه‌ریزی می‌شوند. سیستم‌های متخصص، از توانایی تصمیم‌گیری متخصصان انسانی تقلید می‌کنند. این سیستم‌ها برای حل مسائل پیچیده از طریق مجموعه دانش، به جای استفاده از کدهای مرسوم طراحی شده‌اند. یکی از نمونه‌های سیستم متخصص، پیشنهاد اشتباهات املائی هنگام تایپ در کادر جستجوی گوگل است.

۵-۳-۵- رباتیک

رباتیک یکی از موضوعات بسیار پیچیده از هوش مصنوعی است. در بیشتر موارد، این حوزه جذاب از کار نوآورانه، بر طراحی و توسعه ربات‌ها تمرکز دارد. رباتیک یک رشته میان‌رشته‌ای از علوم و مهندسی است که با مهندسی مکانیک، مهندسی برق، علوم کامپیوتر و بسیاری دیگر ادغام شده است؛ طراحی، تولید، بهره‌برداری و استفاده از ربات‌ها را ممکن می‌سازد. رباتیک سیستم‌های رایانه‌ای را برای مدیریت، تهیه نتایج هوشمند و تغییر داده‌ها مدیریت می‌کند.

۵-۳-۶- دید ماشینی

بینایی ماشین یک کاربرد بینایی رایانه‌ای است که ماشین را قادر می‌سازد یک شیء را تشخیص دهد. بینایی ماشین با استفاده از یک یا چند دوربین فیلمبرداری، مکالمات آنالوگ به دیجیتال و پردازش سیگنال دیجیتال، داده‌های بصری را ضبط و تجزیه و تحلیل می‌کند. سیستم‌های بینایی ماشین به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده‌اند که وظایف تعریف شده‌ای مانند شمارش اشیاء، خواندن شماره سریال و غیره را انجام دهند. ممکن است سیستم‌های رایانه‌ای به اندازه چشم انسان قادر به تشخیص نباشد، اما محدودیت‌های انسانی ندارد و حتی می‌تواند توانایی دیدن از طریق دیوار را داشته باشد.

^۱. Siri

^۲. Google

^۳. Cortana

۵-۳-۷- تشخیص گفتار

تشخیص گفتار یک فناوری است که ماشین را قادر می‌سازد تا زبان گفتاری را بفهمد و آن را به یک قالب قابل خواندن توسط ماشین ترجمه کند. به این صورت، یک فرمان صوتی یا گفتار ورودی برای رایانه، جهت اجرای یک کار خاص آماده می‌شود. انواع خاصی از نرم‌افزارهای تشخیص گفتار با واژگان محدودی از کلمات و عبارات وجود دارد. این نرم‌افزارها برای درک و انجام وظایف خاص به زبان گفتاری بدون ابهام نیاز دارند. امروزه نرم‌افزارها یا دستگاه‌های مختلفی موجود است که دارای فناوری تشخیص گفتار هستند، مانند کورتانا^۱، دستیار مجازی گوگل^۲، سیری اپل^۳ و غیره. ما باید سیستم تشخیص گفتار خود را برای درک زبان خود آموزش دهیم. در گذشته این سیستم‌ها فقط برای تبدیل گفتار به متن طراحی می‌شدند، اما در حال حاضر، دستگاه‌های مختلفی وجود دارند که می‌توانند مستقیماً گفتار را به دستور تبدیل کنند.

۵-۴- چرخه زیست یک مدل مبتنی بر هوش مصنوعی

چرخه حیات هوش مصنوعی فرآیندی تکراری است که پروژه‌ها از آن پیروی می‌کنند؛ قوانینی را که یک سازمان باید دنبال کند تا از مزیت یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در استخراج ارزش تجاری عملی استفاده کند، مرحله به مرحله تعریف می‌کند. یک فرآیند مشابه برای یک پروژه مبتنی بر یادگیری ماشینی دنبال می‌شود. اصطلاحات هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی به جای یکدیگر استفاده می‌شوند. مراحل اصلی در چرخه زیست هوش مصنوعی هست که همه از اهمیت یکسانی برخوردارند و باید به ترتیب خاصی پیشرفت کنند. فازهای اصلی در هوش مصنوعی را نیز می‌توان به عنوان فاز برنامه‌ریزی، فاز داده، فاز توسعه و مرحله استقرار نام برد.

(۱) **تعریف اهداف پروژه:** اولین مرحله از چرخه حیات، شناسایی فرصتی برای بهبود عملیات، افزایش رضایت مشتری یا ایجاد ارزش است.

(۲) **دریافت و تحلیل داده‌ها:** مرحله دوم جمع‌آوری و آماده‌سازی تمام داده‌های مربوطه برای استفاده در یادگیری ماشین است. این مرحله نیازمند مشاوره با کارشناسان این حوزه برای تعیین داده‌های موردنیاز جهت پیش‌بینی راه‌حل مناسب، جمع‌آوری داده‌ها از حافظه و تبدیل آن به قالبی مناسب برای تجزیه و تحلیل است که معمولاً در قالب یک فایل انجام می‌شود. در این مرحله، ما باید منابع مختلف داده‌ها را شناسایی کنیم؛ زیرا داده‌ها را می‌توان از منابع مختلفی مانند فایل‌ها، پایگاه داده، اینترنت یا دستگاه‌های تلفن همراه جمع‌آوری

^۱. Cortana

^۲. Google virtual assistant

^۳. Apple Siri

کرد. این مرحله یکی از مهم‌ترین مراحل چرخه است. کمیت و کیفیت داده‌های جمع‌آوری‌شده کارآیی خروجی را تعیین می‌کند. هر چه حجم داده‌ها بیشتر باشد، پیش‌بینی دقیق‌تر خواهد بود.

(۳) آماده‌سازی داده‌ها: پس از جمع‌آوری داده‌ها، در مراحل بعدی باید پردازش شود. آماده‌سازی داده‌ها مرحله‌ای است که در آن داده‌های خود را در مکانی مناسب قرار می‌دهیم و برای استفاده در یادگیری ماشین خود آماده می‌شویم. در این مرحله ابتدا تمام داده‌ها را با هم آماده می‌کنیم و سپس ترتیب داده‌ها را تصادفی می‌کنیم. این مرحله را می‌توان بیشتر به دو فرآیند تقسیم کرد:

- کاوش داده‌ها

کاوش داده‌ها برای درک ماهیت داده‌هایی که باید با آن‌ها کار کنیم استفاده می‌شود؛ باید ویژگی‌ها، قالب و کیفیت داده‌ها بررسی شود. در نظر گرفتن بهتر داده‌ها منجر به یک نتیجه مؤثر می‌شود. ما در این کاوش، همبستگی‌ها، روندهای کلی و نقاط پرت را کشف می‌کنیم.

- پیش‌پردازش داده‌ها

- این مرحله، پیش‌پردازش داده‌ها به‌منظور تجزیه و تحلیل است.

(۴) مقایسه داده‌ها: مقایسه داده‌ها یا پیش‌پردازش داده‌ها فرآیند پاکسازی و تبدیل داده‌های خام به فرمت قابل استفاده است. این فرآیند خالص‌سازی داده‌ها به‌منظور رسیدگی به مسائل کیفی، انتخاب متغیر مورد استفاده و تبدیل داده‌ها به قالب مناسب به‌منظور آماده‌سازی آن جهت تجزیه و تحلیل در مرحله بعدی است. این مرحله یکی از حیاتی‌ترین مراحل کل فرآیند است. علاوه بر این، داده‌های جمع‌آوری‌شده لزوماً همیشه برای کاربر مفید نیستند. در برنامه‌های دنیای واقعی، داده‌های جمع‌آوری‌شده ممکن است مشکلات مختلفی داشته باشند، از جمله:

- ارزش ازدست‌رفته
- داده‌های تکراری
- داده‌های نامعتبر
- صداهای نامربوط

براین اساس، ما از روش‌های مختلف برای پاکسازی داده‌ها استفاده می‌کنیم. شناسایی و حذف موارد فوق الزامی است زیرا این موارد می‌توانند بر کیفیت نتیجه، تأثیر منفی بگذارند.

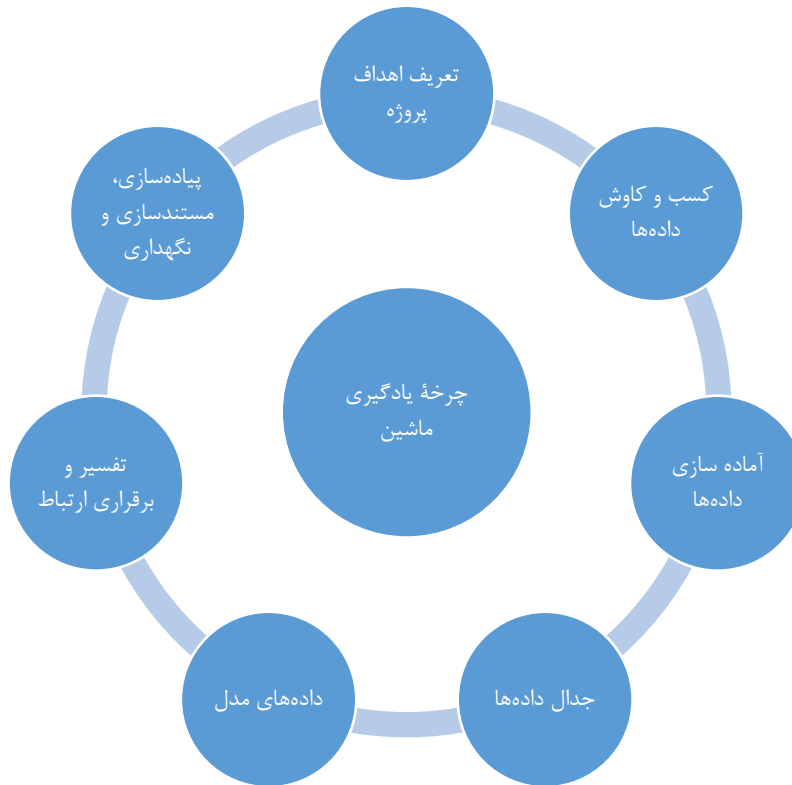
۵) **داده‌های مدل:** برای به‌دست آوردن درکی از داده‌ها از طریق یادگیری ماشین، یک متغیر هدف باید تعیین شود تا کاربر درک عمیق‌تری از داده‌ها به‌دست آورد. در این مرحله، با انتخاب مناسب تکنیک‌های تحلیلی مانند طبقه‌بندی، رگرسیون، تحلیل خوشه‌ای، تداعی و ساخت مدل‌ها، نتیجه بررسی می‌شود. این مرحله شامل دو فرآیند مهم برای یک مدل هوش مصنوعی است.

مرحله آموزش: در این مرحله، مدل جهت بهبود عملکرد در ایجاد نتایج بهتر برای مسئله، آموزش داده می‌شود و از مجموعه داده‌ها برای آموزش مدل با استفاده از الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین استفاده می‌شود. برای این که مدل بتواند الگوها، قوانین و ویژگی‌های مختلف را درک کند، باید آموزش داده شود.

مرحله تست: در این مرحله، با ارائه مجموعه داده آزمایشی و به موازات آن، صحت مدل بررسی می‌شود. آزمایش مدل بر اساس نیاز پروژه یا مشکل، درصد دقت مدل را تعیین می‌کند.

۶) **تفسیر و برقراری ارتباط:** یکی از دشوارترین وظایف پروژه‌های یادگیری ماشینی، توضیح نتایج یک مدل برای کسانی است که هیچ پیشینه‌ای در علم داده‌ای ندارند، به‌ویژه در صنایع بسیار تنظیم‌شده مانند مراقبت‌های بهداشتی. به‌طور سنتی، یادگیری ماشین به‌عنوان یک «جعبه سیاه» در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا تفسیر بینش‌ها و انتقال ارزش آن بینش‌ها به ذی‌نفعان و نهادهای نظارتی دشوار است. هر چه یک مدل قابل تفسیرتر باشد، برآورد الزامات نظارتی و انتقال ارزش آن به مدیریت و سایر سهام‌داران اصلی آسان‌تر خواهد بود.

۷) **پیاده‌سازی، مستندسازی و نگهداری:** گام نهایی پیاده‌سازی، مستندسازی و حفظ پروژه، علم داده است تا ذی‌نفعان بتوانند به اهرم‌سازی و بهبود مدل‌های آن ادامه دهند. استقرار مدل اغلب به دلیل میزان کدگذاری و تجربه علم داده‌ای که نیاز دارد و همچنین به دلیل طولانی بودن زمان پیاده‌سازی از ابتدای چرخه‌ای که از روش‌های سنتی علم داده استفاده می‌کند، مشکل ایجاد می‌شود.



شکل ۵-۳- چرخه یک مدل یادگیری ماشینی یا هوش مصنوعی [۲۳].

۵-۵- پیش‌نیازهای ساخت یک مدل کشاورزی مبتنی بر هوش مصنوعی یا

یادگیری ماشینی

- دانش پایه رایانه
- جبر خطی
- آمار و احتمال
- حساب دیفرانسیل و انتگرال
- نظریه گراف
- مهارت‌های برنامه‌نویسی_ زبان‌هایی مانند پایتون^۱، آر^۲، متلب^۳ یا اکتاو^۴

^۱. Python

^۲. R

^۳. MATLAB

^۴. Octave

- داده‌ها و سخت‌افزار

۵-۶- مزایای هوش مصنوعی در کشاورزی

- هوش مصنوعی نقش مهمی در کشاورزی نسل ۱۴ دارد و مزایای آن بسیار زیاد است. نمونه‌هایی از تأثیر معرفی هوش مصنوعی در کشاورزی عبارت‌اند از [۲۴]:
- (۱) هوش مصنوعی بینش بهتری نسبت به داده‌های به‌دست‌آمده از مزرعه ارائه می‌کند و بنابراین، به استفاده کافی از منابع یا داده‌های ورودی کمک می‌کند.
 - (۲) داده‌های کشاورزی به‌طور مؤثر توسط مدل‌های هوش مصنوعی تجزیه و تحلیل می‌شود تا پیش‌بینی‌های دقیقی انجام شود.
 - (۳) هوش مصنوعی کاشت، برداشت و بازاریابی محصولات را به روش‌های کارآمد تقویت می‌کند.
 - (۴) مدل هوش مصنوعی تشخیص بیماری را به یک فرآیند عملی تبدیل می‌کند و از این‌رو پتانسیل تولید محصول سالم را بهبود می‌بخشد.
 - (۵) فناوری هوش مصنوعی ستون فقرات مشاغل کشاورزی در عصر کشاورزی ۴,۰ بوده‌است و به‌طور قابل‌توجهی فرصت‌های تجاری جدید را ارتقا داده و ایجاد کرده‌است.
 - (۶) هوش مصنوعی سیستم پیش‌بینی آب‌وهوا در کشاورزی را به‌طور قابل‌توجهی متحول کرده‌است و این نقش حیاتی در کشاورزی ایفا می‌کند.
 - (۷) شیوه‌های مدیریت محصول، پیشرفت‌های زیادی داشته‌است و برای کشاورزان مدیریت محصولات با حداقل تلاش بسیار راحت شده‌است.
 - (۸) هوش مصنوعی برای بسیاری از چالش‌های کشاورزی از جمله آفات، علف‌های هرز و غیره که تأثیر مخربی بر عملکرد گیاه دارند راه‌حل‌هایی ارائه کرده‌است.
 - (۹) معرفی هوش مصنوعی در ترکیب با داده‌های بزرگ با به‌کارگیری بهترین ابزار ممکن برای کاهش بهره‌برداری از محیط‌زیست به کاهش خطرات بر طبیعت کمک کرده‌است.
 - (۱۰) گلخانه هنوز هم یکی از بهترین روش‌هایی است که در حوزه کشاورزی دارای ارزش است. مکانیسم‌های هوش مصنوعی نتایج بسیار بهتری نسبت به عملیات دستی از نظر حفظ درست کارکرد گلخانه‌ای ایجاد کرده‌اند.

۵-۷-نتیجه

هوش مصنوعی در دنیای صنعتی و همچنین در انقلاب کشاورزی نقش متحول‌کننده‌ای داشته‌است. روزانه، به‌دلیل علاقه و تحقیقات جهانی، نوآوری‌های بیشتری کشف می‌شود. این فصل اصول هوش مصنوعی، از جمله عملکرد برخی از ویژگی‌ها و انواع آن را توضیح می‌دهد. استفاده از هوش مصنوعی در تصمیم‌گیری یا مدل‌سازی کشاورزی مختلف در فصل‌های بعدی نیز موردبحث قرار گرفته‌است.

منابع

1. Dataflair Team, "History of Artificial Intelligence – AI of the Past, Present and the Future! – DataFlair," 11-Oct-2019. [Online]. Available: <https://dataflair.training/blogs/history-of-artificial-intelligence/>. [Accessed: 25-June-2020].
2. A. M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence," *Mind*, vol. 49, pp. 433–460.
3. "What Is Artificial Intelligence? How Does AI Work? | Built In." [Online]. Available: <https://builtin.com/artificial-intelligence>. [Accessed: 25-June-2020].
4. "Artificial Intelligence – What It Is and Why It Matters | SAS India." [Online]. Available: https://www.sas.com/en_in/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html. [Accessed: 25-June-2020].
5. J. Achin, "DataRobot AI Experience – Keynote from CEO Jeremy Achin – YouTube," 23-Jan-2018. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ZChA63CpX5o>. [Accessed: 26-June-2020].
6. M. Hutter, "One Decade of Universal Artificial Intelligence," in *Theoretical Foundations of Artificial General Intelligence*, pp. 67–88, Paris: Atlantis Press, 2012.
7. R. J. Stuart and P. Norvig, "Artificial Intelligence: A Modern Approach," 4th ed., 2003.
8. "Lecture 1: Introduction and Scope | Lecture Videos | Artificial Intelligence | Electrical Engineering and Computer Science | MIT OpenCourseWare." [Online]. Available: <https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-034-artificial-intelligence-fall-2010/lecture-videos/lecture-1-introduction-and-scope/>. [Accessed: 26-June-2020].
9. E. Brynjolfsson and T. Mitchell, "What Can Machine Learning Do? Workforce Implications: Profound Change Is Coming, but Roles for Humans Remain," *Science*, vol. 358, no. 6370, American Association for the Advancement of Science, pp. 1530–1534, 22-Dec-2017, doi: 10.1126/science.aap8062.
10. J. Frankenfield, "Artificial Intelligence (AI) Definition," 13-Mar-2020. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/a/artificial-intelligence-ai.asp>. [Accessed: 26-June-2020].
11. J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester, and C. E. Shannon, "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence." *AI Mag.*, vol. 27, no. 4, p. 12, 2006.
12. J. Weng et al., "Autonomous Mental Development by Robots and Animals," *Science*, vol. 291, no. 5504, pp. 599–600, 26-Jan-2001, doi: 10.1126/science.291.5504.599.
13. P. Y. Oudeyer, "On the Impact of Robotics in Behavioral and Cognitive Sciences: From Insect Navigation to Human Cognitive Development," *IEEE Trans. Auton. Ment. Dev.*, vol. 2, no. 1, pp. 2–16, Mar. 2010, doi: 10.1109/TAMD.2009.2039057.
14. L. McCauley, "AI Armageddon and the Three Laws of Robotics," *Ethics Inf. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 153–164, Jul. 2007, doi: 10.1007/s10676-007-9138-2.

15. D. S. Kermany et al., "Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning," *Cell*, vol. 172, no. 5, pp. 1122–1131.e9, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.cell.2018.02.010.
16. "Artificial Intelligence – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence#CITEREFRussellNorvig2009. [Accessed: 26-June-2020].
17. Z. Lateef, "What Are the Types of Artificial Intelligence? | Branches of AI | Edureka," 20-May-2020. [Online]. Available: <https://www.edureka.co/blog/types-of-artificial-intelligence/>. [Accessed: 26-June-2020].
18. "Types of Artificial Intelligence – Javatpoint." [Online]. Available: <https://www.javatpoint.com/types-of-artificial-intelligence>. [Accessed: 26-June-2020].
19. S. Reece, "What Are the 3 Types Of AI? A Guide to Narrow, General, and Super Artificial Intelligence," Jan-2020. [Online]. Available: <https://codebots.com/artificial-intelligence/the-3-types-of-ai-is-the-third-even-possible>. [Accessed: 26-June-2020].
20. N. Joshi, "7 Types of Artificial Intelligence," *Cognitive World*, June 2019. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/06/19/7-types-of-artificial-intelligence/#103aa6fb233e>. [Accessed: 26-June-2020].
21. P. Dialani, "Five Important Subsets of Artificial Intelligence | Analytics Insight," 14-May-2020. [Online]. Available: <https://www.analyticsinsight.net/five-important-subsets-of-artificial-intelligence/>. [Accessed: 26-June-2020].
22. "Subsets of AI – Javatpoint." [Online]. Available: <https://www.javatpoint.com/subsets-of-ai>. [Accessed: 26-June-2020].
23. "Life Cycle of Machine Learning – Javatpoint." [Online]. Available: <https://www.javatpoint.com/machine-learning-life-cycle>. [Accessed: 27-June-2020].
24. J. Gupta, "The Role of Artificial intelligence in Agriculture Sector | CustomerThink," *CustomerThink*, 11-Oct-2019. [Online]. Available: <https://customerthink.com/the-role-of-artificial-intelligence-in-agriculture-sector/>. [Accessed: 20-June-2020].

فصل ششم

کشاورزی مبتنی بر یادگیری ماشینی

۱-۶- فناوری‌های شناختی

به زبان ساده، فناوری شناختی به دلیل کاربردهای محدود آن در مقایسه با هوش مصنوعی شناخته می‌شود. معمولاً سرمایه‌گذاری در فناوری شناختی و کسب حداکثر سود به جای ریسک کردن برای هوش مصنوعی آسان‌تر است. ویژگی‌های شناختی دارای سه نوع هستند [۱]:

(۱) درک: درک فناوری‌های شناختی، توانایی درک موقعیت مشخصی است که برای آن طراحی شده است (یعنی ورودی‌ها و محیطی که در آن قرار گرفته‌است). نمونه‌هایی از این فناوری‌ها شامل تشخیص و طبقه‌بندی تصویر و اشیا (از جمله تشخیص چهره)، پردازش و تولید زبان طبیعی انسان، پردازش متن و اطلاعات بدون ساختار، پردازش سیگنال اینترنت اشیا^۱ و حسگر رباتیک و سایر اشکال محاسبات ادراکی است. پیشرفت در شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق باعث پیشرفت قابلیت‌های متمرکز بر درک فناوری‌های شناختی شده است.

(۲) پیش‌بینی: پیش‌بینی یکی از کاربردهای کلیدی فناوری‌های شناختی بوده و موفقیت‌آمیز بودن آن ثابت شده است. در اصل هدف از این حوزه درک الگوها و پیش‌بینی نتایج حاصل از تکرارهای مختلف و بهبود عملکرد با افزودن هر نتیجه به تجربه است. این فناوری‌ها از انواع مختلفی از یادگیری ماشین، داده‌های بزرگ و رویکردهای آماری برای پردازش، تجزیه و تحلیل، تعیین الگوها یا ناهنجاری‌ها و پیشنهاد مراحل موفق یا تولید نتایج استفاده می‌کنند.

(۳) برنامه‌ریزی: برنامه‌ریزی شامل ورودی‌ها و یادگیری‌هایی است که به وسیله ماشین در تصمیم‌گیری و راهبردی کردن گام‌های بعدی با تقلید از تصمیم‌گیری انسانی به دست می‌آید. این حوزه از فناوری‌های شناختی قابلیت درک ماشینی، عقل سلیم، بهره هوشی، عاطفی و سایر عوامل دارد و باعث پیشرفت انسان در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری می‌شود.

در نتیجه می‌توان گفت فناوری‌های شناختی زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی با تمرکز به هوش مصنوعی یا وظایف مشخص هستند [۱] (شکل ۱-۶).

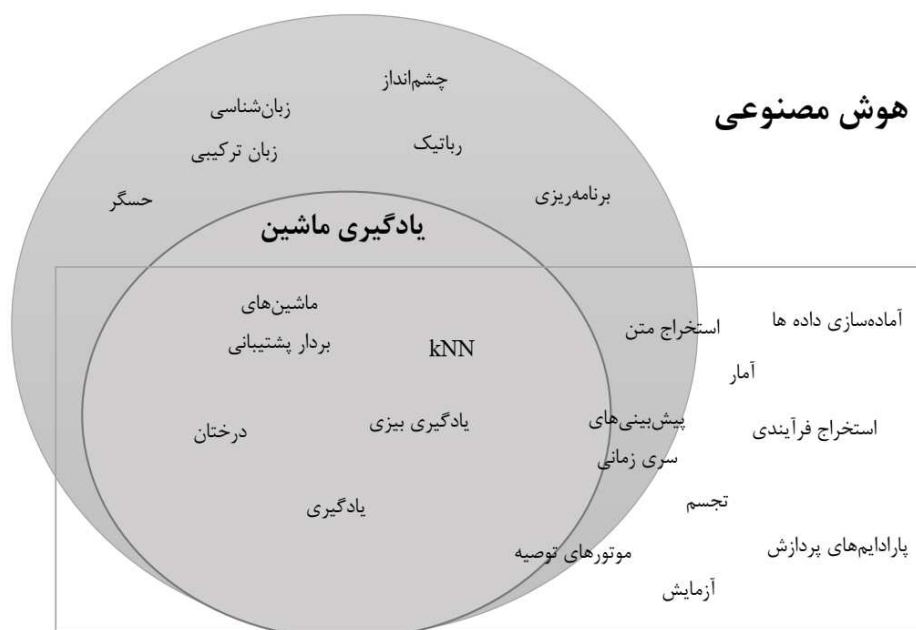
۲-۶- فناوری‌های شناختی

در طول دهه ۱۹۵۰، یادگیری ماشین به عنوان روشی منحصربه‌فرد برای هوش مصنوعی ایجاد شد، اما حرکت خود را به سمت الگوریتم‌های محاسباتی قابل دستیابی تغییر داد [۲]. علم و فناوری

^۱ Internet of Things (IoT)

یادگیری ماشینی نیازمند تمرکز است و شامل تمام فرآیندهایی می‌باشد که در ایجاد ماشین قادر به یادگیری دستورالعمل‌ها و تجربیات به منظور بهبود عملکرد خود هستند [۳]. مفاهیم مختلفی وجود دارد که ممکن است الهام‌بخش جنبه‌های خاصی از یادگیری زیستی باشد [۴-۶]. در زیر برخی از تعاریف یادگیری ماشینی آورده شده است:

یادگیری ماشینی مطالعه الگوریتم‌های رایانه‌ای است که به‌طور خودکار از طریق تجربه بهبود می‌یابند و به‌عنوان زیر مجموعه‌ای از هوش مصنوعی شناخته می‌شود. الگوریتم‌های یادگیری ماشینی یک مدل ریاضی براساس داده‌های نمونه می‌سازند که به «داده‌های آموزشی» معروف هستند، این داده‌ها بدون برنامه‌ریزی صریح، توانایی پیش‌بینی یا تصمیم‌گیری دارند [۷].



شکل ۶-۱- هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی و تکنیک‌های علم داده

«یادگیری ماشینی^۱، کاربرد هوش مصنوعی است که به سیستم‌ها توانایی یادگیری خودکار و بهبود نتایج قبلی را بدون برنامه‌ریزی صریح می‌دهد. یادگیری ماشینی بر توسعه برنامه‌های رایانه‌ای متمرکز است که می‌توانند به داده‌ها دسترسی داشته باشند و از این یادگیری برای خود استفاده کنند.»

^۱. Machine Learning (ML)

- سیستم متخصص [۸]

به صورت کلی می توان نتیجه گرفت فرآیند یادگیری یک ماشین زمانی اتفاق می افتد که به گونه ای برنامه ریزی شود که بتواند ساختار خود را برای بهبود نتایج آینده تغییر دهد.

توانایی های یادگیری از ورودی های داده شده به یک ماشین، یا در پاسخ به اطلاعات خروجی ناشی می شود و بنابراین، تجربه مدل بر میزان دقت آن می افزاید. در این کتاب، فرآیند یادگیری ماشین را می توان به طور کلی شامل سه جزء اصلی در نظر گرفت:

(۱) ورودی: ورودی داده یا اطلاعاتی است که به ماشین داده می شود، مانند داده های حسگر در مورد کاربرد کشاورزی.

(۲) مدل یادگیری ماشینی: مدل یادگیری ماشین مدلی است که داده های آموزشی خاصی، آموزش داده شده و قادر به پردازش داده های ورودی به منظور پیش بینی نتایج آینده است [۷]. این قسمت جزء اصلی یادگیری ماشین محسوب می شود که وظیفه اصلی را انجام می دهد و مدلی با حداکثر کیفیت عملکرد از نظر سهولت و کارایی برای این هدف انتخاب می شود؛ زیرا تعداد زیادی مدل در یادگیری ماشین وجود دارد.

(۳) خروجی: خروجی نتیجه ای است که از یک مدل یادگیری ماشینی [۹] به دست می آید. به طور کلی، یادگیری ماشین اساساً زیرمجموعه ای از هوش مصنوعی است که عملکرد تجزیه و تحلیل داده ها را بهبود می بخشد [۱۰].

یادگیری ماشین همچنین می تواند به عنوان فناوری ای تعریف شود که در آن یک ماشین هوشمند اطلاعات و دانش را از داده ها با استفاده از یادگیری نظارت شده یا بدون نظارت استنباط می کند. در یادگیری نظارت شده، کاربر نقش فعالی در هدایت ماشین برای یادگیری ایفا می کند، در حالی که در مورد یادگیری بدون نظارت، طبقه بندی و سازماندهی داده ها بدون دخالت کاربر انجام می شود [۱۱].

با افزایش سریع قدرت محاسباتی ماشین ها و مدیریت کارآمد کلان داده، یادگیری ماشین با استفاده از مجموعه ای از الگوریتم ها، ابزارها و روش ها به پیشرفت های جدیدی رسیده است. انقلاب صنعتی ۴,۰ روند روبه رشد یادگیری ماشین را، که شامل طیف وسیعی از کاربردهای آن است، تقریباً در هر بخش شاهد بوده است.

یادگیری ماشین روش یادگیری انسان را با آموزش روی داده ها با استفاده از یادگیری الگوریتمی تکرار می کند و سپس قادر به کار روی داده مشابه است. اگرچه یادگیری ماشین بسیار ابتدایی تر از هوش انسانی است، اما مواردی وجود داشته که یادگیری ماشین بسته به ماهیت کاری که در حال انجام آن بوده نسبت به هوش انسانی نتیجه بهتری داشته است.

برای مثال اکسل به عنوان یک روش سنتی، معمولاً قادر به مدیریت حجم عظیمی از داده‌ها نیست، اما در مورد یادگیری ماشین این طور نیست؛ زیرا با هدف دقیق تر شدن با افزایش داده‌ها یا اطلاعات طراحی شده است [۱۲].

۶-۲-۱- یادگیری ماشین در کشاورزی

همان طور که قبلاً به تفصیل ذکر شد، کشاورزی از اهمیت جهانی برخوردار است، به ویژه در کشوری مانند هند که در آن کشاورزی به عنوان ستون فقرات اقتصاد عمل می‌کند. افزایش جمعیت و تقاضای فزاینده برای مواد غذایی به دلیل اصلی پذیرش فناوری‌های جدید و نوآورانه در کشاورزی تبدیل شده است. یادگیری ماشین یکی از فناوری‌های تحول‌آفرین است که در کاربرد کشاورزی دقیق برای دستیابی به اهداف آن حیاتی شده است. یادگیری ماشین بخش مهمی از کشاورزی نسل ۴ است زیرا بازده محصول را افزایش می‌دهد، هزینه ورودی را کاهش می‌دهد و با پیش‌بینی شرایط نامطلوب مانند باران، خشکسالی و موارد مشابه «تلفات و خطرات» را به حداقل می‌رساند.

برای این که کشاورزی بتواند از حداکثر مزایای فناوری‌های جدید بهره‌مند شود، باید زنده بماند و خود را با تغییراتی که در سرتاسر جهان رخ می‌دهد سازگار کند. کشاورزی دقیق^۱ به واسطه به اشتراک گذاشتن دانش با کشاورزان توسط کارشناسانی که روش‌های یادگیری ماشین را در داده‌های به دست آمده از کشاورزی و منابع مختلف دیگر پیاده‌سازی می‌کنند، به طور قابل توجهی تقویت شده است. علاوه بر این، آن‌ها اطلاعات ارزشمندی را استنباط می‌کنند و توانایی پیش‌بینی ضمنی مدل‌های یادگیری ماشین می‌تواند در فرآیندهای خودکار مانند سیستم‌های متخصص تعبیه شود [۱۳]. این استخراج اطلاعات معنی‌دار از داده‌ها پایه‌ای برای معرفی یادگیری ماشین در کشاورزی بوده است [۱۴].

۶-۲-۲- یادگیری ماشین در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و اینترنت اشیا

در کشاورزی، اینترنت اشیا و شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پایه و اساس مدل‌های یادگیری ماشین هستند. در زمینه شبکه‌های حسگر بی‌سیم، یک مدل یادگیری برای این که بتواند از نتایج استفاده کند می‌تواند یک تابع پارامتری ساده باشد که از داده‌ها و چند متغیر ورودی یاد می‌گیرد. همان طوری که قبلاً در فصل ۳ این کتاب مورد بحث قرار گرفت، شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌تواند شامل گره‌های حسگر هوشمند، ناهمگون، مقرون به صرفه و کم مصرف باشد که محیط فیزیکی را تشخیص

^۱. Precision Agriculture (PA)

^۲. Wireless Sensor Networks (WSN)

می‌دهد [۱۵] و این داده‌ها را به یک واحد متمرکز ادغام‌شده به نام ایستگاه پایه یا گره سینک برای پردازش بیشتر منتقل می‌کند [۱۶ و ۱۷].

با پیشرفت فناوری‌ها، یادگیری ماشینی با به‌کارگیری همان داده‌های سنتی جهت توسعه شبکه‌هایی که کارآمدتر هستند و می‌توانند به‌عنوان مدل‌های پیش‌بینی عمل کنند، ثابت شده است که یک گزینه عالی در پرداختن به مسائل شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. درمورد پیاده‌سازی یادگیری ماشین در شبکه حسگرهای بی‌سیم دلایل متعددی وجود دارد که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود [۲]:

- ۱) در یک محیط پویا، یادگیری ماشین، بخشی از شبکه‌های حسگر بی‌سیم را مورد توجه قرار می‌دهد که به بهینه‌سازی گره‌ها برای سازگاری بهتر کمک می‌کند.
- ۲) یادگیری ماشین امکانات محاسباتی کارآمدی را برای محیط‌های پیچیده فراهم می‌کند.
- ۳) با معرفی یادگیری ماشین در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کشاورزی دقیق افزایش پیدا کرده است.
- ۴) با معرفی یادگیری ماشین اینترنت اشیا پیشرفت چشمگیری داشته است.

۶-۳- فناوری‌های شناختی

مدل‌های یادگیری ماشینی روی الگوریتم‌هایی کار می‌کنند که با هدف به‌دست آوردن ویژگی خودآموزی ساخته شده‌اند. بنابراین، یادگیری ماشین به‌عنوان یک حوزه اصلی هوش مصنوعی طبقه‌بندی می‌شود. الگوریتم‌های یادگیری ماشین با الگوریتم‌های رایانه‌ای معمولی که دقیقاً بر اساس برنامه ایجادشده توسط توسعه‌دهنده کار می‌کنند، متفاوت است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین، ورودی و همچنین خروجی (نتایج) را تفسیر و تجزیه و تحلیل می‌کنند تا دقت در مدل یادگیری ماشین، با این پیشرفت افزایش یابد. مزیت این روش‌ها بر خلاف روش‌های آماری مرسوم، وابستگی کمتر مدل به دستورالعمل‌های کاربر است [۱۴]. انواع اصلی یادگیری ماشینی در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.

چهار نوع روش یادگیری ماشین وجود دارد (شکل ۶-۴). در ادامه بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۶-۳-۱- یادگیری نظارت‌شده

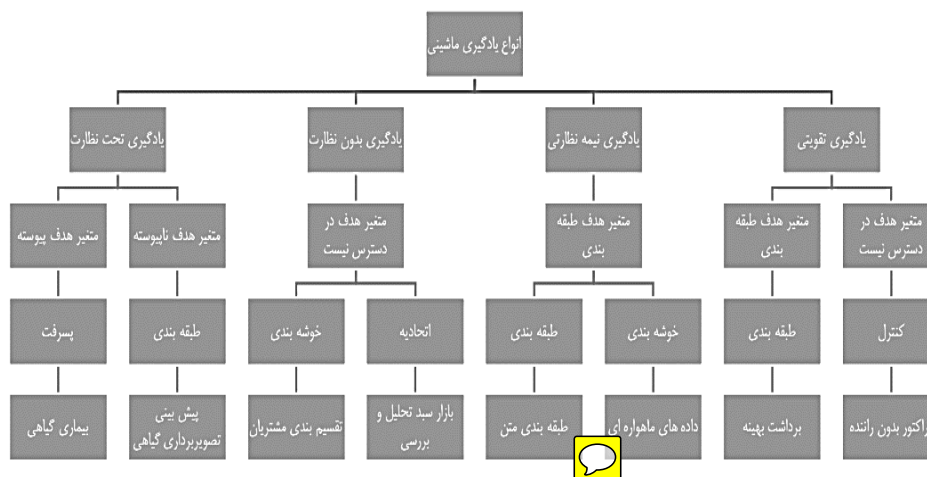
یادگیری نظارت‌شده نوعی از یادگیری ماشینی است که در آن الگوریتمی با چند مثال آموزشی ارائه می‌شود تا بتواند ورودی‌ها و خروجی‌های مربوط به آن‌ها را تفسیر و تحلیل کند [۱۴]. الگوریتم‌های یادگیری ماشینی نظارت‌شده از مجموعه داده‌های آموزشی برچسب‌گذاری شده استفاده می‌کنند و مدل یک تابع استنباط‌شده از رابطه بین خروجی، ورودی و پارامترهای سیستم تولید می‌کند [۲].

این نوع مدل، پس از آموزش کافی آماده و واجد شرایط بوده و قادر به کار روی ورودی جدید است. علاوه بر این، در اصلاح مدل پس از مقایسه نتایج با نتایج مورد نظر قوانینی وجود دارد [۸].

مقادیر هدف زیر در مورد یادگیری نظارت شده وجود دارد:

(۱) اگر یک «متغیر هدف پیوسته» وجود داشته باشد، آنگاه به مسئله رگرسیون تبدیل می شود.

(۲) اگر یک «متغیر هدف طبقه بندی» وجود داشته باشد، آنگاه به مسئله طبقه بندی تبدیل می شود.



شکل ۶-۴: انواع روش های یادگیری ماشین

برخی از الگوریتم های یادگیری نظارت شده عبارتند از: الگوریتم تصمیم، ماشین های بردار پشتیبان، شبکه های عصبی، کا-نزدیک ترین همسایه^۱، شبکه های بیزی^۲ [۲]، طبقه بندی بردار پشتیبان خطی^۳، رگرسیون لجستیک^۴ و غیره. برخی از این الگوریتم ها در زیر مورد بحث قرار می گیرند.

^۱ k-nearest neighbor

^۲ Bayesian

^۳ Support Vector Regression (SVR)

^۴ regression

۶-۳-۱-۱- الگوریتم تصمیم

در مورد الگوریتم‌های تصمیم، یک سری ویژگی‌های از پیش تعیین شده وجود دارد که داده‌های یک مجموعه را براساس این ویژگی‌ها بررسی می‌کند؛ در نتیجه یک مدل پیش‌بینی شکل می‌گیرد [۱۹].

به عبارت دیگر، می‌توان گفت الگوریتم‌های تصمیم با تکرار فرآیند یادگیری درگیر در خروجی به منظور پیش‌بینی خروجی کار می‌کند [۲].

۶-۳-۱-۲- ماشین‌های بردار پشتیبان^۱

ماشین‌های بردار پشتیبان در کشف همبستگی‌های فضا_زمان در مجموعه داده‌ها با ترکیب ابرصفحه‌های مجموعه در یک فضای ویژه که داده‌ها را با حاشیه‌های قابل توجهی با استفاده از الگوریتم‌های آن جدا می‌کند، بسیار مفید هستند. ماشین‌های بردار پشتیبان برای حل مسائل بهینه‌سازی نامحدود غیرمحدب ترجیح داده می‌شوند [۲].

۶-۳-۱-۳- شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی در حال حاضر یکی از تکنیک‌های پرکاربرد یادگیری ماشینی هستند که در آن‌ها از شبکه عصبی بیولوژیکی الهام گرفته شده است. شبکه عصبی ساده از سه لایه تشکیل شده است: یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی. این مدل از تعدادی گره به نام «نرون» تشکیل شده است و اتصالات بین نرون‌ها «لایه» نامیده می‌شود [۷]. معمولاً محاسبات زیادی در مدل شبکه عصبی [۲] درگیر است.

۶-۳-۱-۴- ک- نزدیک‌ترین همسایه^۲

با توجه به سادگی الگوریتم ک-نزدیک‌ترین همسایه، این روش متداول‌ترین روش برای یادگیری نظارت‌شده است. در این تکنیک، داده‌های نمونه آزمایشی بر اساس ویژگی‌های نزدیک‌ترین نمونه داده‌ها با استفاده از «روش طبقه‌بندی حداقل فاصله» در مقدار کای مشخص شده توسط کاربر طبقه‌بندی می‌شوند (کا تعداد همسایگانی است که باید در نظر گرفته شوند) [۲ و ۲۰].

^۱. Support Vector Machines (SVM)

^۲. K-Nearest Neighbor (k-NN)

۶-۳-۱-۵- شبکه‌های بیزی^۱

در شبکه‌های بیزی، الگوریتم به نمونه‌های آموزشی نسبتاً کمتری نسبت به سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین نیاز دارد [۲]. یک توزیع احتمال در روش‌های بیزی برای سهولت یادگیری ویژگی‌های نامشخص استفاده می‌شود [۲۱ و ۲۲]. انواع مختلفی از شبکه‌های بیزی وجود دارد که به مدل کمک می‌کند تا روابط را بهتر یاد بگیرد، مانند شبکه‌های بیزی پویا، مدل‌های مخلوط گوسی، میدان‌های تصادفی شرطی، مدل‌های مارکوف پنهان^۲ و غیره [۲]. شبکه‌های بیزی نوعی مدل گرافیکی احتمالی هستند که از فرض بیزی برای محاسبات احتمال استفاده می‌کنند [۲۳].

۶-۳-۲- یادگیری بدون نظارت

در یادگیری بدون نظارت، الگوریتم یادگیری ماشین با هیچ متغیر هدفی [۱۴] ارائه نمی‌شود، (یعنی هیچ مجموعه داده‌ای وجود ندارد که الگوریتم بتواند به آن مراجعه کند) [۱۸]. از آنجایی که هیچ مجموعه داده مشخص یا بردار خروجی وجود ندارد، مدل یادگیری ماشین شباهت‌های موجود در مجموعه داده را بررسی می‌کند. الگوریتم یادگیری ماشین بدون نظارت، روابط و الگوهای پنهان را در بین متغیرها کشف می‌کند [۲]. الگوریتم‌های خوشه‌بندی و الگوریتم‌های تداعی به این دسته از یادگیری ماشین تعلق دارند [۱۴].

به‌طور کلی، دو نوع الگوریتم در یادگیری ماشینی بدون نظارت وجود دارد [۱۸]:

(۱) خوشه‌بندی: این الگوریتم به تفکیک یا توزیع یک مجموعه داده به تعدادی گروه نسبتاً

کوچک اشاره دارد، به‌طوری‌که مجموعه داده‌ها در هر گروه یا خوشه نسبت به داده

گروه‌های دیگر شباهت بیشتری به یکدیگر دارند. داده‌های با شباهت بیشتر در یک خوشه

گروه‌بندی می‌شوند و به‌همین ترتیب، خوشه‌های زیادی تشکیل می‌شوند.

(۲) ارتباط: این نوع الگوریتم بر یافتن روابط معینی بین متغیرها در پایگاه داده‌های بزرگ

متمرکز است.

به عبارت ساده‌تر، می‌توان نتیجه گرفت که خوشه‌بندی به طبقه‌بندی داده با توجه به ویژگی‌ها

یا شباهت‌های نسبتاً مشترک آن‌ها مربوط می‌شود، درحالی‌که ارتباط، مبتنی بر روابط بین شباهت

داده و کشف الگوها در بین ویژگی‌های داده‌است [۱۸].

برخی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین بدون نظارت عبارت‌اند از: تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی،

خوشه‌بندی k-means، کاهش ابعاد، شبکه‌های عصبی یا یادگیری عمیق، تجزیه ارزش تکی، تجزیه

^۱. Bayesian

^۲. Hidden Markov Models

و تحلیل مؤلفه‌های مستقل، مدل‌های توزیع و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی [۱۸]. علاوه بر این، خوشه‌بندی k-means و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی مهم‌ترین الگوریتم‌ها هستند [۲].

۶-۳-۱- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی شامل الگوریتمی برای یادگیری بدون نظارت است که در آن تنها اطلاعات مهم، که به عنوان مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند، از داده‌ها استخراج می‌شود. در واقع، اجزای اصلی مجموعه جدیدی از متغیرهای متعامد هستند. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای فشرده‌سازی داده‌ها و کاهش ابعاد مناسب است. معمولاً در مورد داده‌های بزرگ، فرآیند را با انتخاب مؤلفه‌های اصلی و کنار گذاشتن سایر مؤلفه‌های درجه پایین‌تر و بی‌اهمیت از مدل، ساده می‌کنند [۲].

۶-۳-۲- خوشه‌بندی K-Means

خوشه‌بندی K-means روش دیگری است که برای طبقه‌بندی داده‌های بدون مشخصات استفاده می‌شود. خوشه‌بندی برای فرآیند یادگیری ماشین مدل مهم است و در یافتن روندها برای مجموعه داده‌ای که در آن نقاط داده تقریباً مشابه است، مفید است [۲۴]. در این الگوریتم، نقطه مرکزی خوشه‌ها محاسبه می‌شود و مجموعه داده‌ها با کمک «طبقه‌بندی حداقل فاصله» بر اساس شباهت‌ها جمع‌آوری می‌شوند. در این مورد، k به تعداد مرکز اشاره دارد و «means» به مرکز اشاره دارد [۲۰].

۶-۳-۳- یادگیری نیمه نظارتی

یادگیری نیمه نظارت‌شده به عنوان ترکیبی از یادگیری نظارت‌شده و بدون نظارت در نظر گرفته می‌شود، زیرا از داده‌های مشخص و بدون مشخصات برای آموزش مدل یادگیری ماشین استفاده می‌شود. معمولاً داده‌های بدون مشخصات مورد استفاده در آموزش به طور قابل توجهی بیشتر از داده‌های مشخص هستند.

نیروهای محرک در انتخاب الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحت نظارت یا بدون نظارت، عمدتاً ساختار داده، اندازه داده‌های مورد استفاده و سناریوهای کاربردی هستند [۱۸]. به گفته بسیاری از محققان یادگیری ماشینی، استفاده از الگوریتم‌های نیمه نظارت‌شده برای بهبود قابل ملاحظه دقت یادگیری یک مدل کشف شده است [۷].

توجه: نوع دیگری از یادگیری ماشین وجود دارد که نباید با «یادگیری تحت نظارت» اشتباه گرفته شود و به عنوان «یادگیری با نظارت ضعیف» شناخته می‌شود. از آنجایی که هزینه به دست

آوردن داده‌های مشخص معمولاً گران است به دلیل این واقعیت که به راحتی به دست نمی‌آیند؛ مشخصات آموزشی ارزان قیمتی که دارای نویز محدود یا نادقیق هستند، استفاده می‌شود که می‌تواند یک مدل یادگیری ماشین رضایت‌بخش ایجاد کند [۲۵].

۶-۳-۴- یادگیری تقویتی

در یادگیری تقویتی، بازخورد (یعنی درست یا اشتباه) برای هر عمل به الگوریتم منعکس می‌شود (معروف به سیگنال تقویتی [۸]) و این بازخورد تجمعی عملکرد و کارایی الگوریتم را تقویت می‌کند و در نتیجه مزایا را با تجربه به حداکثر می‌رساند.

بسیاری از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی از تکنیک‌های برنامه‌نویسی پویا استفاده می‌کنند [۷]. برخی از الگوریتم‌های محبوب عبارت‌اند از الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم‌های تصمیم مارکوف [۱۴]، یادگیری Q [۲۲ و ۲۶] و غیره.

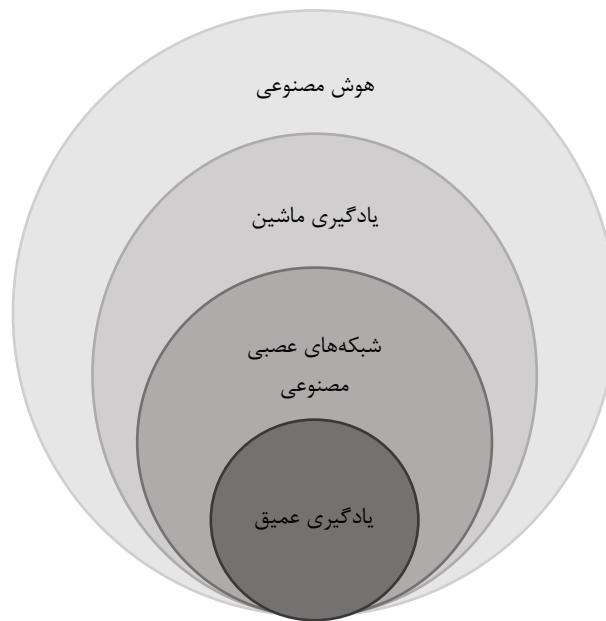
توجه: توضیح هر یک از الگوریتم‌ها به تفصیل از حوصله این کتاب خارج است، بنابراین برای آگاهی خواننده از تکنیک‌های یادگیری ماشین مورد استفاده در کشاورزی، تنها توضیحات ابتدایی از این الگوریتم‌ها ذکر شده است.

۶-۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی و یادگیری عمیق

در قسمت‌های قبلی این فصل، هوش مصنوعی، زیرمجموعه‌های آن، تکنیک‌های هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، زیرمجموعه‌های یادگیری ماشین و تکنیک‌های آن توضیح داده شده است. یک سوءتفاهم رایج در ارتباط با اصطلاحاتی مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، شبکه عصبی مصنوعی و یادگیری عمیق وجود دارد. همبستگی‌های هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ و یادگیری عمیق^۲ در نمودار زیر نشان داده شده است:

^۱. Artificial Neural Networks (ANN)

^۲. Deep Learning (DL)



شکل - زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی

در اصل، هدف یک شبکه عصبی مصنوعی حل مشکلات به روش مغز انسان بود [۷]. یکی از روش‌های پرکاربرد در یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی مصنوعی است که سعی می‌کند از مغز انسان در انجام عملکردهای پیچیده مانند تولید الگو، شناخت، یادگیری و تصمیم‌گیری تقلید کند [۲۷]. شبکه عصبی مصنوعی به ایجاد روابط چندگانه بین خوشه‌های اطلاعات کمک می‌کند و اغلب در مواردی که داده‌ها دارای روابط غیرخطی هستند ترجیح داده می‌شود [۲۴]. به‌طور کلی دو دسته از شبکه‌های عصبی مصنوعی وجود دارد: «شبکه‌های عصبی سنتی» و «شبکه‌های عصبی عمیق». شبکه‌های عصبی مصنوعی سنتی: این شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌های نظارت‌شده یادگیری ماشین، طبقه‌بندی می‌شوند و معمولاً برای مسائل رگرسیون و طبقه‌بندی استفاده می‌شوند [۲۸]. مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی متشکل از تعدادی گره یا واحد به نام «نرون‌های مصنوعی» است که برای تشکیل یک شبکه به یکدیگر متصل می‌شوند. به اتصال بین نرون‌های مصنوعی لبه می‌گویند. هم گره‌ها و هم لبه‌ها دارای وزنی هستند که می‌توانند با ادامه یادگیری، قدرت سیگنال یک اتصال را افزایش یا کاهش دهند [۷]. در یک مدل شبکه عصبی مصنوعی ساده، گره‌ها در لایه‌های مختلفی قرار می‌گیرند: لایه ورودی (ورودی)، یک یا چند لایه پنهان (یادگیری) و لایه خروجی (نتیجه) [۲۸].

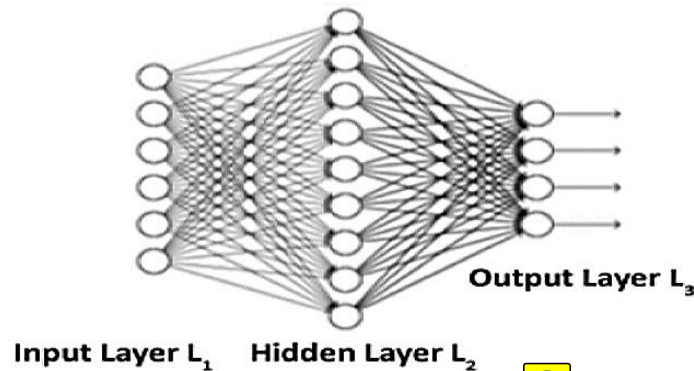
نمونه‌هایی از الگوریتم‌های شبکه عصبی مصنوعی عبارت‌اند از: شبکه‌های تابع پایه شعاعی [۲۹]، الگوریتم‌های پرسپترون [۳۰]، پس‌انتشار [۳۱] و پس‌انتشار انعطاف‌پذیر [۳۲]، الگوریتم‌های انتشار متقابل [۳۳]، سیستم‌های استنتاج فازی تطبیقی-عصبی [۳۴]، رمزگذار خودکار، XY-Fusion، شبکه‌های کوهون تحت نظارت [۳۵]، شبکه‌های هاپفیلد [۳۶]، پرسپترون چندلایه [۳۷]، نقشه‌های خودسازماندهی [۳۸]، ماشین‌های یادگیری فوق‌العاده [۳۹]، شبکه عصبی رگرسیون تعمیم‌یافته [۴۰]، مجموعه‌ای از شبکه‌های عصبی یا مجموعه‌ای از ماشین‌های یادگیری تکاملی خودتطبیقی و میانگین‌گیری [۴۱] و غیره.

شکل ۶-۶ یک شبکه عصبی مصنوعی ساده را نشان می‌دهد که در آن دایره‌ها، نشان‌دهنده «گره‌ها» (نرون‌های مصنوعی) هستند و خطوطی که به گره‌های مصنوعی می‌پیوندند، «لبه‌ها» را نشان می‌دهند.

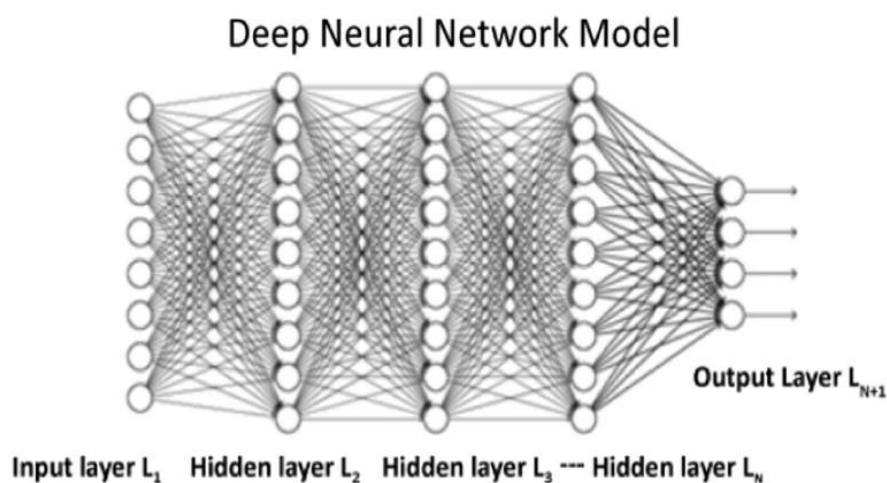
شبکه‌های عصبی عمیق: این شبکه‌های عصبی مصنوعی با نام‌های یادگیری عمیق یا شبکه‌های عصبی عمیق نیز شناخته می‌شوند [۴۲] و صفت «عمیق» در یادگیری عمیق از استفاده لایه‌های متعدد در شبکه می‌آید [۴۳]. یک مدل شبکه عصبی مصنوعی در شکل ۶-۷ ارائه شده است. به زبان ساده، شبکه‌های عصبی مصنوعی، شبکه‌هایی با لایه‌های پنهان زیادی هستند، اما نوع یادگیری می‌تواند تحت نظارت، نیمه‌نظارت و یا حتی بدون نظارت باشد. سطوح مختلف طراحی داده‌ها از طریق لایه‌های مخفی مختلف انجام می‌شود و یکی از ویژگی‌های کلیدی این است که گاهی اوقات مرحله استخراج ویژگی را خودش انجام می‌دهد.

در حوزه‌های مختلف در یک کار خاص، این مدل‌ها نتایجی ارائه کرده‌اند که نزدیک به عملکرد متخصص انسانی بوده و یا حتی از آن پیشی گرفته است [۴۳]. علاوه بر این، مدل‌های یادگیری عمیق به‌طور چشمگیری کشاورزی را بهبود بخشیده است [۲۸].

Artificial Neural Network Model



شکل ۶-۶- تصویر ساده یک مدل شبکه عصبی مصنوعی



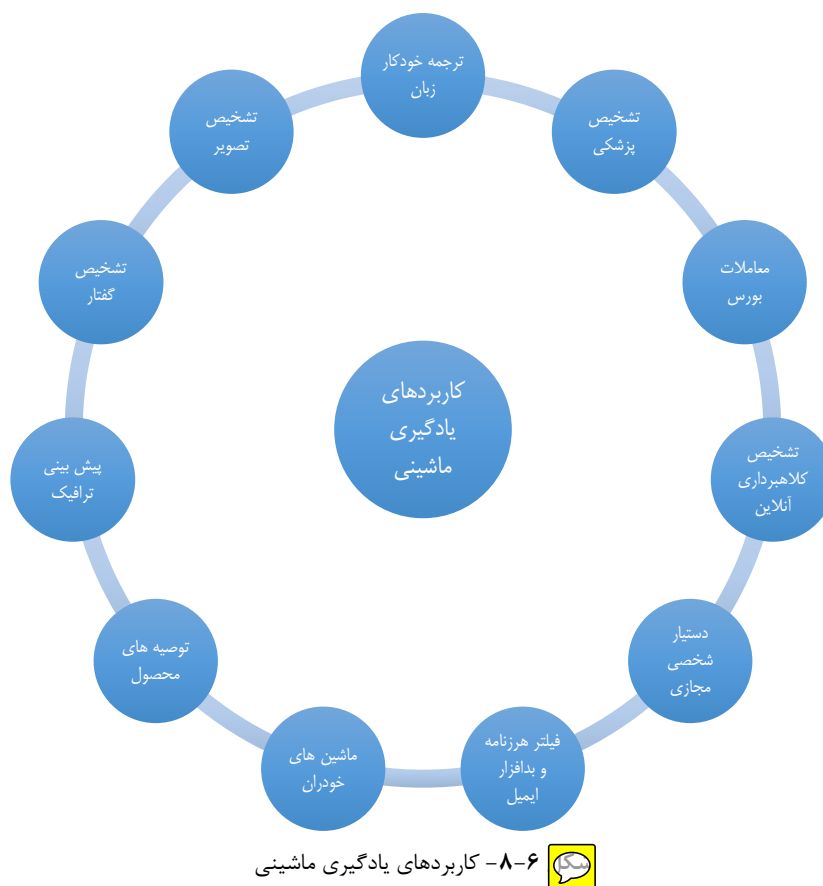
شکل ۷-۶- تصویر ساده یک مدل شبکه عصبی عمیق

۶-۵- کاربردهای کلی یادگیری ماشین

برخی از کاربردهای اصلی یادگیری ماشینی در شکل ۶-۸ مشخص شده است.

۶-۶- کاربردهای کلی یادگیری ماشین

بخش‌های زیادی در کشاورزی وجود دارد که در آن‌ها هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. محصولات کشاورزی، روش‌های کشاورزی در مزرعه و سایر فرآیندهای مرتبط که تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم بر کشاورزی می‌گذارند، تحول پیدا کرده‌اند. برخی از بخش‌هایی که حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در آن‌ها تأثیر قابل توجهی داشته است در زیر ذکر شده است:



(۱) اینترنت اشیا در کشاورزی

اینترنت اشیا در کشاورزی در فصل چهارم این کتاب به وضوح توضیح داده شده است و می توان اهمیت و تأثیری را که بر حوزه کشاورزی دارد استنباط کرد. پیاده سازی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در اینترنت اشیا عملکرد آن را افزایش داده است.

(۲) تجزیه و تحلیل داده های کشاورزی

داده های عظیمی که تولید می شود نیاز به تجزیه و تحلیل دقیق دارد تا نتیجه دقیق به دست آید؛ هوش مصنوعی یا یادگیری ماشین بهترین راه حل را برای این نیازها ارائه می دهد. برخی از مشاهدات مبتنی بر تصویر که به واسطه هوش مصنوعی یا یادگیری دقیق ایجاد شده اند در تشخیص بیماری، تشخیص آمادگی محصول، بهینه سازی منابع مدیریت مزرعه و موارد دیگر مفید هستند.

۳) محصولات زراعی

استفاده خردمندانه از محصولات زراعی مانند دانه‌ها و سایر محصولات به‌طور قابل توجهی توسط این فناوری‌ها بهبود می‌یابد، زیرا تصمیم‌گیری‌های هوشمندانه به کشاورز توصیه می‌شود که بر اساس پارامترهای تأثیرگذار مانند وضعیت خاک، آب‌وهوا، روند بازار، نیازهای سفارشی یک محصول کشاورزی خاص و غیره است.

۴) نظارت بر محصول

یکی از جنبه‌های مهم کشاورزی دقیق هوشمند، نظارت بر محصولات است؛ زیرا تمام اقدامات دیگر به‌شدت به نظارت مؤثر بر محصولات وابسته است که در غیر این صورت می‌تواند نتیجه کلی کشاورزی را کاهش دهد. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین مورد استفاده در فناوری‌هایی مانند تصویربرداری فراطیفی، لیزر سه‌بعدی، سنجش از راه دور و غیره، نظارت بر محصول را آسان، راحت و دقیق کرده‌است.

۵) خودکارسازی کشاورزی

هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، خودکارسازی در کشاورزی را ممکن ساخته‌اند؛ بنابراین شیوه‌های کشاورزی در مقایسه با زمانی که به‌شدت به تلاش‌های انسان تکیه می‌شد، به شدت بهبود یافته‌است. حوزه‌های متعددی در کشاورزی وجود دارد که هوش مصنوعی نقش بزرگی در خودکارسازی آن داشته‌است.

برخی از فرآیندها مانند آبیاری، نیازمند تجربه و دانش وسیع کشاورزی است. با این حال، دقت در این فرآیند به‌صورت دستی امکان‌پذیر نبود. با توسعه یک مدل مبتنی بر هوش مصنوعی یا یادگیری ماشین که آبیاری را خودکار می‌کند، هدررفت آب به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و آبیاری بهینه، عملکرد کلی را افزایش می‌دهد [۴۴].

۶-۷- برنامه‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کشاورزی

هوش مصنوعی ثابت کرده‌است که یکی از راه‌حل‌های مؤثر و راهبردی در شرایط فعلی جهانی با منابع کمتر و تقاضای بسیار زیاد است. به دلیل افزایش بهره‌وری انتظارات کشاورزان تا حد زیادی برآورده شده است. در گذشته، نمی‌شد تصور کرد که الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به‌طور دقیق یک انقلاب کشاورزی را پیش‌بینی کنند و به راه بیندازند [۴۵]. کشاورزی هوشمند با استفاده از الگوریتم‌های با دقت بالای هوش مصنوعی یا یادگیری ماشین، کشاورزان را هم‌تراز با دنیای فناوری نگه می‌دارد و به‌طور قابل توجهی به قلمرو کشاورزی کمک کرده‌است [۴۴ و ۴۶]. برخی از کاربردهای فردی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در زیر توضیح داده شده است.

۶-۷-۱- مدیریت خاک

خاک یک منبع طبیعی ناهمگون است که در کشاورزی بسیار مهم است و دانش درباره خاک برای بهبود عملکرد کشاورزی ضروری است. فرآیندهایی در خاک وجود دارد که ماهیت پیچیده‌ای دارند و همچنین مکانیسم‌هایی وجود دارد که برای درک آن‌ها به بررسی‌های زیاد نیاز است. اطلاعات موجود مربوط به خاک، باید دقیق باشد تا بتوان مدیریت مناسب خاک را به‌دست آورد. داده‌های ویژگی‌های خاک کشاورزی، مانند تخمین خشک‌کردن خاک، شرایط، دما و رطوبت و غیره به یک مدل یادگیری ماشین داده می‌شود تا راه‌حلی قابل اعتماد برای ارائه بینش‌های ارزشمند تولید کند. به‌این‌ترتیب، مدیریت خاک به‌منظور بهره‌مندی از حداکثر منافع برای اهداف کشاورزی ساده‌تر می‌شود [۲۸].

نمونه‌هایی از این فناوری عبارت‌اند از: ردیابی ژنومیک^۱ (یادگیری ماشینی برای تشخیص عیوب خاک)، مشابه برنامه پلنتیکس^۲ [۴۷]. شرکت ردیابی ژنومیک مستقر در کالیفرنیا خدمات تجزیه و تحلیل خاک را به کشاورزان ارائه می‌دهد. سرمایه‌گذار اصلی آن (ایلومینا^۳) به توسعه سیستمی کمک کرد که از یادگیری ماشینی استفاده می‌کند تا مشتریان را از نقاط قوت و ضعف خود آگاه کند. گزارش شده است که کاربران پس از ارسال نمونه‌ای از خاک به ردیابی ژنومیک، خلاصه‌ای عمیق از محتوای خاک خود را دریافت می‌کنند [۴۸].

۶-۷-۲- سامانه آبیاری هوشمند

سامانه‌های آبیاری هوشمند مجهز به هوش مصنوعی قادر به ارائه آبیاری دقیق و بهینه برای حفظ شرایط خاک مطلوب هستند. این امر باعث کاهش هدررفت آب، هزینه‌های نیروی کار، هزینه‌های تولید و افزایش عملکرد کلی می‌شود. بسیاری از دانشمندان بر این باورند که استفاده عاقلانه از آب در این سامانه‌های آبیاری احتمالاً تأثیری جهانی بر آب خواهد داشت [۴۶].

تخمین تبخیر و تعرق برای طراحی و مدیریت یک سامانه آبیاری هوشمند ضروری است؛ اما محاسبه دقیق آن یک فرآیند پیچیده است. این مشکل با تخمین دقیق تبخیر و تعرق به‌وسیله الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری دقیق حل می‌شود [۲۸]. نمونه‌هایی از این فناوری عبارت‌اند از کالتیوت^۴ [۴۹]، دیجیتوم^۵ [۵۰] و غیره.

¹. Trace Genomics

². Plantix

³. Illumina

⁴. Cultyvate

⁵. DIGITEUM

۶-۷-۳- پیش‌بینی آب‌وهوا

کشاورزی به‌شدت به شرایط آب‌وهوایی مساعد وابسته است و هر گونه تغییر نامطلوب، عواقب ناگواری بر بهره‌وری دارد. پیش‌بینی آب‌وهوا برای جلوگیری از مسائلی که می‌تواند اثرات مخربی بر کشاورزی داشته باشد، بسیار اهمیت دارد. با اجرای الگوریتم‌های هوش مصنوعی، پیشرفت زیادی در دقت پیش‌بینی آب‌وهوا حاصل شده است؛ از این‌رو، هوش مصنوعی به‌طور غیرمستقیم به عرصه کشاورزی کمک می‌کند [۱۴].

مدل‌های پیش‌بینی فصلی، به بهبود دقت کشاورزی و افزایش بهره‌وری کمک می‌کند. این مدل‌ها می‌توانند الگوهای آب‌وهوای آینده را ماه‌ها زودتر پیش‌بینی کنند تا به تصمیمات کشاورزان کمک کنند. پیش‌بینی فصلی به‌ویژه برای مزارع کوچک در کشورهای در حال توسعه مانند هند، که به باران وابسته است، ارزشمند است. نمونه‌هایی از این فناوری عبارت‌اند از: آی‌ام‌دی^۱، وی‌سید^۲، نوا^۳ [۵۱] و غیره.

۶-۷-۴- پهبادهای کشاورزی

پهبادهای در بخش‌های مختلف از جمله عرصه کشاورزی کاربرد دارند. با اجرای هوش مصنوعی در هواپیماهای بدون سرنشین، کاربرد آن در کشاورزی دقیق به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. هواپیماهای بدون سرنشین در عملیات مختلفی مانند جمع‌آوری داده‌ها، نظارت بر محصول و مزرعه، تشخیص بیماری، بسیاری از روش‌های کشاورزی دقیق مانند سمپاشی، نظارت و غیره کمک می‌کنند. برای نمونه شرکت فناوری‌های آسمانی سنجاب^۴ شرکتی پیشرو که پهبادهایی را برای عملکرد بالا و کاهش هزینه کلی محصول تاکستان معرفی کرده است. الگوریتم‌ها تصاویر گرفته‌شده را یکپارچه و تجزیه و تحلیل می‌کنند تا گزارش سلامتی محصولات را ارائه دهند [۵۲].

۶-۷-۵- ربات‌های کشاورزی

هدف هوش مصنوعی همیشه به حداقل رساندن عملیات‌های انسانی با استفاده از فناوری مخرب بوده است. حوزه کشاورزی یکی از حوزه‌های مهم جهان است که به خودکارسازی و دستگاه‌های هوشمندی نیاز دارد تا بتواند عملکردهایی را انجام دهد که به‌طور سنتی به مداخله انسان نیاز داشت. شرکت‌ها، در حال توسعه و برنامه‌ریزی ربات‌های مستقل هستند که می‌توانند وظایف کشاورزی ضروری مانند برداشت محصولات با حجم بالاتر و سرعت بیشتر نسبت به کارگران انسانی

^۱. IMD

^۲. ViSeed

^۳. NEWA

^۴. Sky Squirrel Technologies Inc.

را انجام دهند [۴۶]. شرکت تکنولوژی رودخانه آبی^۱ رباتی به نام See & Spray توسعه داده است که طبق گزارشات از دید کامپیوتری و یادگیری ماشین برای نظارت و سم‌پاشی دقیق علف‌کش فقط در صورت نیاز استفاده می‌شود. ربات بعدی رپا^۲ است که آفات و علف‌های هرز را از بین می‌برد [۵۳].

۶-۷-۶- مقابله با چالش‌های کار

بر اساس گزارش‌ها، کمبود نیروی کار منجر به ازدست‌رفتن میلیون‌ها دلار درآمد در مناطق مهم کشاورزی شده است. نمونه‌هایی از این تلاش‌ها عبارت‌اند از: ربات سیرو^۳ برای برداشت محصول [۵۲]. سیرو رباتی را برای کمک به کشاورزان توت‌فرنگی در انتخاب و بسته‌بندی محصولات خود توسعه داد. ادعا شده است که این ربات می‌تواند هشت هکتار در یک روز برداشت کند و جایگزین ۳۰ کارگر انسانی شود. این ربات برگ‌ها را می‌گیرد، محصول را از نظر زمان برداشت بررسی می‌کند و سپس توت‌فرنگی‌های رسیده را می‌چیند.

۶-۷-۷- تراکتورهای بدون راننده

کشاورزان با ترکیب نرم‌افزارهای پیچیده‌تر با فناوری‌هایی مانند حسگرها، رادارها و سیستم‌های جی‌پی‌اس، به زودی می‌توانند این ماشین صدساله را به ربات‌ها بسپارند. به عنوان مثال می‌توان به تراکتورهای هوشمند اشاره کرد که یک ماشین مبتنی بر هوش مصنوعی با تعداد زیادی فناوری نصب‌شده مانند حسگرها، رادارها و سیستم‌های موقعیت‌یاب به منظور انجام عملکردهای بدون اپراتور هستند.

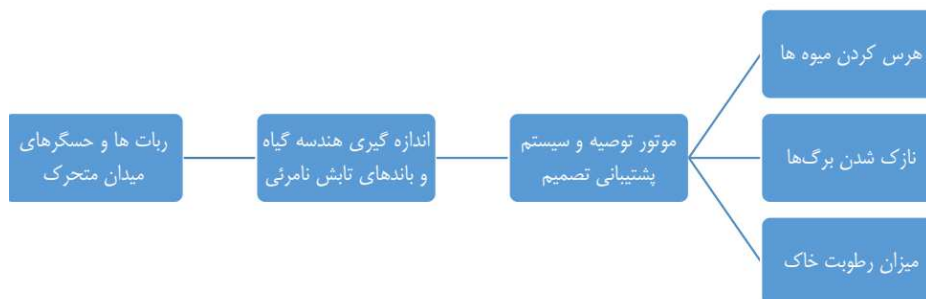
¹. Blue River Technology

². Rippa

³. CROO

۶-۷-۸- کاشت محصول

اساساً، هوش مصنوعی در کاشت محصول برای پیش‌بینی و تعیین زمان و نحوه کاشت استفاده می‌شود. همچنین می‌توان محصولات را با استفاده از ماشین‌آلات هوش مصنوعی در فواصل مساوی و در اعماق بهینه کشت کرد.



شکل ۶-۹- فناوری رودخانه آبی شرکت جان‌دیر [۴۴]

۶-۷-۹- سیستم‌های نظارت بر محصول

معرفی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در شیوه‌های کشاورزی برای نظارت بر محصولات، تأثیر مثبت زیادی بر کشاورزی دارد؛ زیرا بسیاری از جنبه‌های کشاورزی را بهبود بخشیده است. در زیر به برخی از این حوزه‌ها اشاره می‌شود:

(۱) انتخاب محصول و پیش‌بینی بازده محصول

انتخاب مناسب محصولات در تعیین عملکرد نقش اساسی دارد. این انتخاب به پارامترهای مختلفی مانند توپوگرافی منطقه، آب‌وهوا، نوع خاک، ترکیب خاک، روند بازار و غیره بستگی دارد. الگوریتم‌های مورد استفاده در هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به اندازه کافی هوشمند هستند تا تجزیه و تحلیل‌های چندبعدی را برای پیش‌بینی مناسب‌ترین محصولی که می‌تواند عملکرد را به حداکثر برساند، انجام دهد. ابزارهای رایج برای این منظور عبارت‌اند از شبکه‌های عصبی مصنوعی، کا-نزدیک‌ترین همسایه^۱، الگوریتم تصمیم و غیره [۵۴-۵۷]. برای مثال مایکروسافت در حال حاضر با کشاورزان آندرا پردیش^۲ برای ارائه خدمات مشاوره با استفاده از مجموعه اطلاعات کورتانا^۳ مجهز به یادگیری ماشین و پاور بی‌آی^۴ کار می‌کند. این پروژه آزمایشی از یک برنامه کاشت هوش مصنوعی برای توصیه

^۱ k-Nearest Neighbor(k-NN)

^۲ Andhra Pradesh

^۳ Cortana

^۴ Power BI

تاریخ کاشت، آماده‌سازی زمین، کوددهی مبتنی بر آزمایش خاک، استفاده از کود دامی، تیمار بذر، عمق کاشت بهینه و موارد دیگر به کشاورزان استفاده می‌کند که در نهایت منجر به افزایش ۳۰ درصدی عملکرد در هکتار در میانگین محصول شده است.

استارت‌آپ فناوری کشاورزی پیت^۱ مستقر در برلین، یک برنامه یادگیری عمیق به نام پلنتیکس^۲ توسعه داده‌است که طبق گزارشات، نقص‌های بالقوه و کمبود مواد مغذی در خاک را شناسایی می‌کند. تجزیه و تحلیل به وسیله الگوریتم‌های نرم‌افزاری انجام می‌شود که الگوهای خاص شاخ و برگ را با نقص‌های خاص خاک، آفات گیاهی و بیماری‌ها مرتبط می‌کند. این برنامه مبتنی بر هوش مصنوعی با تهدید ملخ برای محصولات گوجه‌فرنگی مقابله کرد.

(۲) تشخیص بیماری

پیش‌بینی دقیق بیماری یک پیشرفت در کشاورزی دقیق هوشمند بوده‌است. تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین دقت بالایی در مقایسه با رویکردهای آماری سنتی ارائه می‌دهند؛ زیرا مدل‌های هوش مصنوعی یا یادگیری ماشین قادر به تجزیه و تحلیل بهتر داده‌های ناهمگن بوده‌اند [۶۰-۵۸]. بنابراین، ورودی‌ها به‌طور خاص از نظر زمان، مکان و گیاهان آسیب‌دیده مورد هدف قرار می‌گیرند [۴۶].

تکنیک اس‌وی‌ام^۳ در ابتدا برای تشخیص بیماری و طبقه‌بندی استفاده شد [۶۱]. الگوریتم‌های یادگیری ماشین شامل نمونه‌های دیگر است که برای تشخیص الگو در تشخیص بیماری‌ها با استفاده از تصاویر برگ‌های محصول استفاده می‌شود [۱۴ و ۶۲].

(۳) تشخیص علف‌های هرز

از بین بردن علف‌های هرز مزرعه به‌طور سنتی سبب تخریب محیط‌زیست می‌شد. با این حال، الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تشخیص علف‌های هرز را بهبود بخشید و از یک ماشین مبتنی بر هوش مصنوعی برای از بین بردن آن بدون تخریب محیط با کاربرد علف‌کش استفاده کرد [۴۶].

(۴) بهبود کیفیت محصول

هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در یافتن امکانات جدید برای بهبود کشاورزی کمک می‌کنند تا راه را برای بهبود کیفیت محصول هموار کنند. محدودیت‌های انسانی در تجزیه و تحلیل داده‌ها و ایجاد روابط بین پارامترهای تأثیرگذار مختلف می‌تواند نمونه‌ای از

^۱. PEAT

^۲. Plantix

^۳. SVM

محدودیت باشد؛ درحالی که یک ماشین مجهز به هوش مصنوعی می تواند از این اطلاعات برای توصیه روشی برای بهبود کیفیت محصول استفاده کند [۴۶].

۶-۷-۱۰- تصمیم گیری در مورد حداقل قیمت پشتیبانی^۱

به طور معمول، تصمیم گیری در مورد حداقل قیمت به منظور تأمین امنیت کشاورزان بر عهده دولت است و از محصولی به محصول دیگر متفاوت است. این مقدار حداقل قیمت برای جمع آوری محصول است. برای تعیین حداقل قیمت، عوامل متعددی مانند کل هزینه های رشد محصول، نوسانات هزینه های نهاده، تقاضا و عرضه، روند قیمت بازار، برابری قیمت بین محصول، هزینه های خاص منطقه مانند حمل و نقل، هزینه های بازاریابی و غیره تأثیرگذار هستند [۶۳]. این داده های پیچیده و کلان که از این عوامل شکل می گیرد، نیاز به یک تحلیل دقیق دارد که روش های مرسوم معمولاً در انجام آن ناکام هستند. از این رو، تکنیک های یادگیری ماشین به بهترین وجه مناسب هستند و می توانند بینش های ارزشمند و مبنایی برای تصمیم گیری پشتیبانی حداقل هزینه ارائه دهند [۱۴].

۶-۷-۱۱- توسعه کشاورزی دقیق به کشاورزی نسل پنج

هوش مصنوعی و یادگیری ماشین یک نیروی محرکه مطلق برای تغییر «کشاورزی دقیق» به «کشاورزی نسل پنج» بوده اند. داده های زمان واقعی، در ترکیب با داده هایی که به راحتی در دسترس هستند، ارائه شده به یک مدل هوش مصنوعی یا یادگیری ماشین، تصمیمات دقیق بسیاری را برای هر هدف خاص ایجاد می کند. در برخی وظایف خاص، ماشین های هوشمند که با هوش مصنوعی کار می کنند، توانستند از یک متخصص انسانی بهتر عمل کنند. چنین مثال هایی شامل استفاده از بینایی کامپیوتری در تجزیه و تحلیل تصویر است. برخی از مزایای هوش مصنوعی در کشاورزی دقیق شامل استفاده بهینه و دقیق از آفت کش ها، حشره کش ها و سایر ورودی ها و همچنین کاهش تخریب محیط زیست و کاهش هزینه کلی است [۴۶].

۶-۷-۱۲- گلخانه

هوش مصنوعی کاربرد بسیار مهمی در عملکرد گلخانه ای دارد. سیستم مبتنی بر هوش مصنوعی که برای کنترل و مدیریت آب و هوای گلخانه طراحی شده است، بر تجزیه و تحلیل دقیق داده ها برای دستیابی به دقت بالا تأکید دارد. با توجه به پارامترهای مختلفی که باید در هنگام تنظیم آب و هوای گلخانه در نظر گرفته شود، انجام آن به طور معمول به یک کار خسته کننده تبدیل می شود. شبکه های

¹. Deciding The Minimum Support Price (MSP)

عصبی مصنوعی و کنترل‌کننده‌های منطق فازی^۱ از جمله روش‌هایی هستند که در این فرآیند برای دستیابی به دقت بالا از نظر تنظیم دما و رطوبت مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴۶].

جدول ۶-۱- برخی از الزامات و ارائه‌دهندگان کشاورزی دقیق هوشمند

شرکت	برنامه
کراپین ^۲ ، بنگالورو	تجزیه و تحلیل و پایش خاک
آزمایشگاه‌های اینتلو ^۳ ، بنگالورو	تجزیه و تحلیل تصویر
مایکروسافت، هند	تجزیه و تحلیل پیش‌بینی
گوباسکو ^۴ ، لاکنو	مدیریت زنجیره تأمین
گرامافون، ایندور	تخصیص چرخه محصول
جیوابومی ^۵ ، بنگلور	تجمیع محصولات کشاورزی
آگروستار ^۶ ، پونا	مشاوره کشاورز

۶-۸- نتیجه

جهان با اجرای فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، لبه یا مه، بلاکچین و غیره در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی تغییر شکل داده است. یادگیری ماشینی زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی است که برای آموزش ماشین‌ها جهت یادگیری از دستورالعمل‌ها و تجربیات به‌منظور بهبود عملکرد استفاده می‌شود. یادگیری ماشینی از طریق دستگاه‌های خودکار هوشمند و مدل‌های پیش‌بینی که از الگوریتم‌های دقیق یادگیری ماشین برای بهبود شیوه‌های کشاورزی مختلف استفاده می‌کنند، کمک قابل توجهی کرده است. این مدل‌های پیش‌بینی به‌منظور اجتناب از هر یک از مسائلی که ممکن است باعث اثرات مضر شود، مهم هستند. یادگیری ماشین کاربردهای بسیار زیادی در کشاورزی دارد که باعث بهبود کمیت و کیفیت محصول، نظارت، مدیریت و غیره شده است. یادگیری ماشین برای داده‌های بزرگ کشاورزی در یک تحلیل دقیق استفاده می‌شود که بینش‌های معناداری در پایدار کردن کشاورزی ارائه می‌دهد. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین یک نیروی محرکه مطلق برای تغییر «کشاورزی دقیق» به «کشاورزی نسل پنجم» بوده‌اند. یادگیری ماشین فرصت‌هایی را برای ارتقای مراحل مختلف در کشاورزی فراهم کرده است و از این‌رو، دامنه وسیعی دارد.

^۱. fuzzy logic controllers (FLCs)

^۲. CropIn

^۳. Intello

^۴. Gobasco

^۵. Jivabhum

^۶. Agrostar

منابع

1. K. Walch, "Why Cognitive Technology May Be a Better Term than Artificial Intelligence," 22-Dec-2019. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/12/22/why-cognitive-technology-may-be-a-better-term-than-artificial-intelligence/#b42eefb197c3>. [Accessed: 18-June-2020].
2. Z. A. Khan and A. Samad, "A Study of Machine Learning in Wireless Sensor Network," *Int. J. Comput. Networks Appl.*, vol. 4, no. 4, pp. 105–112, 2017, doi: 10.22247/ijcna/2017/49122.
3. F. Nabi, S. Jamwal, and K. Padmanbh, "Machine Learning for Data Analysis and Its Applications," *Int. J. Adv. Eng. Res. Dev.*, vol. 5, no. 1, Jan. 2018, doi: 10.21090/ijaerd.etiece019.
4. H. Daumé III, "A Course in Machine Learning," 2012. [Online]. Available: <http://ciml.info/>. [Accessed: 18-June-2020].
5. R. Battiti and M. Brunato, "The LION Way: Machine Learning Plus Intelligent Optimization | Download Free Books Legally." [Online]. Available: <https://www.topfreebooks.org/the-lion-way-machine-learning-plus-intelligent-optimization/>. [Accessed: 18-June-2020].
6. A. Smola, S. V. N. Vishwanathan, and S. Clara, *Introduction to Machine Learning*, UK: Cambridge University, 32, no. 34, 2008.
7. "Machine Learning – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning. [Accessed: 18-June-2020].
8. "What Is Machine Learning? A Definition – Expert System," 06-May-2020. [Online]. Available: <https://expertsystem.com/machine-learning-definition/>. [Accessed: 18-June-2020].
9. F. Firouzi, B. Farahani, F. Ye, and M. Barzegari, "Machine Learning for IoT," in *Intelligent Internet of Things*, F. Firouzi, K. Chakrabarty, and S. Nassif, Eds., pp. 243–313, Cham: Springer International Publishing, 2020.
10. R. Kashef, "Adopting Big Data Analysis in the Agricultural Sector: Financial and Societal Impacts," in *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, vol. 2, P. K. Pattnaik, R. Kumar, and S. Pal, Eds. pp. 131–154, Singapore: Springer, 2020.
11. S. B. Kotsiantis, "Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques," *Informatica*, vol. 31, pp. 249–268, 2007.
12. T. G. Dietterich, "Ensemble Methods in Machine Learning," in *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2000, vol. 1857 LNCS, pp. 1–15, doi: 10.1007/3-540-45014-9_1.
13. R. J. McQueen, S. R. Garner, C. G. Nevill-Manning, and I. H. Witten, "Applying Machine Learning to Agricultural Data," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 12, no. 4, pp. 275–293, 1995, doi: 10.1016/0168-1699(95)98601-9.
14. K. Kaur, "Machine Learning: Applications in Indian Agriculture," *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng.*, vol. 5, no. 4, pp. 342–344, 2016, doi: 10.17148/IJARCCCE.2016.5487.
15. F. Nabi and S. Jamwal, "Wireless Sensor Networks and Monitoring of Environmental Parameters in Precision Agriculture," *Int. J. Adv. Res. Comput.*

- Sci. Softw. Eng., vol. 7, no. 5, pp. 432–437, 2017, doi: 10.23956/ijarcse /sv7i5 /0344.
16. J. Wan, M. Chen, F. Xia, D. Li, and K. Zhou, “From Machine-to-Machine Communications towards Cyber-Physical Systems,” *Comput. Sci. Inf. Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 1105–1128, 2013, doi: 10.2298/CSIS120326018W.
 17. Y. Bengio, “Learning Deep Architectures for AI,” *Found. Trends Mach. Learn.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–27, 2009, doi: 10.1561/2200000006.
 18. A. Khatun, “Let’s Know Supervised and Unsupervised in an Easy Way,” *Chatbots Magazine*, 10-July-2018. [Online]. Available: [https://chatbotsmagazine. Com/lets-know-supervised-and-unsupervised-in-an-easy-way-9168363e06ab](https://chatbotsmagazine.Com/lets-know-supervised-and-unsupervised-in-an-easy-way-9168363e06ab). [Accessed: 18- June-2020].
 19. K. Kourou, T. P. Exarchos, K. P. Exarchos, M. V. Karamouzis, and D. I. Fotiadis, “Machine Learning Applications in Cancer Prognosis and Prediction,” *Comput. Struct. BioTechnol. J.*, vol. 13, pp. 8–17, 2015, doi: 10.1016/j.csbj.2014.11.005.
 20. M. Halkidi, Y. Batistakis, and M. Vazirgiannis, “On Clustering Validation Techniques,” *J. Intell. Inf. Syst.*, vol. 17, no. 3, pp. 107–145, 2001.
 21. A. I. Moustapha and R. R. Selmic, “Wireless Sensor Network Modeling Using Modified Recurrent Neural Networks: Application to Fault Detection,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, no. 5, pp. 981–988, May 2008, doi: 10.1109/TIM.2007. 913803.
 22. Y. Wang, M. Martonosi, and L.-S. Peh, “Predicting Link Quality Using Supervised Learning in Wireless Sensor Networks,” *ACM SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, vol. 11, no. 3, pp. 71–83, Jul. 2007, doi: 10.1145/1317425.1317434.
 23. D. Soni, “Introduction to Bayesian Networks – Towards Data Science,” 08-June-2018. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-bayesian-networks-81031eed94e>. [Accessed: 19-June-2020].
 24. J. Magidson and J. K. Vermunt, “Latent Class Models for Clustering: A Comparison with K-Means,” *Can. J. Mark. Res.*, vol. 20, no. 1, pp. 36–43, 2002.
 25. Z.-H. Zhou, “A Brief Introduction to Weakly Supervised Learning,” *Natl. Sci. Rev.*, vol. 5, no. 1, pp. 44–53, Jan. 2018, doi: 10.1093/nsr/nwx106.
 26. S. R. Safavian and D. Landgrebe, “A Survey of Decision Tree Classifier Methodology,” *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 21, no. 3, pp. 660–674, 1991, doi: 10.1109/21.97458.
 27. W. S. McCulloch and W. Pitts, “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity,” *Bull. Math. Biophys.*, vol. 5, no. 4, pp. 115–133, 1943, doi: 10.1007/BF02478259.
 28. K. G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, and D. Bochtis, “Machine Learning in Agriculture: A Review,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 8. MDPI AG, 14-Aug-2018, doi: 10.3390/s18082674.
 29. D. Broomhead and D. Lowe, “Multivariable Functional Interpolation and Adaptive Networks,” *Complex Syst.*, vol. 2, pp. 321–355, 1988.
 30. F. Rosenblatt, “The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain,” *Psychol. Rev.*, vol. 65, no. 6, pp. 386–408, Nov. 1958, doi: 10.1037/h0042519.

31. S. Linnainmaa, "Taylor Expansion of the Accumulated Rounding Error," BIT, vol. 16, no. 2, pp. 146–160, 1976, doi: 10.1007/BF01931367.
32. M. Riedmiller and H. Braun, "Direct Adaptive Method for Faster Backpropagation Learning: The RPROP Algorithm," in 1993 IEEE International Conference on Neural Networks, 1993, pp. 586–591, doi: 10.1109/icnn.1993.298623.
33. R. Hecht-Nielsen, "Counterpropagation Networks," Appl. Opt., vol. 26, no. 23, p. 4979, Dec. 1987, doi: 10.1364/AO.26.004979.
34. J. S. R. Jang, "ANFIS: Adaptive-Neural-Based Fuzzy Inference System," IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol. 23, no. 3, pp. 665–685, 1993, doi: 10.1109/21.256541.
35. W. Melssen, R. Wehrens, and L. Buydens, "Supervised Kohonen Networks for Classification Problems," Chemom. Intell. Lab. Syst., vol. 83, no. 2, pp. 99–113, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.chemolab.2006.02.003.
36. J. J. Hopfield, "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities," Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., vol. 79, no. 8, pp. 2554–2558, 1982, doi: 10.1073/pnas.79.8.2554.
37. S. K. Pal and S. Mitra, "Multilayer Perceptron, Fuzzy Sets, and Classification," IEEE Trans. Neural Networks, vol. 3, no. 5, pp. 683–697, 1992, doi: 10.1109/72.159058.
38. T. Kohonen, "The Self-Organizing Map," Proc. IEEE, vol. 78, no. 9, pp. 1464–1480, 1990, doi: 10.1109/5.58325.
39. G. Bin Huang, Q. Y. Zhu, and C. K. Siew, "Extreme Learning Machine: Theory and Applications," Neurocomputing, vol. 70, no. 1–3, pp. 489–501, Dec. 2006, doi: 10.1016/j.neucom.2005.12.126.
40. D. F. Specht, "A General Regression Neural Network," IEEE Trans. Neural Networks, vol. 2, no. 6, pp. 568–576, 1991, doi: 10.1109/72.97934.
41. J. Cao, Z. Lin, and G. Bin Huang, "Self-Adaptive Evolutionary Extreme Learning Machine," Neural Process. Lett. vol. 36, no. 3, pp. 285–305, Dec. 2012, doi: 10.1007/s11063-012-9236-y.
42. Y. Lecun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep Learning," Nature, vol. 521, no. 7553. Nature Publishing Group, pp. 436–444, 27-May-2015, doi: 10.1038/nature14539.
43. "Deep Learning – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning. [Accessed: 20-June-2020].
44. A. Bagchi, "Artificial Intelligence in Agriculture-White Paper," Mindtree-Larsen & Toubro Group Company. [Online]. Available: [https://www.mindtree.com/sites/default/files/2018-04/ArtificialIntelligence in Agriculture.pdf](https://www.mindtree.com/sites/default/files/2018-04/ArtificialIntelligence%20in%20Agriculture.pdf). [Accessed: 20-June-2020].
45. Intel, "The Future of AI in Agriculture – Intel." [Online]. Available: <https://www.intel.in/content/www/in/en/big-data/article/agriculture-harvests-big-data.html>. [Accessed: 20-June-2020].
46. O. Kharkovyna, "7 Reasons Why Machine Learning Is a Game Changer for Agriculture," Towards Data Science, 04-July-2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/7-reasons-why-machine-learning-is-a-game-changer-for-agriculture-1753dc56e310>. [Accessed: 20-June-2020].

47. "Plantix | Best Agriculture App." [Online]. Available: <https://plantix.net/en/>. [Accessed: 25-June-2020].
48. "Home." [Online]. Available: <https://tracegenomics.com/>. [Accessed: 25-June-2020].
49. "Automated Farming Systems | Precision Agriculture Technology." [Online]. Available: <https://www.cultivate.com/>. [Accessed: 25-June-2020].
50. "Precision Agriculture Technology: The Future of Precision Farming with IoT – Digiteum," 2019. [Online]. Available: <https://www.digiteum.com/precision-agriculture-technology>. [Accessed: 24-June-2020].
51. "NEWA – Home Page." [Online]. Available: <http://newa.cornell.edu/>. [Accessed: 21-June-2020].
52. "Aerial Vineyard Mapping – Vigor & Grapevine Disease | VineView." [Online]. Available: <https://www.vineview.com/>. [Accessed: 25-June-2020].
53. "See & Spray Agricultural Machines – Blue River Technology." [Online]. Available: <http://www.bluerivertechnology.com/>. [Accessed: 25-June-2020].
54. W. Okori and J. Obua, "Machine Learning Classification Technique for Famine Prediction," Proc. World Congr. Eng. 2011, WCE 2011, vol. 2, pp. 991–996, 2011.
55. S. S. Dahikar and S. V. Rode, "Agricultural Crop Yield Prediction Using Artificial Neural Network Approach," Int. J. Innov. Res. Electr. Electron. Instrum. Control Eng., vol. 2, no. 1, pp. 683–686, 2014.
56. S. Ghosh and S. Koley, "Machine Learning for Soil Fertility and Plant Nutrient Management Using Back Propagation Neural Networks," Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun. vol. 2, no. 2, pp. 292–297, 2014.
57. R. Kumar, M. P. Singh, P. Kumar, and J. P. Singh, "Crop Selection Method to Maximize Crop Yield Rate Using Machine Learning Technique," in 2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM), 2015, pp. 138–145, doi: 10.1109/ICSTM.2015.7225403. 154 Agriculture 5.0
58. D. D. Gutierrez, Machine Learning and Data Science: An Introduction to Statistical Learning Methods with R. Technics Publications, 2015.
59. L. K. Mehra, C. Cowger, K. Gross, and P. S. Ojiambo, "Predicting Pre-Planting Risk of Stagonospora nodorum Blotch in Winter Wheat Using Machine Learning Models," Front. Plant Sci., vol. 7, p. 390, Mar. 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.00390.
60. K. S. Kim, R. M. Beresford, and M. Walter, "Development of a Disease Risk Prediction Model for Downy Mildew (*Peronospora sparsa*) in Boysenberry," Phytopathology, vol. 104, no. 1, pp. 50–56, Jan. 2014, doi: 10.1094/PHYTO-02-13-0058-R.
61. T. Rumpf, A.-K. Mahlein, U. Steiner, E.-C. Oerke, H.-W. Dehne, and L. Plümer, "Early Detection and Classification of Plant Diseases with Support Vector Machines Based on Hyperspectral Reflectance," Comput. Electron. Agric., vol. 74, pp. 91–99, 2010, doi: 10.1016/j.compag.2010.06.009.
62. M. P. Raj, P. R. Swaminarayan, J. R. Saini, and D. K. Parmar, "Applications of Pattern Recognition Algorithms in Agriculture: A Review," Int. J. Adv. Netw. Appl., vol. 6, no. 5, p. 2495, 2015.

63. "Minimum Support Price – Vikaspedia." [Online]. Available: <https://vikaspedia.in/agriculture/market-information/minimum-support-price>. [Accessed: 21-June-2020].

فصل هفتم

کشاورزی هوشمند داده محور

۷-۱- مقدمه

ما در یک دهکده جهانی که به دنیای دیجیتال متصل است و به سرعت در حال رشد است، زندگی می‌کنیم. تحولات فناورانه در دهه‌های گذشته منجر به گنجاندن فناوری در تمام جنبه‌های زندگی بشر شده است. بنابراین، هر روز یک نسل عظیم از داده‌های چندرسانه‌ای، متنی یا عددی ایجاد می‌شود. این نوع داده‌های ناهمگن از منابع و پلتفرم‌های متعدد به آنچه که داده‌های بزرگ کشاورزی می‌نامیم کمک می‌کند [۱ و ۲]. داده‌های بزرگ کشاورزی با حجم، تنوع، سرعت و صحت بالا مشخص می‌شوند که نیازمند یک رویکرد تحلیلی و فناوری خاص برای تبدیل داده‌ها به راه‌حل‌هایی است که آماده استفاده در کشاورزی هستند. استفاده از فناوری‌های جدید در حال توسعه و ابزار دقیق پیشرفته به جای شیوه‌های کشاورزی سنتی نیز به سرعت در حال رشد است. محبوبیت استفاده از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات مانند محاسبات ابری، اینترنت اشیا، پهپادها، ربات‌ها، ماهواره‌ها و سنجش از دور و حسگرها در دنیای کشاورزی، عصر جدیدی از کشاورزی مبتنی بر داده هوشمند را به وجود آورده است [۳-۵]. کشاورزی هوشمند پیشرفتی است که بر استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات در چرخه فیزیکی و سایبری مدیریت مزرعه تأکید دارد. مجموعه داده‌ها، تجزیه و تحلیل، استفاده از نظر تصمیمات حمایتی برای مالکان خرد و مدیریت و به اشتراک‌گذاری، به اصطلاح کشاورزی هوشمند را به عملی تبدیل کرده است که با داده‌ها عملیاتی می‌شود. اطلاعات مربوط به برنامه‌ریزی و نظارت بر آبیاری، آب‌وهوا، کود، سمپاشی شیمیایی و برداشت و ذخیره منجر به ایجاد حجم عظیمی از داده‌ها برای هر ثانیه کار شده است. کشاورزی دقیق مبتنی بر داده، استفاده از داده‌های بزرگ در تکمیل کشاورزی دقیق در مزرعه است به عبارت دیگر داده‌های مزرعه‌ای مناسب در زمان مناسب برای تصمیم‌گیری بهتر برای بهبود سودآوری بلندمدت استفاده می‌شوند. در نتیجه به کشاورزان، دامداران و تولیدکنندگان با استفاده از داده‌های مختلف، مانند برنامه‌ریزی کاشت، در فصل رشد و داده‌های برداشت به شیوه‌ای تعاملی و معنادارتر، نکات کلیدی تصمیم‌گیری را ارائه می‌دهد .

انتظار می‌رود کلان داده‌ها باعث ایجاد تغییراتی در حوزه کشاورزی شوند. راهبردهای تجارت کشاورزی و ذی‌نفعان تمرکز خود را به توسعه الگوریتم‌های جدید تغییر داده‌اند و راه‌حل‌های جدیدی را برای جلب اعتماد کشاورزان ابداع می‌کنند [۲]. استفاده از کلان داده به دلیل نیاز به فناوری‌های جدید برای دستیابی به اهداف معین (عوامل کششی) و نیروی محرکه فناوری‌های جدید در توانمندسازی افراد و سازمان‌ها برای دستیابی به اهداف بالاتر یا جدید (عوامل فشار) [۹ و ۱۰] (شکل ۷-۱) هدایت می‌شود (جدول ۷-۱).

مقدار تخمینی متوسط داده‌های تولیدشده توسط

مزرعه در روز



شکل ۷-۱- تولید داده‌های تخمینی بر اساس میانگین مزرعه در روز [۱۱]

در حال حاضر به‌منظور افزایش پذیرش سیستم‌های کشاورزی مبتنی بر داده برای افزایش بهره‌وری، از جمله ارائه جهت راهبردی، در دسترس بودن داده‌ها، بهبود تلاش‌های کشاورزی دقیق همراه با پذیرش جهانی آن در بخش خصوصی و دولتی، برنامه اقدام ملی ۳,۰ کشاورزی مبتنی بر داده به‌عنوان بخشی از طرح جهانی استفاده از کلان داده‌ها در کشاورزی و تغذیه^۱ [۱۲] در ایالات متحده اضافه شده است. کشاورزی هوشمند مبتنی بر داده‌های بزرگ ابزار اصلی در مدیریت پایدار تهدیدها، چالش‌ها و خطرات در زمینه تغییرات آب‌وهوایی، بیماری‌ها و حملات آفات است. بنابراین، درک واضح استفاده از ابزارها و تکنیک‌های مدیریت کلان داده برای مقابله با چالش‌های کشت محصولات زراعی و مدیریت دام و کشاورزی ضروری است.

¹. Global Open Data for Agriculture and Nutrition (GODAN)

جدول ۷-۱- خلاصه عوامل فشار و کشش که باعث توسعه کلان داده‌ها و کشاورزی هوشمند می‌شود [۱۰]

عوامل فشار	عوامل کششی
• تحولات فنی عمومی • اینترنت اشیا و فناوری‌های داده‌محور • کشاورزی دقیق • ظهور شرکت‌های ag-tech	• رانندگان کسب‌وکار • افزایش کارایی با قیمت تمام‌شده کمتر یا قیمت بازار بهتر • بهبود کنترل مدیریت و تصمیم‌گیری • پشتیبانی بهتر مدیریت محلی خاص • تعامل بهتر با قوانین و مدارک • مقابله با نوسانات در شرایط آب‌وهوایی
• تکنولوژی پیچیده • سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی • تصویربرداری ماهواره‌ای • سنجش پیشرفته (از راه دور). • ربات‌ها • وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپاد)	• رانندگان عمومی • امنیت غذایی و تغذیه • ایمنی مواد غذایی • پایداری
• تولید و ذخیره‌سازی داده‌ها • تولیدشده توسط فرآیند، ماشین و انسان • تفسیر داده‌های بدون ساختار • تجزیه و تحلیل داده‌های پیشرفته	• نیاز عمومی به اطلاعات بیشتر و بهتر
• اتصال دیجیتال • افزایش دسترسی به پزشکان کشاورزی • افزایش توان محاسباتی	
• امکانات نوآوری • ایجاد سیستم‌های مدیریت مزرعه با برنامه‌های خاص • مشاوره و تصمیم‌گیری از راه دور از طریق رایانه • داده‌های ادغام‌شده منطقه‌ای برای تحقیقات علمی و مشاوره • فروشگاه‌های آنلاین کشاورز	

۷-۲- جمع‌آوری و مدیریت کلان‌داده‌های زمان واقعی کشاورزی

داده‌ها ابزاری بالقوه برای تصمیم‌گیری براساس تجزیه و تحلیل موقعیت‌های مرتبط هستند. در حال حاضر استفاده از داده‌ها در هدایت شیوه‌های کشاورزی به شیوه‌ای پایدار برای ایجاد حداکثر بازده از یک قطعه زمین زراعی کوچک مورد توجه محققان است [۱۳]. مقدار قابل توجهی از داده‌ها به‌طور طبیعی در فرآیند کشاورزی طی مراحل مختلف از کاشت بذر تا برداشت ایجاد می‌شود. جمع‌آوری و نظارت بر داده‌های کشاورزی زمان واقعی، عمدتاً با استفاده از پهپادها، حسگرها، ماهواره‌ها، گوشی‌های هوشمند و تجهیزات علمی خودکار امکان‌پذیر می‌شود و از آن به‌عنوان «انبوه‌سپاری»^۱ یاد می‌شود [۱۴ و ۱۵].

شرکت‌هایی مانند جان دیر^۲، دو^۳ و مونساتو^۴ از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها برای توسعه ابزارها و فناوری‌هایی استفاده می‌کنند که قادر به تصمیم‌گیری صحیح در زمان مناسب هستند و همچنین می‌توانند از یک روش علمی با کمک داده‌ها پیروی کنند [۱۶]. داده‌ها باید از منابع متعدد و برای هر فرآیند کشاورزی خاص جمع‌آوری شود. داده‌های تولیدشده از طریق فرآیند کشاورزی می‌تواند در نوع، مقدار و منبع متفاوت باشد [۱۷ و ۱۸]. نوع داده‌های جمع‌آوری‌شده از مزرعه شامل اطلاعات کاشت، سمپاشی، مواد، داده‌های مربوط به خاک، داده‌های مربوط به مدیریت، داده‌های مربوط به آب‌وهوا، داده‌های سرشماری بلندمدت، داده‌های برداشت، داده‌های الگوی کشت، عملکرد داده‌های کسب‌وکار کشاورزی، تصاویر فصلی، انواع خاک، آب‌وهوا و سایر شیوه‌ها است. به‌طور کلی، سه نوع تولید داده وجود دارد [۶ و ۱۹]:

(۱) از طریق پردازش^۵

(۲) تولیدشده از طریق ماشین^۶

(۳) منابع انسانی^۷

داده‌های تولیدشده از طریق پردازش داده‌های تجاری سنتی هستند که از بازاریابی، خرید، سود و سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده روی یک کار کشاورزی خاص حاصل می‌شوند. این داده‌ها نسبتاً ساختاریافته هستند و شامل تراکنش‌ها و جداول مرجع هستند. این نوع داده‌ها با ارتباط به یک سیستم اطلاعات تجاری ذخیره و پردازش می‌شوند.

^۱. Crowdsourcing

^۲. John Deere

^۳. Dow

^۴. Monsanto

^۵. Process-Mediated (PM)

^۶. Machine-Generated (MG)

^۷. Human-sourced (HS).

داده‌های تولیدشده از طریق ماشین با حسگرهای مدیریت اختصاصی محیط، ماشین‌های کشاورزی، اینترنت اشیا، مکان‌یاب، گوشی‌های هوشمند و غیره تقویت می‌شوند. این نوع داده‌ها شامل داده‌های عددی ساده و دیجیتالی تا داده‌های چندرسانه‌ای بسیارپیچیده مانند فیلم‌ها، تصاویر و نقشه‌ها با حجم و تنوع بالا می‌شود. با استفاده از تکنولوژی و ابزار دقیق در کشاورزی، این داده‌ها روزبه‌روز در حال افزایش است و سیستم‌های ذخیره‌سازی پیچیده، پایگاه‌های داده، سرورهای وب، رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی^۱ مبتنی بر وب و نرم‌افزارهای کاربردی برای مدیریت، پردازش و تجزیه و تحلیل آن به کار گرفته می‌شوند.

داده‌های تولیدشده توسط منابع انسانی شامل داده‌هایی است که مربوط به تجربیات انسانی و نظرات متخصصان است که در کتاب‌ها و آثار هنری و بعداً در عکس‌ها، صداها و ویدئوها ثبت می‌شوند. علاوه بر این، این اطلاعات در حال حاضر در سیستم‌های مدیریت به صورت دیجیتالی پردازش شده‌اند. داده‌های سرشماری و شبکه‌های اجتماعی نیز نقش حیاتی در ثبت یا اشتراک‌گذاری اطلاعات دارند [۱۹ و ۲۰]. سازمان‌های دولتی بسیاری از سازمان‌های اختصاصی را تشکیل داده‌اند که آشکارا مجموعه داده‌ها را جهت استفاده در تحقیقات عمومی به اشتراک می‌گذارند [۲۱]. فائو، سیستمی تحت عنوان مجموعه عناصر فراداده کشاورزی^۲ برای مدیریت داده‌های فنوتیپی و ژنومی عظیم کشاورزی مربوط به رشد گیاه، بیماری‌ها و مقاومت به آفات و ویژگی‌های عملکرد بالا که برای توسعه واریته ایده‌آل ضروری است، توسعه داده‌است [۲۲ و ۲۳]. پیوستگی کلان داده‌ها، اتحادیه داده‌های کشاورزی باز^۳، آگ گیت وی^۴، مؤسسات عمومی مانند وزارت کشاورزی آمریکا^۵، کتاب قیمت کشاورزی^۶ که از طریق مؤسسه استراتژیک آمریکای شمالی توسعه یافته‌است و علم شهروندی^۷ توسعه یافته توسط سی‌جی‌آر^۸ [۴۲] برای ارتقای تغییرات آب‌وهوایی و مدیریت امنیت غذایی نمونه‌هایی از دیگر ابتکارات هستند. شورای تحقیقات کشاورزی هند^۹ با همکاری مرکز توسعه محاسبات پیشرفته^{۱۰}، دفتر ملی نقشه‌برداری خاک و برنامه‌ریزی کاربری اراضی^{۱۱}، پژوهشکده

¹. Application Programming Interface (API)

². Agricultural Metadata Element Set (AgMES)

³. Open Agriculture Data Alliance (OADA)

⁴. AgGateway

⁵. USDA

⁶. AgriPrice

⁷. Citizen Science

⁸. CGIAR

⁹. Indian Council of Agricultural Research (ICAR)

¹⁰. Center for Development of Advanced Computing (CDAC)

¹¹. National Bureau of Soil Survey and Land Use Plannig (NBSSLUP)

مرکزی کشاورزی دیم^۱، تجزیه و تحلیل تصمیم بر اساس تغییرات آب و هوا^۲، شورای تحقیقات کشاورزی هند، دپارتمان های ایالتی، مؤسسه مرکزی مهندسی کشاورزی^۳، پژوهشکده مرکزی حفاظت خاک و آب^۴، مؤسسه بین المللی مطالعات استراتژیک^۵، خدمات پژوهشی ملی^۶ و درون یابی داده ها به صورت بلادرنگ با استفاده از ابزارها و تکنیک های تجزیه و تحلیل داده مانند یادگیری ماشین، داده کاوی، نرم افزارهای آماری ابتکار عمل برای شروع خودکارسازی و دیجیتالی کردن کشاورزی را آغاز کرده است [۲۵].

کل فرآیند از جمع آوری داده تا تصمیم گیری و بازاریابی داده [۲۰] به عنوان زنجیره داده نامیده می شود. شکل ۲-۷، تمام فعالیت های کشاورزی ای را که در آن ها داده ها باید برای کنترل مزرعه مدیریت شوند نشان می دهد: برنامه های کاربردی داده در کشاورزی هوشمند، فعالیت ها و مسائل کلیدی مربوط به هر مرحله از کلان داده ها. با سرمایه گذاری ۶۴٫۵ میلیارد دلاری در استارت آپ های فناوری صندوق های سرمایه گذاری خطرپذیر در سال ۲۰۱۵، در مجموع ۷ درصد از این سرمایه گذاری به استارت آپ های مرتبط با کشاورزی ایالات متحده اختصاص یافت [۲۶ و ۲۷] (جدول ۲-۷).

¹. Central Research Institute for Dryland Agriculture (CRIDA)

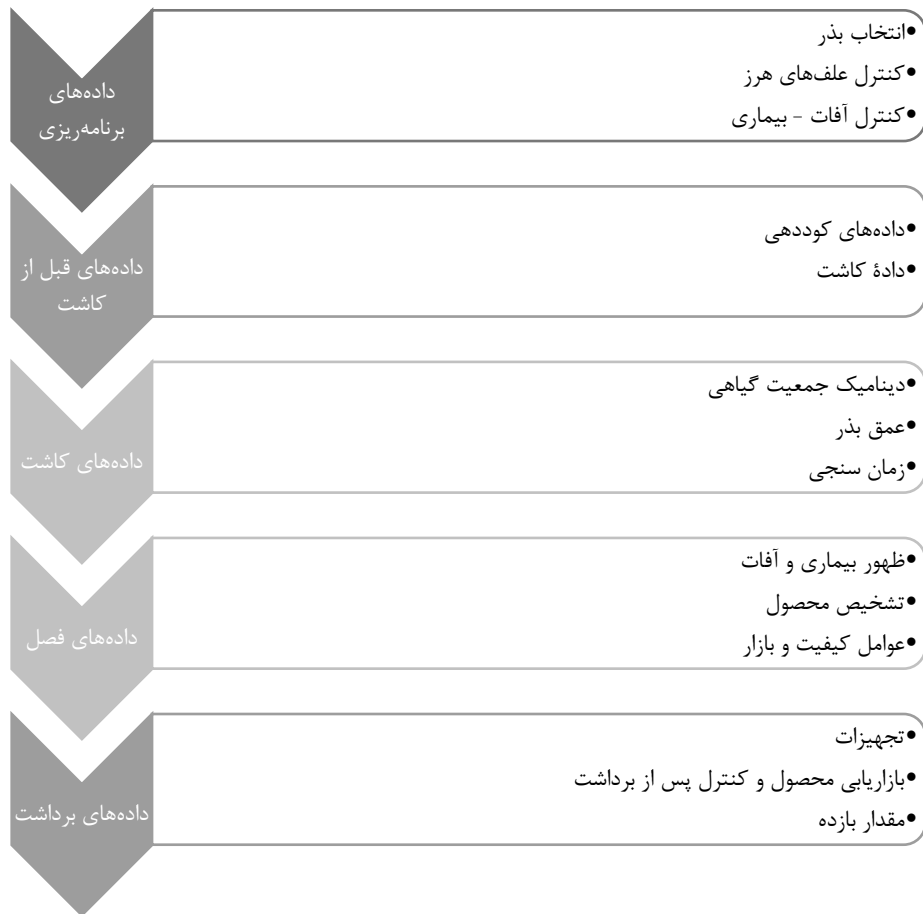
². Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA)

³. Center Institute of Agricultural Engineering (CIAE)

⁴. Central Soil and Water Conservation Research Institute (CSWCRI)

⁵. The International Institute for Strategic Studies (IISS)

⁶. National Research Service Award (NRSA)



شکل ۷-۲- مدیریت داده در مراحل مختلف

۷-۳- تبدیل داده‌های مزرعه‌ای به دیدگاه‌های معنادار

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوطه، مهم‌ترین کار این است که دیدگاه‌های معنادار از آن استخراج شود. یافتن روش‌ها و ابزارهای مناسب که با شکل داده‌ها مناسب است و داده‌ها را عمیق، هوشمندانه و کارآمد استخراج می‌کند، بدون شک یک گام بسیار مهم است. نرم‌افزارها، زبان‌ها و ابزارهای برنامه‌نویسی کامپیوتری مختلف برای تجزیه و تحلیل داده‌ها توسعه یافته‌اند. زبان‌هایی مانند

پایتون^۱، آر^۲، اسکالا^۳ و غیره و ابزارهای نرم‌افزاری پیچیده مانند اس‌پی‌اس‌اس^۴، ریپید ماینر^۵ و وکا^۶ به‌طور قابل‌توجهی در تحلیل‌های آماری و پیش‌بینی کمک کرده‌اند [۳۱]. هنگامی که نتایج مشخص می‌شوند، می‌توان تصمیمات را با دقت گرفت [۳۲ و ۳۳].

همان‌طور که در شکل ۷-۳ نشان داده شده است، یک‌سری عملیات قبل از ایجاد تصمیمات انجام می‌شود. داده‌های موجود از منابع متعدد بر اساس شکل و اندازه آن در انبارهای داده، پایگاه‌های داده محلی یا سرورهای ابری مدیریت می‌شود. با این حال، جمع‌آوری داده‌هایی که فاسد، ناسازگار، یا دارای مقادیر گم‌شده هستند، امکان‌پذیر است؛ به‌عنوان مثال داده‌هایی غنی با اطلاعات ضعیف ممکن است وجود داشته باشد اما روش‌های پاکسازی و پیش‌پردازش داده‌های مناسب برای فیلترکردن داده‌های لازم استفاده می‌شوند [۳۴ و ۳۵]. در مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها، زمانی که داده‌ها از چندین منبع منشاء می‌گیرند و شکل‌های متفاوتی دارند، باید احتیاط کرد. ادغام داده‌ها را می‌توان به‌عنوان ترکیبی از داده‌های به‌دست‌آمده از تعداد زیادی از منابع (به‌عنوان مثال اینترنت اشیا، حسگرهای شبکه‌های اجتماعی و غیره) در قالب‌های مختلف تعریف کرد [۳۶].

در این جریان‌ها کلان‌داده‌ها استخراج می‌شوند تا به نتایجی با ارزش و پیشنهادی برای شروع اقدامات هوشمندانه برسند. روش‌های ادغام داده‌ها در رباتیک، مدیریت ماشین‌آلات پیچیده، ایمنی و عملیات، نظارت بر محصول و سنجش از راه دور سودمند و قابل استفاده بوده‌است. ادغام داده‌ها می‌تواند به شکل ترکیب داده‌های خام (داده‌های منبع)، ادغام داده در سطح ویژگی (براساس ویژگی‌های مهم و مؤثر)، یا ترکیب داده‌ها در سطح تصمیم (روابط و الگوهای موجود در داده‌ها برای تصمیم‌گیری) باشد. ترکیبی از داده‌های به‌دست‌آمده توسط شبکه‌های چندحسی با چارچوب ترکیب داده‌ها، پردازش سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر را امکان‌پذیر می‌سازد؛ علاوه‌براین، سطح عدم قطعیت را کاهش می‌دهد و در نتیجه قابلیت اطمینان بالاتر را تضمین می‌کند. این داده‌ها را می‌توان به روش‌های مختلفی ترکیب کرد؛ به‌عنوان مثال، الگوریتم تکنیک‌های هم‌جوشی سطح بالا شامل نظریهٔ بیزی، منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، اکسل و غیره است [۳۷ و ۳۸].

برخی از روش‌های هم‌جوشی ساخته‌شده در کشاورزی دقیق مانند داده‌های حسگر خام رادار و داده‌های نوری، [۳۹] ترکیب داده‌های حسگر از راه دور و مکان‌یاب [۴۰]، پهپادها [۴۱] و داده‌های زمانی از حسگرها [۴۲] و بسیاری دیگر ظاهر شده‌اند. برای هر مورد از محصول و بیماری، روش‌های تصویربرداری طیفی یا فلورسانس برای تولید اطلاعات کاربرپسند و ارزیابی خودکار عفونت با استفاده

^۱. Python

^۲. R

^۳. Scala

^۴. SPSS

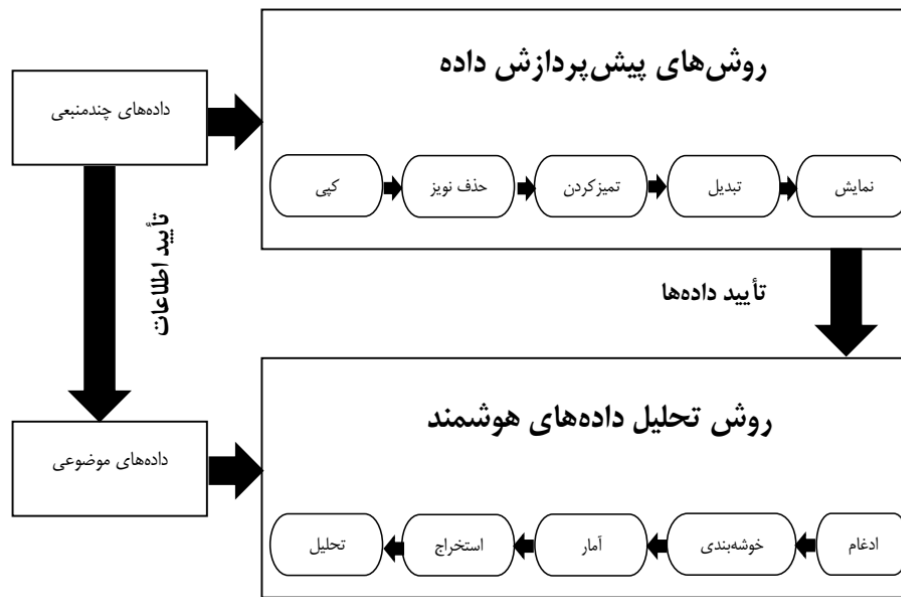
^۵. Rapid Miner

^۶. Weka

از داده‌کاوی و الگوریتم‌های خوشه‌بندی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، یادگیری ماشین یا سایر تکنیک‌های هوش مصنوعی همان‌طور که قبلاً به تفصیل در فصل پنجم بحث شد، موجود است.

جدول ۷-۲- کاربردهای پیشرفته کلان‌داده‌ها در کشاورزی هوشمند و مسائل کلیدی

مسائل کلیدی	پیشرفته‌ترین برنامه‌های کاربردی داده‌های بزرگ	مراحل زنجیره داده
در دسترس بودن، کیفیت، فرمت‌ها	حسگرها، داده‌های باز، داده‌های گرفته‌شده از طریق پهپاد، سنجش بیومتریک، اطلاعات ژنوتیپ، داده‌های متقابل	ضبط داده‌ها
دسترسی سریع و ایمن به داده‌ها، هزینه‌ها	پلتفرم مبتنی بر ابر [۲۸]، سیستم فایل توزیع‌شده Hadoop (HDFS)، سیستم‌های ذخیره‌سازی ترکیبی، انبار داده مبتنی بر ابر [۲۹]	ذخیره‌سازی داده‌ها
ایمنی، توافقات در مورد مسئولیت‌ها و تعهدات	بی‌سیم، پلتفرم مبتنی بر ابر، داده‌های باز پیوند داده‌شده [۳۰]	انتقال داده
ناهمگونی منابع داده، اتوماسیون پاکسازی و آماده‌سازی داده‌ها	الگوریتم‌های یادگیری ماشین عادی، تجسم، ناشناس	تبدیل داده‌ها
ناهمگونی معنایی، تجزیه و تحلیل بلادرنگ، مقیاس‌پذیری	مدل‌های عملکرد، دستورالعمل‌های کاشت، محک‌زدن، هستی‌شناسی‌های تصمیم‌گیری، محاسبات شناختی	تجزیه و تحلیل داده‌ها
مالکیت، حریم خصوصی، مدل-های جدید کسب‌وکار	تجسم داده‌ها	بازاریابی داده



شکل ۷-۳- نمودار جریان پردازش هوشمند داده‌های بزرگ کشاورزی [۴۳].

۷-۴- پردازش و تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده داده‌های کشاورزی

کمبود مواد غذایی روبه‌رشد منجر به توسعه راه‌حل‌های مبتکرانه و تحول‌آفرین برای ترکیب ابزارهای علمی دوستدار محیط‌زیست و ماشین‌آلات کشاورزی شده است. کلان‌داده‌های جمع‌آوری‌شده را می‌توان در ایجاد مدل‌های پیش‌بینی با کاربری آسان و دقیق برای اطمینان از تولید محصولات با حداکثر پتانسیل به کار برد. فرآیندی به نام تحلیل پیش‌گویانه، روندها و بینش‌ها را از داده‌ها استخراج می‌کند. در واقع، رویکرد مدل‌سازی سنتی بسیار محدود است. یک برنامه و ورودی به یک کامپیوتر داده می‌شود تا صرفاً یک خروجی تولید کند. به عنوان مثال، برنامه‌ای برای جمع دو عدد، مجموع اعداد را به عنوان خروجی تولید می‌کند.

تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده، مجموعه متنوعی از روش‌های آماری از داده‌کاوی، مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده و یادگیری ماشین را دربرمی‌گیرد. این مجموعه، حقایق فعلی و تاریخی را تجزیه و تحلیل می‌کند تا با استفاده از داده‌ها، پیش‌بینی‌هایی در مورد آینده یا سایر رویدادهای ناشناخته انجام دهد [۴۴]. هدف از این کار افزایش تجربه برای ارائه بهترین ارزیابی از آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد، همراه با استخراج روندها و بینش‌ها است [۴۵]. حجم فزاینده داده‌ها، انواع و همچنین کنجکاوی برای یادگیری بیشتر از داده‌ها، سازمان‌های بیشتری را به سمت تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده به عنوان وسیله‌ای جهت افزایش امتیاز و مزیت رقابتی خود سوق داده است.

ماشین‌های محاسباتی سریع‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر و نرم‌افزار مبتنی بر رابط کاربری گرافیکی، تحلیل پیش‌بینی‌کننده را فراتر از جامعه ریاضی‌دانان و آماردانان شکوفا کرده‌است. تجزیه و تحلیل پیش‌بینی در علم اکچوئری^۱، بازاریابی [۴۶]، بانکداری و خدمات مالی [۴۷]، بیمه، مخابرات، خرده‌فروشی [۴۸]، سفر، پویایی، مراقبت‌های بهداشتی، حفاظت از کودکان، داروسازی، برنامه‌ریزی ظرفیت، شبکه‌های اجتماعی، تولید و علوم کشاورزی استفاده می‌شود [۴۹].

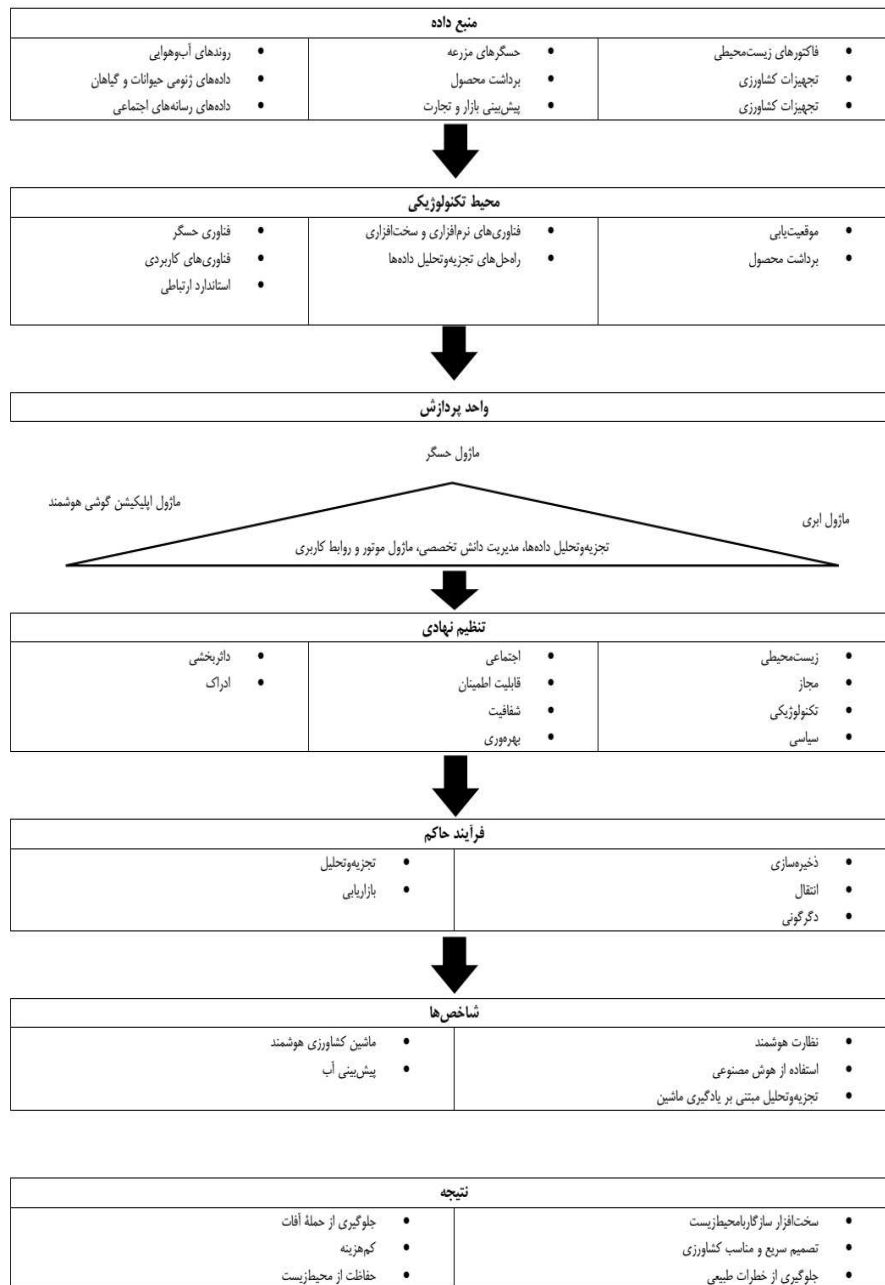
هدف اصلی تحلیل پیش‌بینی‌کننده، یافتن وابستگی بین متغیرهای توضیحی و فردی و متغیرهای پیش‌بینی‌شده از رویدادهای گذشته و متعاقباً استفاده از آن‌ها برای پیش‌بینی نتیجه ناشناخته است [۵۰ و ۵۱]. تجزیه و تحلیل داده‌ها دارای سطح بالایی از جزئیات و در نتیجه دقت بالایی است. ویژگی جزئی بودن تحلیل پیش‌گویانه، آن را از پیش‌بینی متمایز می‌کند [۵۲].

۷-۴-۱- چرخه تحلیل پیش‌بینی و انواع آن

مدل‌های پیش‌بینی‌کننده از تجربیات گذشته برای توسعه و آموزش مدلی استفاده می‌کنند که می‌تواند برای پیش‌بینی نتایج داده‌های مختلف استفاده شود. نتایج مدل‌سازی‌شده، در قالب پیش‌بینی، احتمال متغیر هدف را بر اساس تخمین و روابط مجموعه‌ای از متغیرهای ورودی نشان می‌دهد. جدول ۷-۳ فهرستی از فرآیندهایی را که در چرخه حیات کشاورزی دقیق رخ می‌دهد نشان می‌دهد. فرآیندهایی که در کشاورزی دقیق اتفاق می‌افتند از مدل‌سازی توصیفی، تجویزی و تصمیم‌گیری [۵۳] متفاوت است.

در حال حاضر، تجزیه و تحلیل پیش‌بینی به یک روند تجاری جدید برای اکثر سازمان‌ها تبدیل شده است. روش‌های جدیدی برای مدیریت مجموعه داده‌های حجیم و متنوع پیشنهاد شده است [۵۴ و ۵۵]. رویکردها و استراتژی‌های مورد استفاده برای انجام تحلیل‌های پیش‌بینی مانند یک انبار مهمات هستند و به‌طور کلی می‌توانند به روش‌های سنتی، روش‌های آماری، روش‌های رگرسیون، روش‌های طبقه‌بندی و روش‌های یادگیری ماشین گروه‌بندی شوند که در زیر توضیح داده شده است:

^۱ Actuarial science



شکل ۷-۴- مدل مفهومی کشاورزی هوشمند مبتنی بر کلان داده‌ها برای کشاورزی پایدار [۹].

جدول ۷-۳- چرخه حیات تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده

روند	اقدام و الزامات
تعریف پروژه	محدوده، اهداف و انتظارات قابل تحویل پروژه
جمع‌آوری داده‌ها	جمع‌آوری داده‌ها از منابع مختلف، شناسایی مجموعه داده‌ها
تحلیل داده‌ها	پاکسازی داده‌ها، انتساب و مدل‌سازی داده‌ها با هدف استخراج اطلاعات مهم و رسیدن به نتیجه
تحلیل آماری	آزمون آماری برای بررسی و اعتبارسنجی فرضیه‌ها از مدل‌های آماری استاندارد
مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده	مدل‌های پیش‌بینی خودکار برای آینده، بهترین راه‌حل بهینه، ارزیابی
گسترش	استقرار مدل پیش‌بینی، استقرار نتایج تحلیلی در فرآیند تصمیم‌گیری روزانه، خروجی می‌تواند گزارش‌ها و اقدام خودکار، توسعه نرم‌افزار رابط کاربری گرافیکی باشد.
تعمیر و نگهداری مدل	مدیریت مدل، بررسی عملکرد مدل برای نتایج قابل اعتماد

۷-۴-۱- رویکرد سنتی

رویکرد سنتی یک گزینه محدود است که از داده‌ها و تجربیات تاریخی برای پیش‌بینی استفاده می‌کند. متخصصان انسانی و مدل‌های ایستا یا معادلات ریاضی تنها ابزار مورد استفاده در این رویکرد هستند. این رویکرد مستعد خطا، نادرست، غیرقابل اعتماد است و پویا نیست. این روش‌ها شامل بسیاری از روش‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی و روش‌های دیگری هستند که در صورت اعمال به سیستم‌های پیچیده، به شدت محدود می‌شوند: هموارسازی نمایی، میانگین متحرک، شبکه‌های بیزی، مدل‌های روند، تقسیم‌بندی، رگرسیون، پیش‌بینی مقطعی، برون‌یابی، تحلیل تئوری صف و غیره نمونه‌هایی از این رویکرد هستند. این رویکرد یک رویکرد جبرگرایانه است. در روش‌های سنتی پیش‌بینی آب‌وهوا برای پیش‌بینی عددی آب‌وهوا^۱، از یک مدل‌سازی ریاضی مبتنی بر استدلال‌های احتمالی بیزی استفاده می‌کنند که از لحاظ تاریخی منجر به تقریب‌های دقیق آب‌وهوا شده است.

۷-۴-۲- رویکرد آماری

تکنیک‌های آماری در مدل‌سازی تحلیل پیش‌بینی‌کننده می‌توانند از معادلات ریاضی ساده و کلاسیک گرفته تا فرآیندهای پیچیده یادگیری ماشین عمیق که روی شبکه‌های عصبی پیچیده کار می‌کنند، متغیر باشند. رگرسیون خطی چندگانه رایج‌ترین روش آماری است [۵۶]. یک مدل آماری معمولاً به عنوان یک رابطه ریاضی بین یک یا چند متغیر تصادفی و سایر متغیرهای غیرتصادفی

^۱. Numeric Weather Prediction (NWP)

مشخص می‌شود. به این ترتیب، یک مدل آماری به عنوان «نمایش رسمی یک نظریه» [۵۷] برچسب گذاری می‌شود. تمامی آزمون‌های فرضیه‌های آماری و همچنین برآوردهای آماری از طریق مدل‌های آماری استخراج می‌شوند. به طور معمول، مدل‌های آماری بخشی از پایه استنتاج آماری هستند که یک رویکرد غیرقطعی محسوب می‌شود. در نهایت، این روش پایه و اساس سایر رویکردها را تشکیل می‌دهد [۵۸ و ۵۹].

۷-۴-۱-۳- رویکرد داده کاوی

پیش‌بینی روندهای آتی برای کارهای کشاورزی بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های متنی، عددی یا چندرسانه‌ای عظیم و استخراج اطلاعات مهم به عنوان داده کاوی^۱ شناخته می‌شود. داده کاوی به عنوان کشف دانش در پایگاه داده شناخته می‌شود و می‌تواند داده‌ها، استنتاج‌ها و یا دانشی معنی دار را از مقدار زیادی از داده‌ها بازیابی کند [۵۰]. تمام مراحل چرخه ذکر شده در جدول ۷-۳ نیز دنبال می‌شود. روش‌های مختلفی برای استخراج داده‌ها از پهنپادها، اینترنت اشیا، حسگرها و غیره استفاده می‌شود. برخی از روش‌های رایج داده کاوی عبارت‌اند از خوشه‌بندی (خوشه‌بندی که برای شبیه‌سازی بارش‌های روزانه و سایر متغیرهای آب و هوای کشاورزی استفاده می‌شود.) و اندازه‌گیری فاصله (فاصله اقلیدسی) [۶۰ و ۶۱].

۷-۴-۱-۴- طبقه‌بندی و روش‌های رگرسیونی

مدل‌ها یا الگوریتم‌هایی که داده‌ها را به زیرمجموعه‌ها تقسیم می‌کنند، با دسته‌بندی متغیرهای ورودی تعریف می‌شوند. مدل با استفاده از داده‌های آموزشی برای پیش‌بینی مقدار هدف تهیه شده است. اصطلاحات مهم مورد استفاده در روش‌های طبقه‌بندی شامل موارد زیر است:

- **ترتیب:** الگوریتمی که داده‌های ورودی را به یک مقدار خاص هدف می‌رساند.
- **مدل طبقه‌بندی:** از مقادیر ورودی داده‌شده برای آموزش نتیجه می‌گیرد. مشخصه‌ها یا دسته‌های خروجی را برای داده‌های جدید یا داده‌های آزمایشی پیش‌بینی می‌کند.
- **ویژگی:** شامل ویژگی‌های فردی قابل اندازه‌گیری یک پدیده در حال مشاهده است. برای انتخاب ویژگی‌ها می‌توان از روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی استفاده کرد.
- **طبقه‌بندی باینری:** طبقه‌بندی با دو نتیجه ممکن ۰ یا ۱. به عنوان مثال، طبقه‌بندی جنسیتی (مرد / زن).

^۱. Data Mining (DM)

- **طبقه‌بندی چندگروهی:** طبقه‌بندی با بیش از دو گروه. در طبقه‌بندی چندطبقه، هر نمونه به یک و تنها یک مشخصه هدف اختصاص داده می‌شود. به عنوان مثال، میوه می تواند رسیده یا نارس باشد.
- **طبقه‌بندی چندوجهی:** یک کار طبقه‌بندی که در آن هر نمونه به مجموعه‌ای از مشخصه‌های هدف (بیش از یک گروه) می‌پردازد. به عنوان مثال، یک محصول می‌تواند هم در میوه و هم در برگ‌های خود عفونت قارچی داشته باشد.
- مدل‌های رگرسیون پایه اصلی تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده هستند. هدف ایجاد یک معادله ریاضی به عنوان مدلی برای تفسیر روابط بین متغیرهای مختلف با در نظر گرفتن مقادیر واقعی پیوسته است. تحلیل رگرسیون برای مدل‌سازی رابطه بین یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل استفاده می‌شود. اصطلاحات مهم مورد استفاده در روش‌های رگرسیون عبارت‌اند از:
 - **داده‌های پرت**
مقداری در یک مجموعه داده که در مقایسه با سایر داده‌ها بسیار زیاد یا بسیار پایین است؛ به عبارت دیگر، داده‌ای که به مجموع داده‌ها تعلق ندارد، چنین مشاهده‌ای را پرت می‌گویند. برای ایجاد نتایج قابل قبول، موارد پرت باید حذف شوند.
 - **چندخطی بودن**
زمانی که متغیرهای مستقل با یکدیگر همبستگی بالایی داشته باشند، آنگاه گفته می‌شود که متغیرها چندخطی هستند. بسیاری از روش‌های رگرسیون با چندخطی ناسازگار هستند؛ زیرا این امر باعث ایجاد مشکل در رتبه‌بندی متغیرها بر اساس اهمیت آن‌ها می‌شود. برعکس، انتخاب مهم‌ترین متغیر مستقل (عامل) مشکل‌ساز است.
 - **ناهمسانی**
ناهمسانی زمانی اتفاق می‌افتد که تغییرپذیری متغیر مستقل برابر با مقادیر متغیر وابسته نباشد.
 - **برازش کم و یا برازش بیش از حد**
هنگامی که از متغیرهای توصیفی غیرضروری استفاده می‌شود، ممکن است منجر به برازش بیش از حد شود. تطبیق بیش از حد به این معنی است که الگوریتم به اندازه کافی در مجموعه آموزشی کار می‌کند اما قادر به عملکرد بهتر در مجموعه‌های آزمایشی نیست و این مسئله به عنوان مشکل واریانس بالا شناخته می‌شود. زمانی که یک الگوریتم بسیار ضعیف عمل می‌کند و نمی‌تواند حتی یک مجموعه آموزشی را به درستی تنظیم کند، در این صورت گفته می‌شود که داده‌ها را از بین می‌برد و به عنوان مشکل تعلق بیش از حد

شناخته می‌شود. برای چنین ناهنجاری‌هایی از روش‌های تقویت گرادیان استفاده می‌شود. طیف گسترده‌ای از مدل‌ها وجود دارد که می‌توان آن‌ها را در حین انجام تحلیل‌های پیش‌بینی به کار برد. تعدادی از آن‌ها در جدول ۴-۷ ذکر شده است.

۷-۴-۱-۵- رویکرد مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

یادگیری ماشینی شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که برای ساخت تکنیک‌هایی به کار گرفته شد تا کامپیوترها را قادر به یادگیری کند. روش‌های آماری پیشرفته برای رگرسیون و طبقه‌بندی، پایه اصلی این روش‌ها را تشکیل می‌دهند. رویدادهای ناشناخته و شناخته‌شده، هر دو، از روابط پیچیده موجود در داده‌ها پیش‌بینی می‌شوند [۶۲]. مدل‌سازی مجموعه، یک رویکرد معمولی است که در آن بسیاری از تکنیک‌های ذکر شده در بالا برای نتایج و دقت بهتر ترکیب می‌شوند. در جدول ۴-۷، روش‌های مختلفی علاوه بر رگرسیون و طبقه‌بندی مشخص شده است. تجزیه و تحلیل متن مربوط به کشاورزی دقیق در وبسایت‌های پیش‌بینی و وبسایت‌های اجتماعی مانند توییتر، فیس‌بوک برای استخراج نظرات، احساسات و نگرش‌ها نسبت به جنبه‌ای خاص از بخش کشاورزی مانند تولید محصول، سیاست‌های دولت، تغییرات آب‌وهوایی و موارد دیگر استفاده می‌شود. در نتیجه ابزارهای داخلی مانند بینش هوت‌سوئیت^۱، جست‌وجوی سریع، ویژوالایزر توییت دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی^۲، معنی ابر^۳، تحلیلگر احساسات^۴، سنتی‌استرت^۵ و سنتژم^۶ امکان‌پذیر است. علاوه بر این، مجموعه کلمات یا هشتک‌ها و کلمات کلیدی برای نظارت بر رفتار استفاده می‌شود (جدول ۴-۷).

^۱. Hootsuite

^۲. NCSU Tweet Visualizer

^۳. MeaningCloud

^۴. Sentiment Analyzer

^۵. SentiStrength

^۶. Sentigem

جدول ۷-۴- برخی از تکنیک‌های تحلیلی پیش‌بینی‌کننده رایج

روش‌های طبقه‌بندی	روش‌های رگرسیون	فراگیری ماشین
• طبقه‌بندی‌های خطی ○ رگرسیون لجستیک ○ طبقه‌بندی‌کننده ساده بیز ○ تشخیص خطی فیشر • ماشین‌های بردار پشتیبانی ○ پشتیبانی از حداقل مربعات ماشین‌های برداری • طبقه‌بندی‌کننده‌های درجه دوم • تخمین کرنل ○ K-نزدیک‌ترین همسایه • درختان تصمیم • جنگل‌های تصادفی	• رگرسیون خطی • رگرسیون لجستیک • رگرسیون چندجمله‌ای • رگرسیون گام به گام • رگرسیون گام به گام • رگرسیون ریج • رگرسیون کمند • رگرسیون ElasticNet	• مدل‌سازی پیش‌بینی جغرافیایی • شبکه‌های عصبی • یادگیری عمیق • ماشین‌های بردار پشتیبانی • پرسپترون چندلایه • تابع پایه شعاعی • k-به معنی • پیشین • مدل مارکوف پنهان • فازای C-یعنی • تحلیل احساسات یا نظر • تحلیل (برای متن) • تجزیه و تحلیل قطبی دوبله (برای متن) • پردازش زبان طبیعی

۷-۵- مدل‌سازی پیش‌بینی

مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده^۱ فرآیند استفاده از داده‌ها و آمار برای پیش‌بینی نتایج با مدل‌های داده است. از این مدل‌ها می‌توان برای پیش‌بینی هر چیزی از نتایج ورزشی، پیش‌بینی‌های کشاورزی و پیش‌بینی‌های تجاری استفاده کرد. مدل‌سازی پیش‌بینی اغلب با عنوان تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده تحلیل و پیش‌بینی‌کننده فراگیری ماشین نیز شناخته می‌شود. هر مدل تحلیل پیش‌بینی‌کننده می‌تواند از بیش از یک طبقه‌بندی‌کننده، بسیاری از پیش‌بینی‌کننده‌ها یا متغیرها استفاده کند که بر احتمال نتایج مختلف تأثیر می‌گذارند. قبل از شروع یک فرآیند مدل‌سازی پیش‌بینی، شناسایی اهداف، محدوده پروژه، نتایج مورد انتظار و

^۱. Predictive modeling (PM)

مجموعه داده‌های مورد استفاده ضروری است. مدل‌های پیش‌بینی به دو دسته پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شوند. علاوه بر این، مدل‌های نیمه پارامتریک نیز وجود دارند و شامل ویژگی‌های هر دو دسته هستند. مدل‌های پارامتری «فرض‌های خاصی در توزیع پارامتر محدود» ایجاد می‌کنند. مدل‌های ناپارامتریک «معمولاً شامل پارامترهایی برای پیش‌بینی متعلق به مجموعه‌های توزیع نامتناهی هستند و به یک توزیع نرمال محدود نمی‌شوند؛ زیرا بر داده‌های پیوسته متکی هستند» [۶۳-۶۵]. مدل‌های پیش‌بینی به اندازه‌ای رایج است که تجزیه و تحلیل پیش‌بینی در زمینه‌های کشاورزی دقیق، امور مالی، کنترل ترافیک، کشف تقلب، پیش‌بینی آب‌وهوا و فراتر از آن رایج است [۳۱] (جدول ۷-۵).

جدول ۷-۵- استفاده از روش‌های تحلیلی برای کاربرد خاص

وظیفه کشاورزی	تکنیک‌ها یا نرم‌افزارهای تحلیلی
پیش‌بینی آب‌وهوا و نظارت بر آبیاری	رگرسیون (هم‌خطی و غیرهم‌خطی)، سری زمانی (میانگین متحرک، خودرگرسیون، میانگین متحرک خودرگرسیون [۶۶] و [۶۷]، تندر عمیق
بیماری‌ها و طبقه‌بندی انواع آن	شبکه عصبی مصنوعی، یادگیری عمیق، تکنیک‌های طبقه‌بندی، ربات لتوس ^۱
GIS با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر هواپیماهای بدون سرنشین یا ترموگرافی استخراج متن از پلتفرم‌های اجتماعی (توییتر و فیس بوک)	یادگیری عمیق، Computer Vision, ArcGis, [12] AgriBigCAT, [۶۸] پردازش زبان طبیعی و یادگیری عمیق [۶۹-۷۱]

۷-۶- نتیجه

شناسایی و درک عوامل کلیدی تغییر در داده‌های تولیدشده از مزرعه، منجر به رشد توسعه استراتژیک در شیوه‌های کشاورزی شده است. افزایش در تولید مواد غذایی و همچنین درآمد حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، خود سیاست جدیدی است که توسط دولت در هند معرفی شده است [۷۲]. چالش‌های فعلی تجمیع داده‌ها و هزینه‌ای است که کشاورزان از این عمل متحمل می‌شوند. همکاری و به‌ویژه به اشتراک‌گذاری انواع داده‌ها (حسگر، جریانی و تاریخی) بین تولیدکنندگان، تأمین‌کنندگان، پردازنده‌ها، توزیع‌کنندگان و دولت ضروری است [۷۳]. کشاورزان باید در مورد استفاده از روش‌های جمع‌آوری داده‌ها مشتاق باشند و در مورد مزایای مالی این سیستم‌های جدید بیاموزند. شرکت‌های چند ملیتی و دولت باید فشار بر کشاورز را با حمایت مالی از اجرای این

^۱. LettuceBot

ابزارها و روش‌ها کاهش دهند. شرکت‌هایی مانند جان دیر^۱، مونسانتو^۲ و دوپونت پونیر^۳ انقلاب را در روش‌های کشاورزی دقیق رهبری می‌کنند. تراکتورها اکنون می‌توانند به‌طور مستقل بذر بکارند و جان دیر و پایونیر هر دو بذر را با نرخ متغیر ارائه می‌دهند؛ بنابراین، روش‌های جدیدتر و جالب‌تری برای کشاورزان در نظر گرفته شده است. تعدادی از استارت‌آپ‌ها در تلاش برای تنوع‌بخشی وارد بازی شده‌اند [۷۴]. در نهایت، مهندسان، پزشکان و محققان می‌توانند جهت‌های توسعه آینده را بررسی کرده و نوآوری کنند. همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، عوامل پشتیبانی مانند ربات‌ها، حسگرها و انسان‌ها وظایف پیچیده کشاورزی دقیق را انجام می‌دهند، اگرچه با چالش‌های متعددی روبه‌رو هستند، همان‌طور که در جدول ۶-۷ ارائه شده است:

جدول ۶-۷- چالش‌ها در کشاورزی دقیق با ابزارها و تکنیک‌های مختلف [۷۵]

چالش‌ها	ابزارها و تکنیک‌ها	وظیفه کشاورزی دقیق
همکاری بین عوامل در یک سیستم برای وظایف داده‌شده	انسان‌ها، ربات‌ها، تیم حسگرها و ربات‌های گروهی	کاشت و برداشت
همکاری چندنماینده؛ پیشگیری از خطاها و حل تعارضات	الگوریتم و پروتکل برای انسان‌ها، ربات‌ها، تیم‌های حسگر. بهترین پروتکل‌های تطبیق	پایش تنش‌ها و بازرسی بیماری‌ها در محصولات زراعی
ارتباطات ابری برای سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری کنترل مشارکتی	پروتکل‌های اشتراک تقاضا و ظرفیت	پیش‌بینی بازده و تخمین ریسک توسط خدمات رایانش ابری
یادگیری ماشینی مشارکتی	ابزارهای تحلیلی پیشرفته	اندازه‌گیری خروجی و کنترل

^۱. John Deere

^۲. Monsanto

^۳. DuPont Pioneer

منابع

1. K. Bronson and I. Knezevic, "Big Data in Food and Agriculture," *Big Data and Society*, vol. 3, no. 1. SAGE Publications Ltd, 2016, doi: 10.1177/2053 951 716648174.
2. M. v. Schönfeld, R. Heil, and L. Bittner, "Big Data on a Farm – Smart Farming," *Big Data Context*, 2018, pp. 109–120.
3. A. Kaloxylos et al., "Farm Management Systems and the Future Internet Era," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 89, pp. 130–144, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.compag.2012.09.002.
4. H. Channe, S. Kothari, and D. Kadam, "Multidisciplinary Model for Smart Agriculture Using Internet-of-Things (IoT), Sensors, Cloud-Computing, Mobile-Computing & BigData Analysis," *Int. J. Comput. Technol. Appl.*, vol. 6, no. 3, pp. 374–382, 2015.
5. V. Drucker, "Agriculture Springs into the Digital Age," *Fund Strateg.* Sep 2014, 2014.
6. B. Devlin, "The Big Data Zoo–Taming the Beasts: The Need for an Integrated Platform for Enterprise Information," Cape Town: 9sight Consulting, 2012.
7. A. Faulkner, K. Cebul, and G. McHenry, "Agriculture Gets Smart: The Rise of Data and Robotics," *Cleantech Agric. Rep.*, 2014.
8. J. Majumdar, S. Naraseeyappa, and S. Ankalaki, "Analysis of Agriculture Data Using Data Mining Techniques: Application of Big Data," *J. Big Data*, vol. 4, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1186/s40537-017-0077-4.
9. M. N. Islam Sarker, M. Wu, B. Chanthamith, S. Yusufzada, D. Li, and J. Zhang, "Big Data Driven Smart Agriculture: Pathway for Sustainable Development," in *2019 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Big Data, ICAIBD 2019*, 2019, pp. 60–65, doi: 10.1109/ICAIBD.2019.8836982.
10. S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M. J. Bogaardt, "Big Data in Smart Farming – A Review," *Agric. Syst.*, vol. 153. Elsevier Ltd, pp. 69–80, 01-May-2017, doi: 10.1016/j.agry.2017.01.023.
11. A. Meola, "Why IoT, Big Data & Smart Farming Is the Future of Agriculture – OnFarm | a SWIIM Company." [Online]. Available: <http://www.onfarm.com/IoT-big-data-smart-farming-future-agriculture/>. [Accessed: 15-June-2020].
12. "About Godan | GODAN." [Online]. Available: <https://www.godan.info/aboutgodan>. [Accessed: 15-Jun-2020].
13. S. Finlay, *Predictive Analytics, Data Mining and Big Data: Myths, Misconceptions and Methods*, 1st Ed. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2014.
14. S. Chakraborty, P. Das, and S. Pal, "IoT Foundations and Its Application," in *IoT and Analytics for Agriculture*, P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, and S. Panda, Eds. Singapore: Springer, pp. 51–68, 2020.
15. D. D. Dasig Jr., "Implementing IoT and Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture," in *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, Vol 2, P. K. Pattnaik, R. Kumar, and S. Pal, Eds. Singapore: Springer, pp. 23–44, 2020.
16. M. von Rijmenam, "John Deere Is Revolutionizing Farming with Big Data. Research Article, Datafloq, 21 February." 2015.

17. M. Abuhelaleh, K. Elleithy, and T. Mismar, "Modified LEACH – Energy Efficient Wireless Networks Communication," in *Novel Algorithms and Techniques in Telecommunications and Networking*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2010, pp. 123–127.
18. K. Ishii, "Big Data Analysis in Medicine, Agriculture and Environmental Sciences," *Seibutsu-kogaku Kaishi*, vol. 92, no. 2, pp. 92–93, 2014.
19. J. Verhoosel, M. van Bekkum, and T. Verwaart, "HortiCube: A Platform for Transparent, Trusted Data Sharing in the Food Supply Chain," *Proc. food Syst. Dyn.*, pp. 384–388, 2016.
20. H. G. Miller and P. Mork, "From Data to Decisions: A Value Chain for Big Data," *IT Prof.*, vol. 15, no. 1, pp. 57–59, 2013, doi: 10.1109/MITP.2013.11.
21. T. Liu, H. Tan, and J. Zhang, "Research on the Big Data-Based Government Decision and Public Information Service Model of Food Safety and Nutrition Industry.," *J. Food Saf. Qual.*, vol. 6, no. 1, pp. 366–371, 2015.
22. D. V. Tran and N. V. Nguyen, "The Concept and Implementation of Precision Farming and Rice Integrated Crop Management Systems for Sustainable Production in the Twenty-First Century," *Int. Rice Comm. Newsl.* vol. 55, pp. 91–113, 2006.
23. "Indicators | Sustainable Development Goals | Food and Agriculture Organization of the United Nations." [Online]. Available: <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/en/>. [Accessed: 15-June-2020].
24. "CGIAR BIG DATA Platform | CGIAR Platform for Big Data in Agriculture." [Online]. Available: <https://bigdata.cgiar.org/>. [Accessed: 15-June-2020].
25. "Agricultural Market Information System: Home." [Online]. Available: <http://www.amis-outlook.org/>. [Accessed: 15-June-2020].
26. D. Mohapatra, "Venture Capital Firms Looking at Agriculture Start-Ups for Rich Harvest | Business Standard News." [Online]. Available: https://www.business-standard.com/article/specials/venture-capital-firms-looking-at-agriculture-start-ups-for-rich-harvest-118062701392_1.html. [Accessed: 15-June-2020].
27. R. Sachitanand, "Indian Startups: For India's Agri-Tech Startups, the Wind of Change Is Finally Here – The Economic Times." [Online]. Available: <https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/startups/features/for-indias-agri-tech-startups-the-wind-of-change-is-finally-here/articleshow/64714325.cms?from=mdr>. [Accessed: 15-June-2020].
28. I. A. T. Hashem, I. Yaqoob, N. B. Anuar, S. Mokhtar, A. Gani, and S. Ullah Khan, "The Rise of 'Big Data' on Cloud Computing: Review and Open Research Issues," *Inf. Syst.*, vol. 47. Elsevier Ltd, pp. 98–115, 2015, doi: 10.1016/j.is.2014.07.006.
29. A. Kaloxylos et al., "A Cloud-Based Farm Management System: Architecture and Implementation," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 100, pp. 168–179, 2014, doi: 10.1016/j.compag.2013.11.014.
30. A. W. Layton, A. D. Balmos, S. Sabpisa, A. Ault, J. V. Krogmeier, and D. Buckmaster, "ISOBlue: An Open Source Project to Bring Agricultural

- Machinery Data into the Cloud,” in 2014 Montreal, Quebec Canada, July 13–July 16, 2014, 2014, p. 1.
31. “Predictive Modeling: The Only Guide You Need | MicroStrategy.” [Online]. Available: <https://www.microstrategy.com/us/resources/introductory-guides/predictive-modeling-the-only-guide-you-need>. [Accessed: 15-June-2020].
 32. C. Salembier, B. Segrestin, N. Sinoir, J. Templier, B. Weil, and J. M. Meynard, “Design of Equipment for Agroecology: Coupled Innovation Processes Led by Farmer-Designers,” *Agric. Syst.*, vol. 183, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.agry.2020.102856.
 33. M. Friendly and D. Meyer, *Discrete Data Analysis with R: Visualization and Modeling Techniques for Categorical and Count Data*, vol. 120, CRC Press, 2015.
 34. J. M. Tien, “Big Data: Unleashing Information,” *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*, vol. 22, no. 2, pp. 127–151, Jun. 2013, doi: 10.1007/s11518-013-5219-4.
 35. “Data Cleaning Steps and Techniques – Data Science Primer.” [Online]. Available: <https://elitedatascience.com/data-cleaning>. [Accessed: 15-June-2020].
 36. S. Barmounakis et al., “Management and Control Applications in Agriculture Domain via a Future Internet Business-to-Business Platform,” *Inf. Process. Agric.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–63, May 2015, doi: 10.1016/j.inpa.2015.04.002.
 37. L. Klerkx, N. Aarts, and C. Leeuwis, “Adaptive Management in Agricultural Innovation Systems: The Interactions between Innovation Networks and Their Environment,” *Agric. Syst.*, vol. 103, no. 6, pp. 390–400, July 2010, doi: 10.1016/j.agry.2010.03.012.
 38. J. Masih and R. Rajasekaran, “Integrating Big Data Practices in Agriculture,” in *IoT and Analytics for Agriculture*, Singapore: Springer, pp. 1–26, 2020.
 39. G. Fastellini and C. Schillaci, “Precision Farming and IoT Case Studies Across the World,” in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, Academic Press, pp. 331–415, 2020.
 40. P. Mondal and M. Basu, “Adoption of Precision Agriculture Technologies in India and in Some Developing Countries: Scope, Present Status and Strategies,” *Prog. Nat. Sci.*, vol. 19, no. 6, pp. 659–666, 2009, doi: 10.1016/j.pnsc.2008.07.020.
 41. A. D. Boursianis et al., “Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Smart Farming: A Comprehensive Review,” *Internet of Things*, p. 100187, 2020, doi: 10.1016/j.iot.2020.100187.
 42. H. Auernhammer, “Precision Farming – The Environmental Challenge,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 30, no. 1–3, pp. 31–43, 2001, doi: 10.1016/S0168-1699(00)00153-8.
 43. X. Li, S. Chen, and L. Guo, “Technological Innovation of Agricultural Information Service in the Age of Big Data,” *J. Agric. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 4, pp. 10–15, 2014.
 44. C. Nyce, “Predictive Analytics White Paper,” American Institute for CPCU. Insurance Institute of America, pp. 9–10, 2007.
 45. E. Barkin, “CRM + Predictive Analytics: Why It All Adds Up,” *CRM Mag.*, vol. 15, no. 5, pp. 21–23, 2011.

46. H. Fletcher, "The 7 Best Uses for Predictive Analytics in Multichannel Marketing," *Target Mark.*, Mar. 2011.
47. S. Korn, "The Opportunity for Predictive Analytics in Finance," *HPC Wire*, Apr. 2011.
48. K. Das and G. S. Vidyashankar, "Competitive Advantage in Retail through Analytics: Developing Insights, Creating Value," *Inf. Manag.*, 1, 2006.
49. S. De, A. Maity, V. Goel, S. Shitole, and A. Bhattacharya, "Predicting the Popularity of Instagram Posts for a Lifestyle Magazine Using Deep Learning," in *2nd International Conference on Communication Systems, Computing and IT Applications, CSCITA 2017 – Proceedings*, 2017, pp. 174–177, doi: 10.1109/CSCITA.2017.8066548.
50. S. Finlay, *Predictive Analytics, Data Mining and Big Data: Myths, Misconceptions and Methods*. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2014.
51. J. MacLennan, *5 Myths about Predictive Analytics*. The Data Warehouse Institute, 2012.
52. E. Siegel, *Predictive Analytics: The Power To Predict Who Will Click, Buy, Lie, Or Die*. John Wiley & Sons, 2013.
53. "Predictive Analytics: What It Is and Why It Matters | SAS India." [Online]. Available: https://www.sas.com/en_in/insights/analytics/predictive-analytics.html. [Accessed: 15-June-2020].
54. M. Pechenizkiy. "Predictive Analytics on Evolving Data Streams," in *2015 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS)*, 2017.
55. F. Halper, "The Top 5 Trends in Predictive Analytics-Maturing User Adoption Brings Vision, Viability, Validity and Value," *Inf. Manag.*, vol. 21, no. 6, p. 16, 2011.
56. G. Shmueli, "To Explain or to Predict?" *Stat. Sci.*, vol. 25, no. 3, pp. 289–310, Aug. 2010, doi: 10.1214/10-STS330.
57. W. Eckerson, "Predictive analytics. Extending the Value of Your Data Warehousing Investment." *TDWI Best Pract. Rep.*, vol. 1, pp. 1–36, 2007.
58. S. Posadas, "Advanced Predictive Analytics versus Traditional Historical Forecasting." [Online]. Available: <https://iloT-world.com/predictive-analytics/predictive-maintenance/advanced-predictive-analytics-versus-traditional-historical-forecasting/>. [Accessed: 15-June-2020].
59. J. Emigh, "Predictive Analytics Techniques: Seeing the Future." [Online]. Available: <https://www.datamation.com/big-data/predictive-analytics-techniques.html>. [Accessed: 15-June-2020].
60. Z. Zong, R. Fares, B. Romoser, and J. Wood, "FastStor: Improving the Performance of a Large Scale Hybrid Storage System via Caching and Prefetching," *Cluster Comput.*, vol. 17, no. 2, pp. 593–604, 2014, doi: 10.1007/s10586-013-0304-5.
61. N. Xie, W. Wang, B. Ma, X. Zhang, W. Sun, and F. Guo, "Research on an Agricultural Knowledge Fusion Method for Big Data," *Data Sci. J.*, vol. 14, 2015, doi: 10.5334/dsj-2015-007.
62. T. M. Mitchell, *Machinie Learning*. New York: WCB/McGraw-Hill, 1997.

63. P. Sprent and N. C. Smeeton, *Applied Nonparametric Statistical Methods*, CRC press, 2016.
64. D. Sheskin, "The median test for independent samples," in *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*, Chapman & Hall/CRC, 2004.
65. D. J. Sheskin, *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*. CRC Press, 2003.
66. E. Keogh and S. Kasetty, "On the Need for Time Series Data Mining Benchmarks," *Data Min. Knowl. Discov.*, vol. 7, p. 102, 2002, doi: 10.1145/775047.775062.
67. S. Aghabozorgi, A. Seyed Shirkhorshidi, and T. Ying Wah, "Time-Series Clustering – A Decade Review," *Inf. Syst.*, vol. 53, pp. 16–38, May 2015, doi: 10.1016/j.is.2015.04.007.
68. J. Ye, B. Chen, Q. Liu, "A Precision Agriculture Management System Based on Internet of Things and WebGIS, in 21st International Conference on Geoinformatics, IEEE, pp. 1–5, 2013
69. P. Nimirthi, P. V. Krishna, M. S. Obaidat, and V. Saritha, "A Framework for Sentiment Analysis Based Recommender System for Agriculture Using Deep Learning Approach," in *Social Network Forensics, Cyber Security, and Machine Learning*, Singapore: Springer, 2019, pp. 59–66.
70. O. Bermeo-Almeida, J. del Cioppo-Morstadt, M. Cardenas-Rodriguez, R. Cabezas-Cabezas, and W. Bazán-Vera, "Sentiment Analysis in Social Networks for Agricultural Pests," in *2nd International Conference on ICTs in Agronomy and Environment*, 2019, pp. 122–129.
71. S. Valsamidis, T. Theodosiou, I. Kazanidis, and M. Nikolaidis, "A Framework for Opinion Mining in Blogs for Agriculture," *Procedia Technol.*, vol. 8, pp. 264–274, 2013.
72. K. Kitikidou and N. Arambatzis, "Big Data Analysis (Business Analytics) in Agriculture and Forestry: A Bibliography Review," *Res. J. For.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–5, Jan. 2015, doi: 10.3923/rjf.2015.1.5.
73. R. Kashef, "Adopting Big Data Analysis in the Agricultural Sector: Financial and Societal Impacts," in *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, vol. 2, Singapore: Springer, pp. 131–154, 2020.
74. X. Pham and M. Stack, "How Data Analytics Is Transforming Agriculture," *Bus. Horiz.*, vol. 61, no. 1, pp. 125–133, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.bushor.2017.09.011.
75. P. O. Dusadeerungsikul, V. Liakos, F. Morari, S. Y. Nof, and A. Bechar, "Chapter 5 – Smart Action," in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, A. Castrignanò, G. Buttafuoco, R. Khosla, A. M. Mouazen, D. Moshou, and O. Naud, Eds. Academic Press, 2020, pp. 225–277.

فصل هشتم

سامانه‌های تصمیم‌گیری و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم

۸-۱-مقدمه

ماشین‌های خودکار، ابزارها و سایر روش‌های هوشمند در حمایت از کشاورزان برای تولید محصول و مدیریت کشاورزی دیجیتال به شدت شکوفا شده‌اند. عباراتی مانند «حسگر» و «هوشمند» به مفاهیم و ابزارها اضافه شد تا الگوی جدیدی از کشاورزی را نشان دهد. با اطلاعات انبوهی که از منابع متعدد به دست می‌آید و به عنوان کلان داده‌های باغبانی نامیده می‌شود، یادگیری، تجزیه و تحلیل عمیق‌تر در داده‌ها برای تولید راه‌حل‌ها و تصمیم‌های هوشمندانه و واقعی از سوی کشاورزان از آغاز انقلاب سبز تا عصر حاضر کشاورزی به نام کشاورزی نسل ۴,۰ آغاز شد. تصمیم‌گیری به خودی خود یک علم جدید است و هنوز چیزهای بیشتری باید مورد بررسی قرار گیرد. در علوم تصمیم‌گیری، استانداردهای جدیدی در برخورد با اطلاعات بسیار پیچیده و عمیق در حال انجام است. فرآیند تصمیم‌گیری مبتنی بر عناصری است که به چهار سؤال پاسخ می‌دهد: که؟ (فردی یا جمعی)، چه؟ (راهبردی، تاکتیکی یا عملیاتی)، چه زمانی؟ (فعال یا تحریک‌شده) و چگونه؟ (مبتنی بر اطلاعات یا شهودی) [۱]. بنابراین، پشتیبانی تصمیم یکی از دغدغه‌های اصلی کشاورزی هوشمند است و این فصل بیشتر در مورد این موضوع توضیح می‌دهد [۲]. فرآیند تصمیم‌گیری در تجربیات گذشته، داده‌های مشاهده‌شده و تحلیل‌های وضعیت کنونی ادغام می‌شود. تصمیمات به صورت کمی یا کیفی یا ترکیبی از هر دو صورت می‌گیرد. یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده‌تر ممکن است به مقدار قابل توجهی قضاوت خوب و تجزیه و تحلیل کمی نیاز داشته باشد [۳].

انتقال داده‌ها و اطلاعات متغیر و حجیم به اقدامات عملی چالش برانگیز است؛ بنابراین، زمینه‌هایی مانند سامانه‌های پشتیبانی تصمیم^۱ برای اتخاذ تصمیمات دقیق و مبتنی بر شواهد و نیاز، ضروری هستند [۴]. تعریف رسمی از «سامانه» به خوبی توسط رایت^۲ ارائه شده است: [۵] «سامانه یک موجودیت پویا، مرکب و قابل تشخیص است که از زیرسامانه‌های مختلف قابل تشخیص که به یکدیگر مرتبط هستند، تشکیل شده است و به عنوان یک کل، قادر به انجام کارها و وظایف در پاسخ به ورودی‌های خارجی به روشی پایدار و سازگار است. نویسندگان مختلف توضیحات متفاوتی برای یک سامانه پشتیبانی تصمیم ایجاد کرده‌اند. تعداد کمی [۶] سامانه پشتیبانی تصمیم را به عنوان یک پردازش داده و فرآیند متمایز تعریف کردند که بر اساس مدل‌هایی با هدف افزایش کیفیت تصمیمات اتخاذشده توسط تصمیم‌گیرندگان است. جونز و همکاران [۷] سامانه پشتیبانی تصمیم را به عنوان «سامانه رایانه‌ای برای تصمیم‌گیری با کیفیت بهبودیافته مرتبط با مسائل ساختاریافته» تعریف کردند. شنگ و ژانگ [۸] سامانه پشتیبانی تصمیم را به عنوان «سامانه انسان و رایانه‌ای که قادر به جمع‌آوری، پردازش و ارائه دانش مبتنی بر رایانه است» توصیف کردند. تربیل و

^۱. Decision Support Systems (DSSs)

^۲. Wright

همکاران [۹] سامانه پشتیبانی تصمیم را به‌عنوان «سامانه هوشمندی که قادر به ارائه راه‌حل‌های عملی و پشتیبانی تصمیم‌گیری برای داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به مسائل خاص است» معرفی کردند. بر اساس توضیحات بالا، سامانه پشتیبانی تصمیم به مجموعه‌ای از ابزارها، داده‌ها و تکنیک‌هایی گفته می‌شود که به‌عنوان نرم‌افزار تعاملی شکل می‌گیرند و بسته به نوع مشکل برای کمک به تصمیم‌گیری در زمان واقعی آموزش داده می‌شوند [۱۰]. سامانه پشتیبانی تصمیم ممکن است از یک ابزار ساده پردازش داده یا یک سامانه خبره مبتنی بر رایانه پیچیده باشد که اطلاعات مفیدی را از داده‌ها، اسناد یا سایر سازگار استخراج می‌کند [۱۱] (شکل ۸-۱).

تاریخچه سامانه‌های پشتیبانی تصمیم به سال ۱۹۶۰ برمی‌گردد [۱۲] و در سال ۱۹۶۷ مایکل اسکات مورتون از دانشگاه هاروارد آن را به‌عنوان اولین سامانه‌های پشتیبانی تصمیم مبتنی بر مدل برای استفاده در مدیریت بازاریابی و مالی توسعه داد. در سال ۱۹۶۲، فارستر^۱ اولین سامانه پدافند هوایی مبتنی بر کامپیوتر و داده‌محور را با نام ساج (محیط کاری نیمه‌خودکار)^۲ برای آمریکای شمالی توسعه داد.

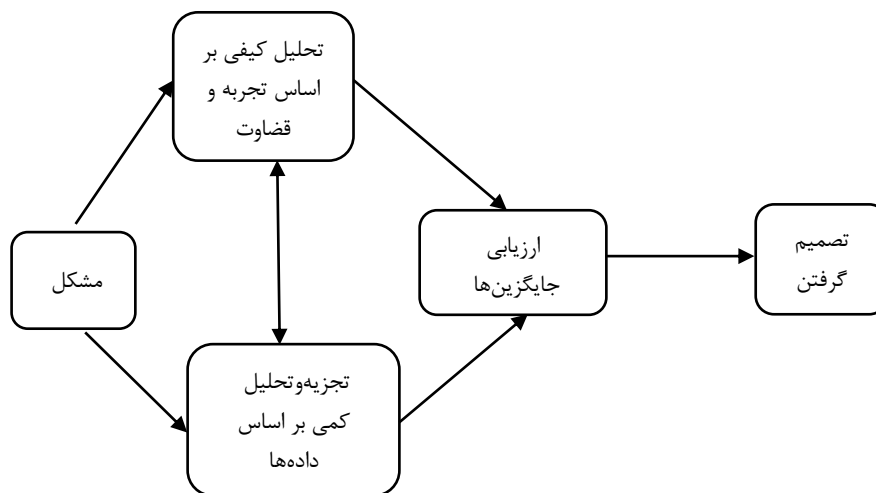
یک سامانه پشتیبانی تصمیم مولد با سهولت استفاده، در صورت نیاز توانایی تصمیم‌گیری در محل و نمایش قابل فهم اطلاعات را در قالب نمودارها، گزارش‌ها، پیامک‌ها و اقدامات هوشمند و غیره دارد. قابلیت اطمینان، سازگاری با محیط‌های در حال تغییر، انعطاف‌پذیری و دقت، برخی از ویژگی‌های مهم و مقاوم یک سامانه پشتیبانی تصمیم پایدار است.

اهداف کلی برای راه‌اندازی یک سامانه پشتیبانی تصمیم [۱۰] عبارت‌اند از:

- ۱) بهبود کارایی و اثربخشی تصمیم‌گیرنده
 - ۲) اقدام به حل مسائل به‌عنوان یک سامانه پشتیبانی تصمیم
 - ۳) کمک به تصمیم‌گیرندگان در مدیریت دانش
 - ۴) ساده‌کردن فرآیند حل مسئله
- بسته به نوع ورودی‌ای که یک سامانه پشتیبانی تصمیم در آن کار می‌کند، پنج نوع سامانه پشتیبانی تصمیم تاکنون فهرست‌بندی شده‌اند [۱۲]–[۱۴]:

^۱. Forrester

^۲. Semi-Automatic Ground Environment (SAGE)



شکل ۸-۱- مروری بر فرآیند تصمیم‌گیری [۳]

(۱) ارتباط محور

سامانه‌های پشتیبانی تصمیم، سامانه‌های پشتیبانی تصمیم گروهی^۱ نیز نامیده می‌شوند. این سامانه‌ها شامل بیش از یک نفر است که در هماهنگی برای حل یک مشکل پیچیده کار می‌کنند. نمونه‌ای از این سامانه‌ها، چت‌های آنلاین یا پلتفرم‌های جلسه آنلاین مثل وبکس^۲، زوم^۳ و سایر نرم‌افزارهای پیام‌رسان فوری است.

(۲) داده محور

سامانه‌های پشتیبانی تصمیم مبتنی بر داده، سامانه‌های پشتیبانی‌ای هستند که توسط حجم عظیمی از تغذیه داده‌های بی‌درنگ یا آفلاین و تجزیه و تحلیل داده‌های مبتنی بر کشاورزی هوشمند یا یادگیری ماشین پیشرفته برای تولید تصمیم‌ها تحریک می‌شوند. این سامانه‌ها روی پایگاه کلان داده‌ها و دریاچه‌های داده کار می‌کنند.

(۳) سند محور

این سامانه‌های پشتیبانی تصمیم، مورد استفاده رایج هستند و روی جست‌وجوی کلمات کلیدی خاص یا در WWW یا اسناد یا سرویس گیرنده یا سرور مبتنی بر وب کار

^۱. Group Decision Support Systems (GDSS)

^۲. Webex

^۳. Zoom

می‌کنند؛ به کاربر کمک می‌کند تا با تجزیه و تحلیل اسناد بسته به نیاز در زمان خود صرفه‌جویی کند.

(۴) دانش‌محور

سامانه‌های پشتیبانی تصمیم دانش‌محور، سامانه‌های پشتیبانی‌ای هستند که برای استخراج اطلاعات از پایگاه‌های دانش ذخیره‌شده در فرآیندهای جمع‌آوری داده، حقایق، قوانین و غیره طراحی شده‌اند. در این سامانه‌های پشتیبانی معمولاً از روش‌های داده‌کاوی استفاده می‌شود. فناوری استقرار معمولی که برای راه‌اندازی چنین سامانه‌هایی استفاده می‌شود می‌تواند سامانه‌های سرویس‌گیرنده یا سرور، وب یا نرم‌افزارهایی باشد که روی رایانه‌های شخصی مستقل اجرا می‌شوند.

(۵) مدل‌محور

سامانه‌های پشتیبانی تصمیم مدل‌محور، سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری پیچیده‌ای هستند که برای تجزیه و تحلیل داده‌ها به روشی مشابه سامانه‌های پشتیبانی تصمیم مبتنی بر داده استفاده می‌شوند. مدل‌های کشاورزی دقیق یا یادگیری ماشین برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی زمان تصمیم‌گیری به منظور تولید نتایج دقیق و قابل اعتماد ساخته شده‌اند. این سامانه‌های پشتیبانی تصمیم را می‌توان از طریق نرم‌افزار یا سخت‌افزار در رایانه‌های شخصی مستقل، سامانه‌های سرویس‌گیرنده یا سرور، وب یا رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی^۱ راه‌اندازی کرد.

کاربرد سامانه‌های پشتیبانی تصمیم در سناریوهای متنوعی از بازاریابی، بهداشت پزشکی، آموزش، امور مالی، پشتیبانی مشتری، کشاورزی، سامانه‌های پرواز، فرآیندهای صنعتی و فراتر از آن، دامنه پیدا کرده‌است.

۸-۲- سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری کشاورزی هوشمند^۲

کشاورزان ممکن است هنگام انتقال تصمیمات صحیح در فعالیتهای مربوط به اقتصاد، محصول، کاشت و برداشت، دام یا محیط‌زیست با مسائل مختلفی مواجه شوند. فرآیندهای تصمیم‌گیری کشاورزی امروزی به دلیل عوامل خارجی مختلفی که بر سامانه کشاورزی تأثیر می‌گذارد، بسیار پیچیده شده است. به دلیل استفاده از حسگرها، ماهواره‌ها، سامانه اطلاعات جغرافیایی^۳، پهپادهای کشاورزی، ربات‌ها، ماشین‌آلات پیشرفته و اینترنت اشیا (یعنی کشاورزی دیجیتال) جریان اطلاعات

^۱. Application Programming Interface (APIs)

^۲. Intelligent Agricultural Decision Support System (ADSS)

^۳. Geographic Information System (GIS)

قابل توجهی رخ داده است. مدیریت چنین داده‌هایی و اثبات راه‌حل‌های عملی برای مسائل مربوط به محصول، تیمار یا برداشت، به یک حوزه پژوهشی جذاب برای دولت، دانشمندان و شرکت‌ها تبدیل شده و منجر به ظهور استانداردهای جدید برای کشاورزی شده است. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم کشاورزی، همه ابزارها و تکنیک‌های مورد نیاز برای فرآیند تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند. بنابراین، بهترین کار، بهینه‌سازی اطلاعات انبوه و تولید خروجی برای افزایش تولید کشاورزی است [۱۵] و [۱۶]. فرآیندهای داده‌کاوی^۱ هوشمند کشاورزی، معمولاً به تجربه و تخصص نیاز دارند که به بررسی عمیق کلان داده‌ها می‌رسد [۳]. سامانه‌های پشتیبانی کشاورزی نقشی کلیدی در کشاورزی دقیق قرن بیست و یکم ایفا می‌کنند؛ زیرا سامانه‌های کشاورزی امروزی به دلیل گنجاندن سامانه‌های مختلف بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی - انفجار گسترده اطلاعاتی - پیچیده‌تر شده‌اند. این برنامه‌ها به کشاورزان در جلوگیری از ضرر و زیان با حدس و گمان و همچنین دسترسی بیشتر به جزئیات کمک می‌کند. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم کامپیوتری قادر به پرداختن به داده‌ها و محاسبات حساس و پیچیده در کسری از ثانیه هستند؛ بنابراین پیشنهادی بدون خطا و قابل اعتماد به کاربر ارائه می‌دهند [۳]. با این وجود، مدل‌های شبیه‌سازی محصول را نباید با سامانه‌های پشتیبانی تصمیم اشتباه گرفت [۱۷]. یک سامانه پشتیبانی تصمیم کشاورزی می‌تواند با تسهیل جمع‌آوری، سازماندهی و ادغام اطلاعات ضروری برای تولید محصول، به رشد کشاورزی نسل ۴,۰ کمک کند. این سامانه ورودی‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند و مناسب‌ترین راه‌حل یا اقدام را توصیه می‌کند. مدل‌های ریاضی یا تحلیلی، مدل‌های مبتنی بر دانش و داده‌ها، اغلب در کشاورزی دقیق استفاده می‌شوند [۱۱]. تصمیمات اتخاذ شده با سامانه‌های پشتیبانی تصمیم کشاورزی می‌توانند به صورت راهبردی، ماهرانه یا عملیاتی طبقه‌بندی شوند. این سه نوع در مقیاس زمانی و مکانی متفاوت هستند.

تصمیمات راهبردی را مالکان مزارع یا مقاماتی که حداقل یک سال با آن‌ها قرارداد دارند، اتخاذ می‌کنند و این تصمیمات بیشتر مربوط به تغییر ارقام زراعی، تناوب زراعی و تغییر سطح کاشت است. تصمیمات مدیریت راهبردی به صورت روزانه گرفته می‌شود و به سلامت محصول، سلامت خاک، نیاز به مواد مغذی، نظارت بر بیماری، آب‌وهوا و آبیاری مربوط می‌شود. تصمیمات عملیاتی شامل پاسخ به موقع به رویدادهای اعلام نشده در سطح محصول، مانند به تعویق انداختن اسپری قارچ‌کش به دلیل باران است (شکل ۸-۲).

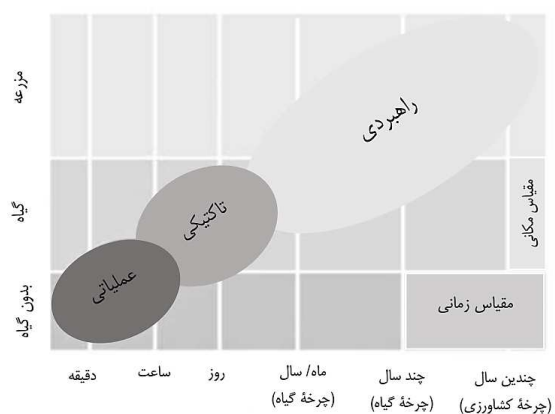
^۱ Data Mining (DM)

۸-۳- ویژگی‌ها و عملکرد یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری کشاورزی هوشمند

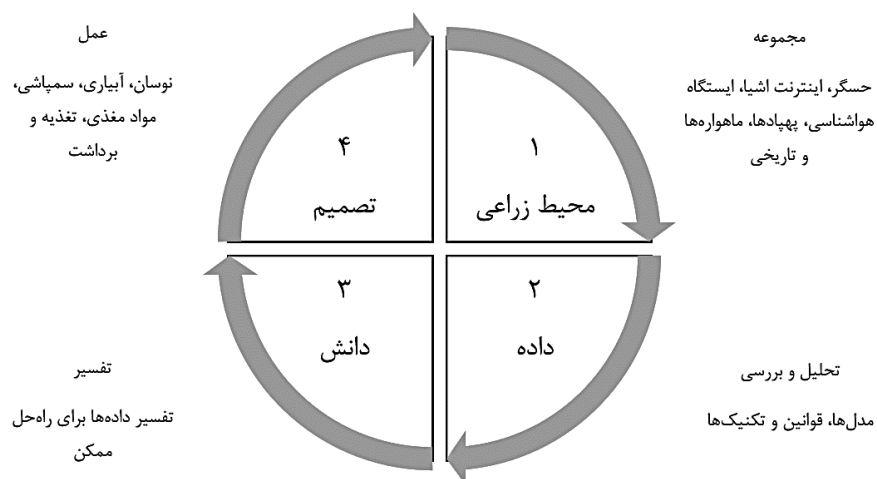
توسعه سامانه‌های تصمیم‌گیری در کشاورزی دقیق عمدتاً در دهه‌های گذشته نادیده گرفته شده است [۱۸ و ۱۹]. سامانه پشتیبانی تصمیم هوشمند کشاورزی، پیشرفت کشاورزی نسل ۴,۰ را تسريع می‌کند و قابلیت‌های بیشتری به خودکارسازی اضافه کرده‌است. برای استفاده حداکثری از یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری کشاورزی هوشمند، درک عملکرد آن مهم است [۱۱] که به دنبال چهار سؤال که در بالا ذکر شد، می‌باشد. تصمیم‌گیری با شناسایی مشکل خاصی که باید به آن پرداخته شود آغاز می‌شود؛ برای مثال هنگام آبیاری یک محصول، اطلاعات و داده‌های مرتبط (مثلاً رطوبت خاک، مقدار باران، مرحله محصول و آب‌وهوا) جمع‌آوری و ذخیره می‌شود. از روش‌هایی برای مرتب کردن داده‌ها و پاکسازی آن از نویزهای غیرضروری استفاده می‌شود. این داده‌ها با استفاده از رویکردها یا قواعد آماری یا شناختی، همان‌طور که در فصل قبل توضیح داده شد، تجزیه و تحلیل و تفسیر می‌شوند و ممکن‌ترین و مناسب‌ترین مجموعه راه‌حل‌های واقعی در قالب یک تصمیم پیشنهاد می‌شود. تصمیم اتخاذشده از طریق سامانه پشتیبانی باید سودمند، مقرون به صرفه، آسان برای اجرا و مطابق با محدودیت‌های فنی و قانونی باشد. مرحله تصمیم‌گیری نشان‌دهنده پایان فرآیند حل مسئله است. در فرآیند حل برای رسیدن به بهترین تصمیم باید هر مرحله را دنبال کرد. کل این فرآیند حل مسئله با سه مؤلفه مهم یک سامانه پشتیبانی تصمیم پشتیبانی می‌شود: پایگاه داده (یا پایگاه دانش یا جزء ذخیره‌سازی داده‌ها)، مدل (تصمیم‌گیری و توسعه مدل بر اساس معیارهای کاربر) و کاربر رابط (برای نمایش خروجی‌ها در قالب کامپیوتر، موبایل، وبسایت و غیره) [۱۴].

انتخاب سخت‌افزار، پلت‌فرم یا استفاده از زبان در حال توسعه باید مطابق با نیازهای کشاورزان سفارشی شود یا باید به مهارت‌های یک توسعه‌دهنده یا برنامه‌نویس سامانه پشتیبانی تصمیم اعتماد کرد. شکل ۸-۳ بیشتر عملیات فوق‌الذکر را نشان می‌دهد:

یک سامانه پشتیبانی تصمیم کارآمد با ویژگی‌های سودمند، بسته به حوزه کاربرد آن مشخص می‌شود [۲۰].



شکل ۸-۲- تصمیم‌گیری در سامانه پشتیبانی تصمیم اجرای سازنده یک سامانه پشتیبانی تصمیم کشاورزی هوشمند



شکل ۸-۳- یک سامانه پشتیبانی تصمیم کشاورزی هوشمند که مؤلفه‌ها را به همراه وظیفه آن‌ها نشان می‌دهد، اصلاح‌شده از [۱۱].

- ۱) صلاحیت در تصمیم‌گیری‌های قابل اعتماد و واقع‌بینانه
- ۲) توانایی تصمیم‌گیری بسته به نیازهای زمان واقعی
- ۳) مهارت در مدیریت داده‌های جمع‌آوری شده در یک ابر یا پایگاه داده
- ۴) توانایی جست‌وجو یا تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده بدون صرف زمان زیاد
- ۵) مسلط به پشتیبانی از کلان داده‌ها و تفسیر تکنیک‌های تحلیلی و مدل‌سازی
- ۶) مهارت در ادغام تمام خروجی‌های هر فاز کاری برای ایجاد بهترین تصمیم در خودکارسازی
- ۷) مجهز به اطلاع‌رسانی سریع به کاربران در قالب پیامک، نمودار یا سایر هشدارها، همان‌طور که تعریف شده است.
- ۸) توانایی ذخیره تاریخچه تصمیم‌گیری برای مرجع کشاورز و همچنین به روزرسانی مکرر آن

سامانه‌های پشتیبانی تصمیم نسبتاً به کشاورزی دقیق کمک کرده‌اند؛ زیرا سایر سامانه‌های پشتیبانی توسعه‌یافته به دلیل هزینه‌های بالا بر کشاورز، عدم اعتماد، بی‌تجربه بودن، عملکردهای محدود و سایر اثرات غیرمنتظره عملی نبوده‌اند [۲۱]، [۲۲]. مزایای اقتصادی ناشی از استفاده از سامانه‌های پشتیبانی تصمیم قابل ملاحظه نبوده است و بنابراین، پذیرش مستقیم سامانه‌های پشتیبانی تصمیم کشاورزی، که تنها شامل ۳ درصد از کشاورزان حرفه‌ای در یک کشور می‌شود، واقعاً ضعیف است [۲۳]، و پذیرش غیرمستقیم یا خدمات ارائه‌شده توسط ادارات دولتی یا کشاورزی با سرعت خوبی در حال رشد است [۲۴]. هنوز هم به تلاش برای افزایش محبوبیت سامانه‌های پشتیبانی تصمیم کشاورزی در مدیریت وظایف کشاورزی نیاز است؛ در توسعه سامانه‌های پشتیبانی چندمنظوره، مقرون به صرفه و با پاسخ‌دهی سریع، باید تلاش شود.

۸-۴- تصمیم‌گیری هوشمند با استفاده از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و اینترنت اشیا برای کشاورزان

سامانه‌های پشتیبانی تصمیمی که تصمیم‌گیری اکتشافی و شناختی انجام می‌دهند و مبتنی بر هوش مصنوعی، یادگیری ماشین یا سایر فناوری‌های عامل هوشمند هستند، سامانه‌های پشتیبانی تصمیم هوشمند^۱ نامیده می‌شوند. حوزه روبه‌رشد مهندسی تصمیم، تصمیم را به عنوان یک شیء مهندسی شده در نظر می‌گیرد که از طراحی مهندسی استفاده می‌کند و قوانینی را برای تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند [۲۵]. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم هوشمند باید مانند یک مشاور انسانی عمل

^۱ Intelligent Decision Support Systems (IDSS)

کنند و در درجه اول با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده و تفسیر شرایط مختلف و متعاقباً پیشنهاد توصیه‌ها و اقدامات مناسب، به‌عنوان پشتیبان تصمیم‌گیرندگان عمل کنند. هدف تکنیک‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی و منابع جمع‌آوری داده‌ها مانند اینترنت اشیا و حسگرها تنها بهبود عملکرد کار از نظر به حداقل رساندن زمان و تعامل انسانی در عین به حداکثر رساندن دقت با کاربرد سامانه تصمیم‌گیری است [۲۶]. هنگامی که فرآیندهای منطقی و شناختی برای تصمیم‌گیری در مورد پدیده‌ای نامطمئن و تصادفی اعمال می‌شوند، یک پایگاه دانش که به‌خوبی تکامل یافته، سازگاری سامانه‌های پشتیبانی تصمیم هوشمند را بهبود می‌بخشد [۲۷]. طیف وسیعی از تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین همان‌طور که در فصل‌های قبلی توضیح داده شد، طبق نیاز یک برنامه کاربردی اعمال می‌شوند. علم تصمیم‌گیری در کشاورزی دقیق با کمک رویکردهای عامل هوشمند به اوج جدیدی رسیده است.

۸-۴-۱- اطلاعات درست در زمان مناسب برای تصمیم درست

تصمیمات مختلف کشاورزی انواع مختلفی از اطلاعات ورودی را می‌طلبد. به‌عنوان مثال، وظیفه آبیاری یک مزرعه به ورودی‌های مکانی و زمانی خاص مانند نوع محصول، آب موردنیاز آن، سطح رطوبت و داده‌های آب‌وهوا نیاز دارد. ایستگاه‌های هواشناسی خودکار با حسگرهای رطوبت خاک و سایر اطلاعات مکان خاص (مانند نوع خاک و مکان) این نوع اطلاعات را تسهیل می‌کنند. هر گونه خطا، تأخیر زمانی و عدم قطعیت منجر به تصمیم‌گیری‌های اشتباه می‌شود. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم هوشمند بر اساس این اطلاعات جایگزین است. اطلاعات درست باید در زمان مناسب برای تصمیم‌گیری درست ارائه شود.

۸-۴-۱-۱- برخی از سامانه‌های پشتیبانی تصمیم رایج کشاورزی

برای کشاورزی پایدار جهانی، تولید محصول، بهبود درآمد مزرعه و کاهش اثرات خطرناک بر محیط زیست، سه هدف کشاورزی نسل ۴.۰ [۲۸] است. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم، ابزار مؤثری در دستیابی به این اهداف هستند. کشاورزی تلفیقی (رویکرد کل مزرعه)، تولید تلفیقی (تمرکز بر محصولات زراعی) و مدیریت یکپارچه محصول (تمرکز بر سلامت محصولات) برای شکل‌دهی و انجام فعالیت‌های کشاورزی مطابق با نیازهای مزرعه مکانی خاص، مورد تأیید قرار گرفته‌اند [۲۹]. توسعه سامانه‌های پشتیبانی تصمیم کشاورزی چندمنظوره در سطح جهانی برای کاربردهای متنوع، از جمله ترکیب فناوری‌های مختلف برای تصمیم‌گیری با دقت بالا، پیشرفت کرده‌است. برای کاربردهای مختلف مانند کاشت بذر، برداشت، پیش‌بینی قیمت، مدیریت آبیاری، پیش‌بینی آب‌وهوا، عملکرد آسان ماشین‌آلات، پرورش دام، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی، کاربرد کودهای متغیر، اسپری

شیمیایی و غیره، سامانه‌های پشتیبانی تصمیم مختلفی توسط محققان و سازمان‌های خصوصی ساخته شده است. با شروع انقلاب دیجیتال هند، بسیاری از ایالت‌های کشور اکنون در راستای توسعه سامانه‌های پشتیبانی تصمیم دیجیتال برای کشاورزان سرمایه‌گذاری کرده‌اند. دپارتمان تحقیقات و آموزش کشاورزی^۱ و شورای تحقیقات کشاورزی هند^۲ اجرای سامانه‌های پشتیبانی تصمیم را آغاز کرده‌اند و داده‌ها را در دسترس همه کسانی قرار داده‌اند که تحت قوانین ملی اشتراک‌گذاری داده‌ها و سیاست دسترسی ۲۰۱۲، و سامانه‌های پشتیبانی هستند [۳۰]. مانند رنگین کمان^۳، گرامسوا^۴، کیسان^۵ (قیمت‌های مندی)، ناظر بازار^۶، بازرگانی مندی^۷، یو-آگری مرکز توسعه محاسبات پیشرفته^۸، کریشی ویگن کندرس^۹ برای غنی‌سازی کشاورزی راه‌اندازی شدند. بخش‌های خصوصی نیز پیشگام سامانه‌های هوشمند و خودتکاملی مانند مزرعه هوشمند^{۱۰} [۳۱] بوده‌اند، که معمولاً مقرون‌به‌صرفه نیستند. گزارش‌های نظرسنجی مختصر از ICAR-NAARM آکادمی ملی تحقیقات و مدیریت کشاورزی^{۱۱} مثبت‌بودن کشاورزان هندی را در مورد محبوبیت سامانه‌های پشتیبانی تصمیم و رویکردهای کشاورزی هوشمند مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی نشان می‌دهد [۳۲].

تلاش‌های مشابهی در سطح جهانی انجام شده است: سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد به‌طور قابل‌توجهی به بخش مهندسی تصمیم‌گیری کمک کرده‌است (کراپ‌وات^{۱۲} برای مدیریت آبیاری، کلایم‌وات^{۱۳} و سامانه اطلاعات محصول) [۳۳]. واحد پژوهش‌های سامانه‌های کشاورزی^{۱۴}، در تلاشی مشترک با دانشگاه ایالتی کلرادو^{۱۵}، چهارچوب دشت بزرگ برای مدیریت منابع کشاورزی^{۱۶}، سامانه پشتیبانی تصمیم مستقر در استرالیا (هوپر کراپر^{۱۷}، یلد پروپد^{۱۸})؛ تولید و مدیریت دام

¹. Department of Agricultural Research and Education (DARE)

². Indian Council of Agricultural Research (ICAR)

³. Rainbow

⁴. Gramseva

⁵. Kisan

⁶. Market Watch

⁷. Mandi Trades

⁸. U-Agri (CDAC)

⁹. Krishi Vigan Kendras

¹⁰. CropIn

¹¹. ICAR-NAARM

¹². CropWAT

¹³. CLIMWAT

¹⁴. ASRU

¹⁵. CSU

¹⁶. GPFARM

¹⁷. Whopper Cropper

¹⁸. Yield Prophet

(گرازفید^۱)، پیش‌بینی آب‌وهوا (پیش‌بینی قابلیت اطمینان بارندگی؛ آب و زمین) [۳۴]، رشد محصول، آبیاری، مدیریت مواد مغذی و مهم‌تر از همه، کاتن لاجیک^۲ برای محصول پنبه). مدیریت مواد مغذی در کشور مراکش (برنامه‌ریزی کاربردهای اراضی با در نظر گرفتن عناصر غذایی برای بهره‌وری بهتر و حفظ محیط‌زیست^۳)، سامانه مدیریت آفات سوئیس^۴؛ مستقر در ایالات‌متحده تروپریس^۵؛ [۳۵] کلایمکس^۶ برای مدیریت یکپارچه محصول برنج، سامانه پشتیبانی تصمیم انتقال فناوری کشاورزی^۷ برای مدیریت کشت چندمنظوره [۳۶]، [۳۷]، سامانه پشتیبانی تصمیم چندمنظوره مبتنی بر وب برای مدیریت آب‌وهوا، محصول و بیماری توسط شبکه برنامه مدیریت یکپارچه مدیریت آفات ایالت نیویورک برای محیط‌زیست. برنامه آب‌وهوا، شبکه برای محیط‌زیست و برنامه‌های هواشناسی با همکاری دانشگاه کرنل [۳۸] برخی از سامانه‌های پشتیبانی قابل توجه و رایج هستند.

۸-۵- نتیجه

سامانه‌های پشتیبانی تصمیم کشاورزی به یک عنصر اصلی برای راهبرد کشاورزی قرن ۲۱ تبدیل شده‌اند. با نوآوری بیشتر در سخت‌افزار و نرم‌افزار هوشمند و همچنین نیاز به رشد بیشتر مواد غذایی، سامانه پشتیبانی تصمیم ارزشمندتر شده است. با ترکیب همه فرآیندها از ترکیب داده‌ها، ذخیره‌سازی، از تفسیر گرفته تا تصمیم‌گیری، سامانه پشتیبانی تصمیم، قوی‌تر، مقاوم‌تر، کاربرپسندتر و دقیق‌تر شده است. با رابط کاربری گرافیکی پیشرفته یا رابط‌های مبتنی بر وب آسان که در تلفن‌های هوشمند و امکانات اینترنتی ارزان قابل دسترسی هستند، مدیریت مزرعه راحت‌تر شده است و همه اطلاعات با یک ضربه روی صفحه نمایش در دسترس هستند. استفاده از مجموعه داده‌های فضایی یا تصویری با وضوح بالا و استخراج با استفاده از بینایی کامپیوتری هنوز جدید است و بسیاری از رقبا برای موفقیت در کسب‌وکار در حال پیشرفت هستند. هرچه تکنیک‌های بهینه‌تر و مؤثرتر استفاده شود، سامانه پشتیبانی تصمیم در میان کاربران نهایی موفق‌تر خواهد بود. یک سامانه پشتیبانی تصمیم کشاورزی می‌تواند عملکرد یک سامانه کشاورزی را نسبتاً تحت تأثیر قرار دهد و ممکن است در معرض سردرگمی، سوءتفاهم یا تجزیه و تحلیل اشتباه باشد. برای فعال کردن سامانه تصمیم‌گیری در برخورد با عملیات‌های مربوط به مکان یا بخش خاص و

¹. GrazFeed

². CottonLOGIC

³. PLANET

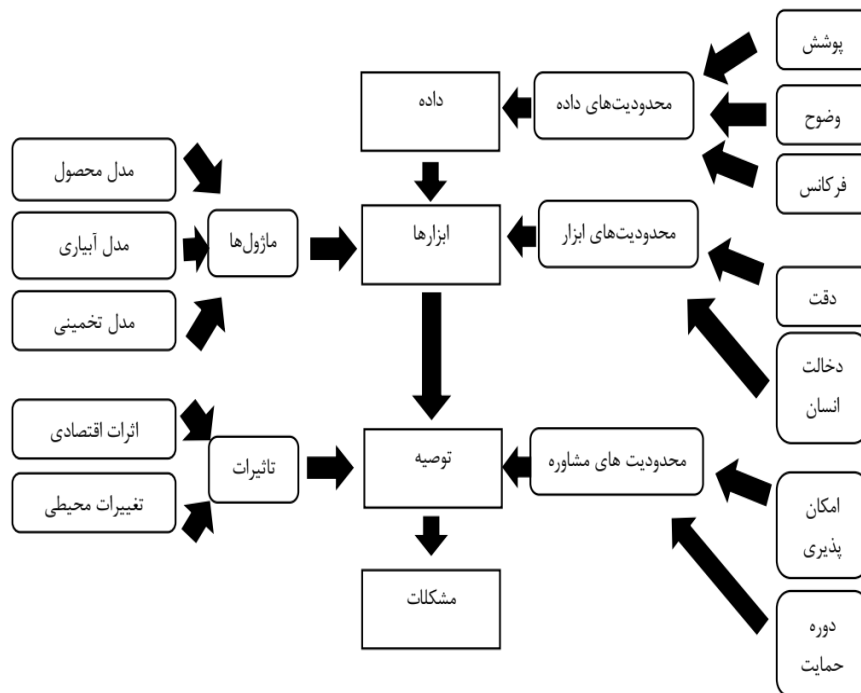
⁴. SOPRA

⁵. TropRice

⁶. CLIMEX

⁷. DSSAT

تصمیم‌گیری در مقیاس خرد، بازنگری‌های عمده نیاز است. تغییرات باید در جهتی باشد که تصمیمات مبتنی بر زمان واقعی با هزینه کمتر اتفاق بیفتد.



شکل ۸-۴- چهارچوب سامانه پشتیبانی تصمیم

منابع

1. V. Rossi, T. Caffi, and F. Salinari, "Helping Farmers Face the Increasing Complexity of Decision-Making for Crop Protection," *Phytopathologia Mediterranea*, vol. 51, no. 3, pp. 457–479, 2012, doi: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-11038.
2. O. Naud et al., "Support to Decision-Making," in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, Academic Press, pp. 183–224, 2020.
3. A. Sciarretta et al., "Defining and Evaluating a Decision Support System (DSS) for the Precise Pest Management of the Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata*, at the Farm Level," *Agronomy*, vol. 9, no. 10, p. 608, 2010.
4. Z. Zhai, J. F. Martínez, V. Beltran, and N. L. Martínez, "Decision Support Systems for Agriculture 4.0: Survey and Challenges," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 170, p. 105256, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105256.
5. R. Wright, "Systems Thinking: A Guide to Managing in a Changing Environment," *Soc. Manuf. Eng.*, vol. 162, 1989.
6. J. D. Little, "Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus," *Manage. Sci.*, vol. 16, no. 8, p. B-466, 1970.
7. J. W. Jones, A. M. McCosh, M. S. S. Morton, and P. G. Keen, "Management Decision Support Systems. Decision Support Systems: An Organizational Perspective," *Adm. Sci. Q.*, vol. 25, no. 2, p. 376, Jun. 1980, doi: 10.2307/2392463.
8. Y. K. Sheng and S. Zhang, "Analysis of Problems and Trends of Decision Support Systems Development," in *International Conference on E-Business and Information System Securit*, 2009, pp. 1–3.
9. F. Terribile et al., "A Web-Based Spatial Decision Supporting System for Land Management and Soil Conservation," *Solid Earth*, vol. 6, no. 3, pp. 903–928, July 2015, doi: 10.5194/se-6-903-2015.
10. Lee and R. Tzong, "The Application of Decision Support System to Forecast the Yield of Agricultural Products in Taiwan." (No. 411-2016-25690).
11. R. D. Magarey, J. W. Travis, J. M. Russo, R. C. Seem, and P. A. Magarey, "Decision Support Systems: Quenching the Thirst," *Plant Disease*, vol. 86, no. 1. American Phytopathological Society, pp. 4–14, 2002, doi: 10.1094/PDIS.2002.86.1.4.
12. D. J. Power, "A Brief History of Decision Support Systems.DSSResources.COM," Version 4.0, 10-Mar-2007. [Online]. Available: <https://dssresources.com/history/dsshhistory.html>. [Accessed: 20-June-2020].
13. Power Dan, "Types of Decision Support Systems (DSS)." [Online]. Available: <https://www.gdrc.org/decision/dss-types.html>. [Accessed: 20-June-2020].
14. "What Is DSS? | Components and Various Types of DSS." [Online]. Available: <https://www.educba.com/what-is-dss/>. [Accessed: 20-June-2020].
15. P. Visconti, N. I. Giannoccaro, R. de Fazio, S. Strazzella, and D. Cafagna, "IoT-Oriented Software Platform Applied to Sensors-Based Farming Facility with Smartphone Farmer App," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 9, no. 3, pp. 1095–1105, Jun. 2020, doi: 10.11591/eei.v9i3.2177.

16. O. Naud et al., "Support to Decision-Making," in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, Academic Press, 2020, pp. 183–224.
17. "What Are Crop Simulation Models? USDA ARS." [Online]. Available: <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-barc/beltsville-agriculturalresearch-center/adaptive-cropping-systems-laboratory/docs/what-are-crop-simulation-models/>. [Accessed: 21-June-2020].
18. D. C. Rose et al., "Decision Support Tools for Agriculture: Towards Effective Design and Delivery," *Agric. Syst.*, vol. 149, pp. 165–174, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.agry.2016.09.009.
19. S. Eom and E. Kim, "A Survey of Decision Support System Applications (1995–2001)," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 57, no. 11, Palgrave Macmillan Ltd., pp. 1264–1278, 30-Nov-2006, doi: 10.1057/palgrave.jors.2602140.
20. M. Winter, "News – Decision Support Systems for Agriculture – IoF2020," 20-Mar-2018. [Online]. Available: <https://www.iof2020.eu/latest/news/2018/03/dss-for-agriculture>. [Accessed: 16-June-2020].
21. K. B. Matthews, G. Schwarz, K. Buchan, M. Rivington, and D. Miller, "Wither Agricultural DSS?" *Comput. Electron. Agric.*, vol. 61, no. 2, pp. 149–159, May 2008, doi: 10.1016/j.compag.2007.11.001.
22. D. H. Gent, E. De Wolf, and S. J. Pethybridge, "Perceptions of Risk, Risk Aversion, and Barriers to Adoption of Decision Support Systems and Integrated Pest Management: An Introduction," *Phytopathology*, vol. 101, no. 6, pp. 640–643, 2011, doi: 10.1094/PHYTO-04-10-0124.
23. T. Caffi, V. Rossi, and R. Bugiani, "Evaluation of a Warning System for Controlling Primary Infections of Grapevine Downy Mildew," *Plant Dis.*, vol. 94, no. 6, pp. 709–716, June 2010, doi: 10.1094/PDIS-94-6-0709.
24. T. H. Been et al., "Review of New Technologies Critical to Effective Implementation of Decision Support Systems and Farm Management Systems (DSS's) and Farm Management Systems (FMS's)," *Appl. Ecol.*, p. 128, 2010.
25. F. Burstein and C. W. Holsapple, *Handbook on Decision Support Systems 1*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2008.
26. "Intelligent Decision Support System – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_decision_support_system. [Accessed: 21-June-2020].
27. J. E. Aronson, T.-P. Liang, and R. V. MacCarthy, *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, vol. 4. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice-Hall, 2005.
28. S. Geng, C. E. Hess, and J. Auburn, "Sustainable Agricultural Systems: Concepts and Definitions," *J. Agron. Crop Sci.*, vol. 165, no. 2–3, pp. 73–85, Sep. 1990, doi: 10.1111/j.1439-037X.1990.tb00837.x.
29. E. F. Boller, A. El Titi, J. P. Gendrier, J. Avilla, E. Jörg, and C. Malavolta (Eds), *Integrated Production: Principles and Technical Guidelines*, France: Bulletin OILB SROP, 1999.
30. "All Apps | Open Government Data (OGD) Community." [Online]. Available: <https://community.data.gov.in/all-apps/>. [Accessed: 21-June-2020].

31. "Fasal – Climate Smart Precision Agriculture Solution." [Online]. Available: <https://fasal.co/>. [Accessed: 22-June-2020].
32. "Policy Brief | Naarm." [Online]. Available: <https://naarm.org.in/policy-brief/>. [Accessed: 21-June-2020].
33. "CropWat | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations." [Online]. Available: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>. [Accessed: 21-June-2020].
34. S. A. Mir et al., "Decision Support Systems in a Global Agricultural Perspective – a Comprehensive Review," *Int. J. Agric. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 403–415, 2015.
35. "CLIMEX." [Online]. Available: <http://climatemodel.net/climex.htm>. [Accessed: 21-June-2020].
36. G. Hoogenboom et al., "The DSSAT crop modeling ecosystem," *Adv. Crop Model. Sustain. Agric.*, pp. 173–216, 2019.
37. "DSSAT Overview – DSSAT.net." [Online]. Available: <https://dssat.net/about/>. [Accessed: 21-June-2020].
38. "NEWA – Home Page." [Online]. Available: <http://newa.cornell.edu/>. [Accessed: 21-June-2020].

فصل نهم

آینده و کشاورزی نسل ۵,۰

۹-۱- مقدمه‌ای بر کشاورزی نسل ۴,۰

تاریخ به دلیل انقلاب‌های صنعتی^۱ شاهد تأثیرات عمیقی بوده‌است که برخی از آن‌ها پیش‌بینی نشده بود و تغییرات عظیمی را به همراه داشت. تمام انقلاب‌های صنعتی به ترتیب زمانی در شکل ۹-۱ نشان داده شده‌اند:

اصطلاح «انقلاب صنعتی چهارم» را پروفیسور کلاوس شواب^۲، مؤسس و رئیس اجرایی «مجمع جهانی اقتصاد» در کتاب خود ابداع کرد. انقلاب صنعتی چهارم شامل تمام فناوری‌های نوظهور و تحول‌آفرین مانند هوش مصنوعی^۳، اینترنت اشیا^۴، یادگیری ماشینی^۵، یادگیری عمیق^۶، شبکه‌های عصبی مصنوعی، بلاک‌چین، رایانش ابری، محاسبات لبه مه، هواپیماهای بدون سرنشین و غیره است. روش‌های مبتکرانه اتخاذشده، اشیای معمولی را به عناصر هوشمند تبدیل کرده‌است که می‌توانند به بسیاری از دستگاه‌های دیگر متصل شوند و دارای قابلیت‌های همکاری برای انطباق با بسیاری از سامانه‌ها باشند؛ در نتیجه، پتانسیل بالایی برای تأثیر مثبت بر بهره‌وری و سود بخش کشاورزی دارند [۲].

انقلاب صنعتی چهارم همچنین به‌عنوان عصر سامانه‌های فیزیکی سایبری^۷ شناخته می‌شود که به‌شدت از سوی فناوری اطلاعات پشتیبانی می‌شود که به آن صنعت نسل ۴,۰ نیز می‌گویند و توانسته است مشکلات غالب را با آخرین فناوری‌ها حل کند [۳ و ۴].

در صنعت نسل ۴,۰، فناوری‌های پیاده‌سازی‌شده در بخش کشاورزی با موفقیت واقعی همراه بوده‌اند و این ایده جدید منجر به پیشرفت‌های غیرقابل تصور خاصی شده است. کشاورزی با حفظ این تغییرات و انطباق با فناوری‌های صنعت نسل ۴,۰ مفهوم کشاورزی نسل ۴,۰ را به‌وجود آورده است [۵] و کار در زمینه طراحی، توسعه و پیاده‌سازی فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی مصنوعی، بلاک‌چین، داده‌های بزرگ، هواپیماهای بدون سرنشین، رباتیک و خورشیدی انجام شد [۶].

تقاضاهای فزاینده بخش کشاورزی با تقویت سامانه‌های کشاورزی با سامانه‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و غیره در کشاورزی نسل ۴,۰ متعادل شد. بنابراین، رفتن به سمت کشاورزی هوشمند و کشاورزی دقیق را تسریع کرد [۷-۹]. محدودیت‌ها و مسائل قدیمی در کشاورزی حل شد؛ زیرا رویکردهای علمی در کشاورزی نسل ۴,۰ راحت‌تر شدند و

¹. Industrial Revolution (IR)

². Klaus Schwab

³. Artificial Intelligence (AI)

⁴. Internet of Things (IoT)

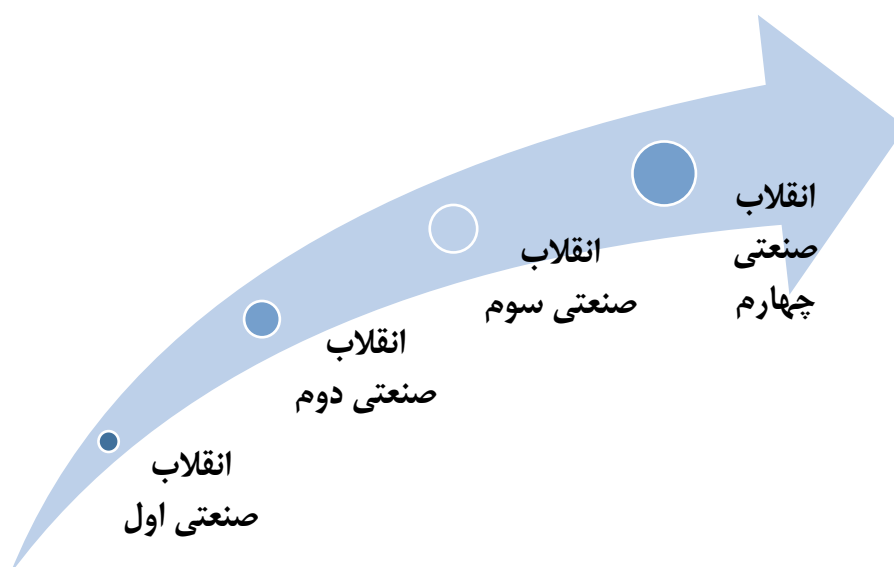
⁵. Machine Learning (ML)

⁶. Deep Learning (DL)

⁷. Cyber-Physical System (CPS)

دسترسی به آن‌ها آسان‌تر شد [۴ و ۷]. کشاورزی نسل ۴,۰ توانسته است ضمن افزایش عملکرد، بهره‌وری کشاورزی را نیز فراهم کند [۱۰].

مدیریت مؤثر با معرفی اینترنت اشیا و یادگیری ماشین در شیوه‌های کشاورزی به‌دست آمده است [۸]. کشاورزی نسل ۴,۰ از یک سامانه پشتیبانی تصمیم علاوه بر سامانه‌های دیگری استفاده می‌کند که برای پیش‌بینی آب‌وهوا و تأثیر آب‌وهوا بر محصولات و خاک نیاز به کمک اطلاعاتی این سامانه دارند [۱۱]. کشاورزی نسل ۴,۰ دروازه‌ای برای معرفی سامانه‌های کاملاً مبتنی بر داده در کشاورزی بوده‌است. این موضوع در فصل ششم این کتاب به‌طور کامل توضیح داده شده است.



شکل ۹-۱- انقلاب‌های صنعتی به ترتیب زمانی



شکل ۹-۲- انقلاب‌های صنعتی و ویژگی‌های کلیدی آن

کاهش ضایعات مواد غذایی و بهره‌وری بیشتر در محیط‌زیست اهداف اصلی آن است [۱۴-۱۲]. رشد تصاعدی اقتصاد به دلیل طراحی، توسعه و اجرای سامانه‌های کشاورزی هوشمند در سراسر جهان وجود داشته‌است [۱۵]. علاوه‌براین، این امر حوزه کشاورزی را متحول کرده‌است [۵، ۱۵ و ۱۶].

۹-۲- تکنولوژی نانو و کشاورزی هوشمند

علم نانو و فناوری نانو مطالعه و کاربرد چیزهای بسیار کوچکی است که به آن اندازه «نانو» می‌گویند. تکنولوژی علم نانو، مهندسی و فناوری‌ای است که در مقیاس نانو انجام می‌شود که حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. مفهوم علم نانو را فیزیکدان، ریچارد فاینمن^۱ در نشست انجمن فیزیک آمریکا در مؤسسه فناوری کالیفرنیا^۲ در ۲۹ دسامبر ۱۹۵۹ ارائه کرد. کشف شد که ذرات برخی از عناصر در اندازه نانو به‌طور شگفت‌انگیزی ویژگی‌ها و عملکردهای متفاوتی را در مقایسه با هم‌تایان

^۱. Richard Feynman

^۲. California Institute of Technology (CalTech)

خود در اندازه بزرگ نشان می‌دهند. پروفیسور نوریو تانیگوچی^۱ واژه نانو تکنولوژی را ابداع کرد. در دهه ۱۹۸۰، دو پیشرفت بزرگ یعنی میکروسکوپ، تونل زنی روبشی در سال ۱۹۸۱ و کشف فولرن‌ها در سال ۱۹۸۵ توسط هری کروتو^۲، ریچارد اسمالی^۳ و رابرت کرل^۴، جرقه‌ای برای رشد فناوری نانو در دوران مدرن شد. نانومواد چشم‌انداز توسعه وسایل الکترونیکی را تغییر داده و همچنین وارد حوزه‌های دیگری مانند بهداشت، کشاورزی، موشک‌سازی و غیره شده است.

۹-۲-۱- کاربردهای نانو تکنولوژی در کشاورزی هوشمند

در حال حاضر، ایالات متحده آمریکا ۳٫۷ میلیارد دلار در پروژه ابتکار ملی نانو تکنولوژی^۵ سرمایه‌گذاری کرده است [۱۷]. پس از ایالات متحده آمریکا، ژاپن و اتحادیه اروپا قرار دارند. این کشورها دارای منابع مالی فراوان هستند و میزان سرمایه‌گذاریشان به ترتیب ۷۵۰ میلیون دلار و ۱٫۲ میلیارد دلار آمریکا با احتساب کمک‌های فردی کشورها در سال است. امروزه بیش از ۴۰۰ شرکت در جهان در زمینه تحقیق و توسعه فناوری نانو فعال هستند و پیش‌بینی می‌شود این تعداد در ده سال آینده به بیش از ۱۰۰۰ شرکت فعال در این زمینه افزایش یابد [۱۷].

- تولید کود: کودهای شیمیایی با پوشش‌های نانو مانند گوگرد یا تیتانیوم دی‌اکسید^۶ برای سرعت بالای انحلال، رهاسازی پایدار کود آماده می‌شوند که به جذب مناسب از سوی ریشه‌های گیاه به جای شسته شدن کمک می‌کند، بنابراین هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و کودها و آسیب‌های محیطی را به‌طور مؤثری مدیریت می‌کند [۱۸ و ۱۹].
- نانو ذرات نقره و طلا با کودهای زیستی طبیعی مانند باسیلوس سوبتیلیس^۷ و پانی باسیلوس الجی^۸ مخلوط می‌شوند و کارآمدتر شده‌اند؛ زیرا این‌ها فقط در مقادیر جزئی مورد نیاز هستند (مثلاً یک لیتر برای چندین هکتار از یک محصول) [۲۰ و ۲۱].
- محلول‌پاشی نانو ریز مغذی‌ها مانند منگنز، مس، بور، آهن، مولیبدن، روی و غیره با خاک محصول اسپری یا مخلوط می‌شوند.
- مدیریت حشرات و آفات: کاربرد انواع مختلف نانو ذرات مانند نانو ذرات نقره، اکسید آلومینیوم، اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم در تلاش برای کنترل شپشک برنج^۹ و بیماری

^۱. Norio Taniguchi

^۲. Harry Kroto

^۳. Richard Smalley

^۴. Robert Curl

^۵. National Nanotechnology Initiative (NNI)

^۶. TiO₂

^۷. *Bacillus subtilis*

^۸. *Paenibacillus elgii*

^۹. *Sitophilus oryzae*

علفزار در کرم ابریشم^۱ و ویروس پلی هدرورزیس^۲ هسته‌ای مورد مطالعه قرار گرفت و مفید یافت شد [۲۶-۲۲].

- قارچ‌کش: فعالیت ضد قارچی نانوذرات اکسید روی، نقره و دی‌اکسید تیتانیوم برای پاتوژن‌های مختلف گیاهان زراعی مانند ماکروفومینا فازولینا^۳ آزمایش شده است و میزان کارایی به‌طور قابل‌توجهی بالا بود. نانوذرات نقره حتی در کمترین مقدار برای قارچ‌های مقاوم به‌طور قابل‌توجهی مؤثر هستند.
- نانو علف‌کش‌ها: نانوذرات نقره در کنترل علف‌های هرز و گیاهانی مانند کراسپیس ایخورنیا^۴ مؤثر بودند.
- حسگرهای زیستی: یکی از مهم‌ترین کمک‌های فناوری نانو، طیف نسبتاً پیشرفته‌ای از حسگرها با استفاده از نانومواد است که برای استفاده در بسیاری از کارهای کشاورزی توسعه یافته‌اند [۲۷ و ۲۸].

۹-۳- تقویت زنجیره ارزش کشاورزی با بلاک چین

در کشاورزی نسل ۵،۰، کلان‌داده‌های باغبانی به سرعت در حال رشد است و نقشی متمایز و حیاتی در افزایش تولید و پایداری دارد. ابزارها و تکنیک‌های مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات^۵ پیشرفت قابل‌توجهی در جمع‌آوری، مدیریت، تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری داده‌ها ایجاد کرده‌است [۲۹ و ۳۰]. این فعالیت‌ها از نظر به‌دست آوردن کنترل بیشتر بر مزرعه و فعالیت‌های مرتبط به نفع کشاورزان است تا بتوانند به روشی سازگار با محیط‌زیست محصول بیشتری تولید کنند [۳۱ و ۳۲]. متأسفانه استفاده جانبدارانه از داده‌های تولیدشده و جمع‌آوری‌شده، چنین تلاش‌هایی را برای کشاورزان غیرقابل دسترسی کرده‌است. هدف هر سازمانی این است که از داده‌ها مطابق با نیاز استفاده کند و آن را درون‌یابی کند؛ بنابراین ذی‌نفعان اصلی که تولیدکنندگان هستند نادیده گرفته می‌شوند [۳۳]. برای جلوگیری از چنین تبعیضی، مفهوم بلاک چین وارد صحنه شد.

بلاک چین یک حساب مشترک یا فناوری دفتر کل توزیع‌شده^۶ است. همچنین می‌توان از آن به عنوان «یک حساب ابری بزرگ» نام برد. کاربران می‌توانند بر اساس مقدار باقی‌مانده از یک محصول خاص به‌طور دائم اطلاعات اضافه کنند و یا اطلاعات را به‌روز کنند. به این سوابق اطلاعات و

¹. Bombyxmori

². polyhedrosis

³. Macrophomina phaseolina

⁴. Eichhornia crassipes

⁵. Information and communications technology (ICT)

⁶. Open Distributed Ledger Technology (ODLT)

فناوری بلوک می‌گویند. بلوک‌ها ضدهک و کاملاً ایمن هستند. اطلاعات مربوط به هر محصول را، اعم از ارزشمند یا غیره، می‌توان در این‌جا از طریق اینترنت ذخیره کرد. هر گونه تغییر در یک بلوک باید توسط حداکثر تعداد طرف‌های ذی‌نفع تأیید شود [۳۴ و ۳۵]. بلاک‌چین یک فناوری اطلاعات و ارتباطات متحول‌کننده با پتانسیل تحول نحوه استفاده از داده‌ها برای استفاده در کشاورزی است [۳۶]. بلاک‌چین یکی از امیدوارکننده‌ترین فناوری‌ها در ارائه ثبات بیشتر در حوزه‌های وسیع صنعت کشاورزی است. جنبه‌های کمی از یک عملیات کشاورزی، چه برای مدیریت انبارها، سیلوها و زنجیره‌های تأمین هوشمندانه و چه به‌عنوان ابزاری که برای انتقال داده‌های بی‌درنگ در مورد محصولات کشاورزی و دام استفاده می‌شود، وجود دارد که به یک شکل دیگری از فناوری بلاک‌چین یا به نفع آن نباشد [۳۰، ۳۷ و ۳۸].

۹-۳-۱- کاربردهای احتمالی بلاک‌چین در کشاورزی نسل ۵,۰

موارد زیر سهم قابل توجه بلاک‌چین در کشاورزی نسل ۵,۰ [۴۲-۳۹] هستند:

- (۱) کشاورزان، مصرف‌کنندگان و خرده‌فروشان می‌توانند اطلاعات را با حداکثر ایمنی، شفافیت و سرعت به‌ترتیب زمانی ثبت و به اشتراک بگذارند.
- (۲) بلوک‌ها برای تمام جنبه‌های بلاک‌چین قابل مشاهده خواهند بود و هر طرف در پذیرش یا رد اطلاعات آزاد است.
- (۳) تمام اطلاعات مربوط به کل چرخه رویدادهای کشاورزی در بلاک‌چین به انتشار یک منبع دانش شفاف و قابل اعتماد برای کشاورزان کمک می‌کند.
- (۴) داده‌های زمان واقعی در مورد کیفیت بذر، رطوبت خاک، آب‌وهوا و داده‌های مربوط به محیط‌زیست، پرداخت‌ها، تقاضا و قیمت فروش، باید در یک پلتفرم در دسترس کشاورزان قرار گیرد.
- (۵) بلاک‌چین به ایجاد ارتباط مستقیم بین کشاورزان و مصرف‌کنندگان یا خرده‌فروشان کمک می‌کند. کشاورزان کوچک را قادر می‌سازد تا خودشان را سازماندهی کنند و بدون نیاز به کمک واسطه‌ها به بازار برسند.
- (۶) این امر مشکلات درآمد کم را کاهش می‌دهد، زیرا بلاک‌چین باعث شفافیت در زنجیره تأمین می‌شود و در نتیجه کشاورزان را قادر می‌سازد تا قیمت واقعی محصول خود را به‌دست آورند.
- (۷) این امر عرضه مؤثر محصولات، قیمت‌گذاری منصفانه، زنجیره تأمین مواد غذایی و ردیابی محصولات را بهبود می‌بخشد. همچنین کشاورزان را برای مدیریت زمان واقعی سهام تسهیل می‌کند.

- ۸) اطلاعات مستقیم از خرید بذر، برداشت تا فروش در سامانه فروش را می‌توان در بلاک چین ذخیره کرد. این امر به تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان در تعیین کمیت، نظارت و کنترل خطرات در طول زنجیره کشاورزی و همچنین کمک به کاهش مشکلات روستایی در کشورهای در حال توسعه مانند هند کمک می‌کند.
- ۹) کاربردهای برجسته بلاک چین به کشاورزان در بررسی محصولات، بیمه محصولات کشاورزی (بیمه محصولات خود و مطالبه خسارت نزد شرکت‌های بیمه)، معاملات (ساده کردن صورت حساب، مالیات و حسابرسی سالانه)، بهینه‌سازی زنجیره تأمین مواد غذایی، ایمنی مواد غذایی، خرده‌فروشی و بازاریابی کمک می‌کند.
- ۱۰) برخی از استارت‌آپ‌های معروف بلاک چین عبارت‌اند از: اگریچین^۱، اگری‌دیجیتال^۲، آگریلجر^۳، ورلد کاور^۴ و غیره [۴۳].

۹-۴- محاسبات لبه مه برای کشاورزی هوشمند

پس از اجرای محاسبات ابری در سناریوهای مختلف مانند اینترنت اشیا، کارشناسان مزرعه‌ای ارزیابی کاملی را برای یافتن محدودیت‌ها و زمینه‌هایی که رایانش ابری می‌تواند بهبود یابد، انجام دادند [۴۴]. نتیجه‌گیری شد با اینکه یک ابر مزایایی مانند عملکرد محاسباتی بالا، فضای ذخیره‌سازی عظیم، اتصال آسان و اقتصادی را ارائه می‌دهد، عملکرد رایانش ابری به دلیل افزایش گسترده دستگاه‌ها، داده‌ها و ارتباطات درگیر در شبکه‌ها آسیب می‌بیند. تأخیر بالا، ناشی از منابع متمرکز و فاصله بین دستگاه‌ها و ابر است.

محاسبات مه و لبه برای کاهش و غلبه بر محدودیت‌های رایانش ابری ایجاد شده‌اند. برخی از توضیحاتی که به‌طور گسترده پذیرفته شده در زیر آورده شده است:

- محاسبات لبه: همان‌طور که از نام آن پیداست، «لبه» به گره‌های انتهایی یک سامانه شبکه اشاره دارد. هدف از محاسبات لبه این است که پردازش داده‌ها را تا حد امکان به منبع نزدیک کند تا ترافیک کلی ارسال شده به ابر را کاهش دهد. بنابراین، فاصله تحت پوشش داده از منبع تا یک سایت پردازش کاهش می‌یابد که به نوبه خود زمان را کاهش می‌دهد. این تغییر در عملکرد سامانه باعث تأثیر مثبت بر سرعت، کیفیت و عملکرد کلی می‌شود.

¹. AgriChain

². AgriDigital

³. AgriLedger

⁴. Worldcovr

• محاسبات مه: این کار محاسبات لبه را تعیین می‌کند، منابع لازم را در سامانه به‌منظور انتقال محاسبات به لبه‌ها فراهم می‌کند، ذخیره‌سازی و محاسبات و خدمات شبکه بین لبه‌ها و مراکز ابری را فعال می‌کند و در نتیجه، کارایی سیستم را ارتقا می‌دهد. از آن‌جایی که نظرات زیادی در مورد محاسبات لبه و مه وجود دارد، برخی معتقدند که محاسبات لبه و مه یکسان هستند؛ زیرا مفهوم بومی‌سازی محاسبات (که معمولاً یک ابر باید انجام دهد) در یک شبکه برای هر دو مشابه است. این تفاوت در نظرات منجر به یک نتیجه پذیرفته‌شده متقابل شده است که بر اساس مکان پردازش داده‌ها هنگام طبقه‌بندی به عنوان لبه یا مه است. لبه: در این حالت پردازش داده‌ها در خود لبه‌ها یا در دروازه‌هایی که به لبه‌ها نزدیک‌تر هستند انجام می‌شود. مه: از سوی دیگر، پردازش داده‌ها در مراکز داده‌ای انجام می‌شود که نسبتاً در فاصله‌ای بیشتر از یک سامانه محاسبات لبه قرار دارند اما لزوماً نزدیک‌تر از محاسبات ابری هستند. برخی از ویژگی‌های مهم محاسبات لبه یا مه عبارت‌اند از [۴۵ و ۴۶]:

- a. ناهمگونی
- b. قابلیت همکاری عالی
- c. توزیع جغرافیایی گسترده
- d. مقررات برای پردازش لبه و ذخیره‌سازی
- e. کیفیت خدمات بهتر در مقایسه با نقاط پایانی معمولی اینترنت اشیا
- f. تعامل در زمان واقعی (نسبتاً سریع‌تر از ابر)
- g. پشتیبانی از شبکه‌های حسگر در مقیاس بزرگ

جدول ۹-۱ تفاوت‌های اصلی محاسبات ابری و محاسبات لبه را ذکر می‌کند [۴۴]:

جدول ۹-۱- تفاوت بین محاسبات ابری و محاسبات لبه

مشخصات	پردازش ابری	محاسبات لبه
ظرفیت محاسباتی	بالا	کم - متوسط
اندازه سرور و حالت عملکرد	سرورهای بزرگ و متمرکز	سرورهای کوچک‌تر و توزیع شده
مناسب بودن برنامه	نیازهای محاسباتی بالا، تأخیر قابل قبول است	تأخیر کم، نیاز به یک عملیات بلادرنگ، کیفیت خدمات ^۱ بالا دارد
نیازهای ارتباطی	بالا - دستگاه‌ها به اتصال دائمی اینترنت نیاز دارند	کم - دستگاه‌ها محتوای ذخیره را از طریق دروازه لبه دریافت می‌کنند.
برنامه‌ریزی استقرار	برنامه‌ریزی پیچیده	استقرار موقتی ممکن با برنامه‌ریزی کم یا بدون برنامه

۹-۵- نقش کلان داده‌ها در کشاورزی

۹-۵-۱- مقدمه‌ای بر کلان داده‌ها

جهان امروز در هر ثانیه حجم عظیمی از داده‌ها را تولید می‌کند و این داده‌ها دائماً در حال جمع‌آوری و ثبت هستند. منابع داده بی‌شمار هستند و باعث می‌شوند که این داده‌ها به شکل‌های ساختاریافته، بدون ساختار و نیمه ساختاریافته تولید شوند. بیشتر داده‌های تولیدشده بدون ساختار هستند، اما برخی از داده‌ها هنوز ساختاریافته و در پایگاه داده‌های سنتی یا انبار داده ذخیره می‌شوند. روش‌های مرسوم پردازش، مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌ها به دلیل کلان داده‌ها دستخوش تغییرات شدیدی شده است. سامانه‌های سنتی به اندازه کافی توانایی مدیریت داده‌هایی را که از منابع متعدد جمع‌آوری شده بود نداشت. با پیشرفت در قدرت محاسباتی، فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، تکنیک‌های داده‌کاوی و موارد دیگر، کلان داده‌ها در بسیاری از بخش‌ها از جمله عرصه کشاورزی، پیشرفت‌های چشمگیری ایجاد کرده است. با قابلیت‌های شگفت‌انگیز تحلیل عمیق، آشکار کردن روندها، یافتن الگوهای نادیده، کشف همبستگی‌های پنهان، آشکار کردن اطلاعات جدید، استخراج بینش، افزایش تصمیم‌گیری و اتوماسیون و غیره. داده‌های بزرگ در کشاورزی هوشمند اهمیت بسیار زیادی دارند [۴۷].

^۱. Quality of service (QoS)

جدول ۹-۲- واحدهای مختلف اندازه داده

نام اندازه داده	نماد	اندازه
بیت	b	۱ بیت
بایت	B	۸ بیت
کیلو بایت	KB	۱۰۲۴ بایت
مگابایت	MB	۱۰۲۴ کیلوبایت
گیگابایت	GB	۱۰۲۴ مگابایت
ترابایت	TB	۱۰۲۴ گیگابایت
پتابایت	PB	۱۰۲۴ ترابایت
اگزابایت	EB	۱۰۲۴ پتابایت
زتابایت	ZB	۱۰۲۴ اگزابایت
یوتابایت	YB	۱۰۲۴ زتابایت

۹-۵-۱-۱- تعریف کلان داده

توجه: کلان داده‌ها در بخش‌های مختلف کتاب در فصل‌های مختلف تعریف شده است. کلان داده به عنوان حجم عظیمی از داده‌ها تعریف می‌شود که به دلیل اندازه (با اشاره به تعداد منابعی که داده‌ها از آن‌ها مشتق می‌شوند) و پیچیدگی، با قابلیت‌های سامانه‌های سنتی قابل تجزیه و تحلیل نیستند [۴۸]. پیشرفت‌ها در فناوری‌ها و معرفی فناوری‌های تحول‌آفرین جدید مانند «محاسبات ابری و ذخیره‌سازی» مقیاس، سرعت و قابلیت اطمینانی را که داده‌های بزرگ از نظر بعد ذخیره‌سازی نیاز دارند، فراهم می‌کند. محاسبات عظیم به دلیل استفاده از مجموعه‌های جدید یا ابزارهای بهبودیافته، فناوری‌ها، الگوریتم‌ها و الگوهای هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و غیره که از مدیریت و تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها به صورت توزیع شده پشتیبانی می‌کنند، امکان پذیر بوده است [۴۹].

جدا از حجم عظیمی از مجموعه داده‌هایی که دارای حجم، سرعت، صحت و تنوع هستند، کلان داده میدانی است که با جمع‌آوری، سازماندهی، یکپارچه‌سازی و تجزیه و تحلیل این داده‌های عظیم به منظور به دست آوردن ارزش از آن، مرتبط است. ویژگی‌های کلیدی کلان داده‌ها عبارت‌اند از [۵۰]:

- فعال کردن نقاط مشترک مجموعه داده‌های مختلف نامرتبط
- پردازش بزرگ مجموعه داده‌های بدون ساختار عظیم
- استنباط اطلاعات پنهان

۹-۵-۱-۲- چرخه کلان داده‌ها

به‌منظور ارائه نتایج ارزشمند، مراحل زیر در کلان داده‌ها انجام می‌شود. ابتدا حجم عظیم داده که می‌تواند انواع مختلفی داشته باشد جمع‌آوری می‌شود. سپس، داده‌های ناهمگن سازمان‌دهی و سپس یکپارچه می‌شوند که نیاز به آماده‌سازی و مرتب کردن اولیه داده‌ها برای تجزیه و تحلیل است. پس از تکمیل تمام این مراحل، کلان داده‌ها به گونه‌ای تجزیه و تحلیل می‌شوند تا نتایج مفید به دست آید. بسیاری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و سایر فناوری‌ها برای داده کاوی استفاده می‌شوند.

۹-۵-۲- ویژگی‌های کلان داده‌ها

تحقیقات قابل توجه در حوزه کلان داده‌ها، به دلیل کاربرد آن در زمینه‌های مختلف، منجر به اختلاف نظر بین کارشناسان مختلف شده است. در ابتدا داگ لین^۱ سه ویژگی حجم، سرعت و تنوع را برای کلان داده‌ها تعریف کرد [۵۱]. تقریباً پس از دو دهه، پیشرفت‌ها در فناوری‌ها منجر به اضافه شدن ویژگی‌های بیشتری به کلان داده شد. در حال حاضر، شش ویژگی داده‌های بزرگ را تعریف می‌کند:

(۱) حجم

ویژگی اساسی داده‌های بزرگ حجم داده‌های مرتبط است که نشان می‌دهد مجموعه کلان داده‌ها باید ذخیره و پردازش شوند. افزایش و تولید سریع داده‌ها منجر به اندازه‌ای بیش از زتابایت، یوتابایت یا حتی بیشتر می‌شود که مدیریت کلان داده را به وظیفه‌ای منحصربه‌فردتر از مدیریت داده سنتی تبدیل می‌کند. افزایش سریع حجم داده‌ها، تقاضا برای فناوری‌ها را جهت مقابله با حجم داده‌های عظیم [۴۷، ۴۹ و ۵۲] ایجاد می‌کند.

(۲) سرعت

مشخصه سرعت کلان داده به دو چیز اشاره دارد: سرعت تولید و سرعت انتقال [۵۲]. سرعت تولید داده‌ها باعث ایجاد اجبار برای جمع‌آوری سریع، جذب، تبدیل، بارگذاری و فرآیندهای یکپارچه‌سازی داده‌ها می‌شود. سرعت همچنین می‌تواند به سرعت پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها اشاره داشته باشد. رشد تصاعدی داده‌ها نیز با سرعت انتقال داده مرتبط است [۴۷ و ۴۹].

¹. Doug Laney

(۳) تنوع

تنوع به انواع مختلف داده‌ها و ساختارهای داده‌ای اشاره دارد که کلان‌داده‌ها را تشکیل می‌دهند. داده‌ها می‌توانند ساختاریافته، بدون ساختار یا نیمه‌ساختاریافته باشند. بنابراین، این امر چالش‌هایی را از نظر یکپارچه‌سازی داده‌ها، تبدیل، پردازش و ذخیره‌سازی ایجاد می‌کند. علاوه‌براین، انواع فرعی از داده‌های ساختاریافته، بدون ساختار و نیمه‌ساختاریافته وجود دارد که به این موضوع اضافه می‌شود.

داده‌های بدون ساختار دارای حداکثر انواع داده‌ها هستند؛ در واقع ۹۰ درصد کلان‌داده‌ها از داده‌های بدون ساختار مانند صدا، تصاویر، فایل‌های ویدئویی، به‌روزرسانی رسانه‌های اجتماعی، فایل‌های گزارش، داده‌های کلیک‌شده و داده‌های ماشین و حسگر تشکیل شده است [۴۷ و ۵۲].

(۴) صحت داده‌ها [۵۳-۵۷]:

صحت داده‌ها مهم‌ترین ویژگی کلان‌داده است و دقت و معناداری کلان‌داده را مشخص می‌کند. عدم قطعیت در داده‌ها معمولاً به دلیل ناسازگاری، ناقص بودن، ابهامات تأخیر، تقریب‌ها و غیره است. حجم زیاد داده، معناداری (یعنی امکان داشتن اطلاعات مفید) داده‌ها را چالش‌برانگیز می‌کند. در این صورت، داده‌ها ممکن است بی‌فایده یا نادرست باشند. بنابراین، ما باید حجم مناسبی از داده‌های با کیفیت را پیدا کنیم که بتواند اطلاعات ضروری را پس از تجزیه و تحلیل برای تأثیرگذاری بر کشاورزی ارائه دهد [۴۷ و ۵۸].

(۵) انعطاف‌پذیری [۵۴، ۵۵، ۵۷ و ۵۹]:

داده‌های انعطاف‌پذیر به داده‌هایی اطلاق می‌شود که دائماً در حال تغییر، جابه‌جایی، جهش و اصلاح هستند. این ویژگی یکی از ویژگی‌های مهم کلان‌داده‌ها است. انعطاف‌پذیری با زمان، برنامه‌ای که از آن استفاده می‌شود و از دست رفتن داده رخ می‌دهد. استخراج خروجی‌های مرتبط با زمینه از کلان‌داده، نتیجه انعطاف‌پذیری آن است [۵۸].

(۶) مقدار [۵۳-۵۷]:

این ویژگی کلان‌داده‌ها دلیل کاربرد و روند جهانی آن است. هدف نهایی استفاده از کلان‌داده ارائه چنین اطلاعات ارزشمندی است که به‌طور سنتی قبل از وجود آن امکان‌پذیر نبود. روش داده‌کاوی برای استخراج نتیجه، ارزش اساسی کلان‌داده‌ها است. کلان‌داده بستری است که ارزش را از داده‌های بی‌ارزش ارائه می‌کند [۵۸].

۹-۵-۳- انواع کلان داده‌ها

کلان داده بسته به نوع تولید آن دو منبع اصلی دارد و می‌تواند ماشینی و یا توسط انسان تولید شود. با توجه به تنوع داده‌ها، سه نوع عمده کلان داده وجود دارد [۴۹ و ۶۰]:

- (۱) ساختاریافته: نوع ساختاریافته کلان داده، داده‌ای است که دارای طول، شکل و طرح از پیش تعریف شده از مجموعه داده‌ها باشد. براین اساس، می‌توان آن را به راحتی در قالب استاندارد پردازش، ذخیره و بازیابی کرد و معمولاً ۲۰ درصد از کل داده‌ها را تشکیل می‌دهد. داده‌ها معمولاً در فرم مناسبی هستند تا به راحتی ذخیره شوند و از پایگاه داده به راحتی قابل دسترسی باشند. به عنوان مثال می‌توان به حسگرهایی اشاره کرد که در مزارع برای نظارت بر لرزش، حرکت، دما، نور، فشار، رطوبت و غیره مستقر شده‌اند.
- (۲) بدون ساختار: در این حالت مجموعه داده‌ها از الگوی خاصی پیروی نمی‌کنند و می‌توانند به صورت تصویر، فیلم، صدا و غیره باشند. این نوع داده‌ها ۸۰ درصد کل داده‌ها را تشکیل می‌دهد. در حال حاضر، فناوری‌ها برای استنباط اطلاعات از چنین داده‌هایی ارتقا یافته‌اند؛ زیرا قبلاً این امکان وجود نداشت. در مقایسه با داده‌های ساختاریافته، بازیابی اطلاعات از کلان داده‌های بدون ساختار زمان بیشتری می‌برد. ذخیره‌سازی داده‌ها با چنین تنوع و پیچیدگی مستلزم استفاده از سامانه‌های ذخیره‌سازی کافی است.
- (۳) نیمه ساختاریافته: داده‌های نیمه ساختاریافته به آن دسته از داده‌هایی گفته می‌شود که بین داده‌های ساختاریافته و بدون ساختار طبقه‌بندی می‌شوند؛ زیرا گاهی اوقات حاوی هر دو نوع داده است. داده‌های نیمه ساختاریافته شکلی از داده‌های ساختاریافته است که با ساخت رسمی مدل‌های داده مرتبط با پایگاه‌های داده رابطه‌ای یا سایر اشکال جداول داده مطابقت ندارد. باین حال، دارای برخی ویژگی‌های سازمانی است که تجزیه و تحلیل را آسان تر می‌کند [۶۱ و ۶۲].

۹-۵-۳-۱- برخی دیگر از انواع کلان داده

- داده‌های زمان واقعی
- داده‌های زبان طبیعی
- داده‌های سری زمانی
- داده‌های رویداد
- داده‌های شبکه
- داده‌های مرتبط

۹-۵-۴- مزایای کلان داده‌ها

کلان داده‌ها در سناریوی کنونی فناوری‌های جهانی یک موهبت بوده‌است؛ زیرا بعد مهم جدیدی را در علم تجزیه و تحلیل، داده کاوی و علوم پشتیبانی تصمیم ایجاد کرده‌است. تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها شامل روش‌ها و دستگاه‌هایی است که برای استنتاج اطلاعات به یافته‌های معنادار از طریق تحلیل روند برون‌یابی یا درون‌یابی استفاده می‌شود و فرآیند استفاده از داده‌های به‌دست آمده برای پیش‌بینی روندها در داخل و خارج از محدوده داده است [۴۸].

علم داده یک علم چندرشته‌ای است و تجزیه و تحلیل‌های مربوطه دارای همان ویژگی‌ها هستند [۵۰]. تکنیک‌های تحلیلی پیشرفته شامل مدل‌سازی آماری، داده یا متن کاوی، یادگیری ماشین، تطبیق الگو، پیش‌بینی، تجسم، تحلیل معنایی، تحلیل احساسات، تحلیل شبکه و خوشه‌ای، آمار چندمتغیره، تجزیه و تحلیل نمودار، شبیه‌سازی، پردازش رویداد پیچیده و شبکه‌های عصبی است [۶۳]. نمونه‌هایی از ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها نسل ۱، هادوپ^۲، آر^۳ و غیره هستند. هادوپ به دلیل منبع باز بودن به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مبحث تجزیه و تحلیل کلان داده در کشاورزی در فصل «کشاورزی هوشمند داده‌محور» این کتاب به تفصیل توضیح داده شده است.

۹-۵-۵- کاربردهای کلان داده

برخی از حوزه‌هایی که کلان داده‌ها در آن نقش مهمی دارند در زیر ذکر شده است [۶۴]:

- دولت
- توسعه بین‌المللی
- مراقبت‌های بهداشتی
- تحصیلات
- رسانه
- بیمه
- اینترنت اشیا
- فناوری اطلاعات
- کشاورزی

^۱. NoSQL

^۲. Hadoop

^۳. R

۹-۵-۶- کلان داده‌های کشاورزی

داده‌های تولیدشده به وسیله فناوری‌هایی مانند حسگرها، سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱، اینترنت اشیا، تجهیزات هوشمند، هواپیماهای بدون سرنشین و غیره در کشاورزی نسل ۵,۰ کلان داده‌های کشاورزی یا باغبانی نامیده می‌شود. اشکال متنوعی از داده‌ها وجود دارد که کلان داده‌های کشاورزی را تشکیل می‌دهند. نمونه‌های مهم شامل داده‌های تاریخی است که بینش‌هایی را برای انتخاب محصول یک سال خاص و پیش‌بینی‌های شرایط آب‌وهوایی ارائه می‌دهد. نمونه‌های دیگر داده‌های زمان واقعی تولیدشده از حسگرها (یعنی داده‌های حسگر) هستند. همه شش ویژگی ذکرشده از کلان داده‌ها در کشاورزی مهم هستند و به ارائه نتایج عملی برای بهبود کشاورزی کمک می‌کنند و همچنین راه را برای توسعه ماشین‌های مجهز به هوش مصنوعی در کشاورزی هموار کرده‌است. داده‌های تولیدشده از دستگاه‌هایی مانند حسگرها، مکان‌یاب‌ها، ماهواره‌ها، سامانه‌های اینترنت اشیا و غیره دانش مربوطه را برای بهبود بیشتر این زمینه افزایش می‌دهد. تجزیه و تحلیل کلان داده‌های کشاورزی نقش مهمی ایفا می‌کند؛ زیرا علت اصلی ایجاد کشاورزی نسل ۵,۰ مبتنی بر داده است. نقش‌های مختلف مهم کلان داده‌های کشاورزی در بخش ۳-۹-۱ شامل ادغام کلان داده در کشاورزی هوشمند و همچنین در فصل‌های قبلی این کتاب شامل کشاورزی هوشمند مبتنی بر داده و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم هوشمند کشاورزی منعکس شده است [۴۸].

۹-۵-۷- استفاده از کلان داده‌های کشاورزی

کلان داده‌ها کاربردهای برجسته‌ای در کشاورزی نسل ۵,۰ دارند. بنابراین، از آن به عنوان کشاورزی مبتنی بر کلان داده‌ها نیز یاد می‌شود. کلان داده از کیفیت بالاتر و تصمیمات آگاهانه بهتر هم برای تولید و هم برای تجارت پشتیبانی می‌کند. به طور خلاصه، مشارکت‌هایی از کلان داده‌ها در عرصه کشاورزی در زیر فهرست شده است:

- (۱) پیش بینی عملکرد/ آفات /بیماری /آب‌وهوا
- (۲) انتخاب هیبریدهای مناسب
- (۳) تصمیمات بهینه کشاورزی
- (۴) توصیه‌های محصول
- (۵) توصیه‌های کشت مخلوط
- (۶) تحلیل قیمت بازار و سودآوری
- (۷) توصیه‌های خط مشی

^۱. GIS

(۸) مدیریت عملیات، تجهیزات و ریسک

(۹) شیوه‌های کشاورزی کارآمد

۹-۶- ورود به کشاورزی نسل ۵,۰

از دوران بدوی انگیزه اولیه کشاورزی سیرکردن انسان بوده‌است، اما با پیشرفت علم و فناوری، اولویت به تغذیه مطلوب جمعیت معطوف شده است. با توجه به افزایش جمعیت جهان، تقاضا به‌همین ترتیب افزایش یافته‌است. انقلاب‌های صنعتی همیشه در عرصه کشاورزی پیشرفت‌هایی ایجاد کرده‌اند. اجرای کشاورزی دقیق، کشاورزی دیجیتال، کشاورزی هوشمند و در نهایت، تغییر الگو به سمت «کشاورزی دقیق هوشمند» همگی توانسته‌اند به اهداف بزرگی دست یابند. انقلاب‌ها برای برآورده کردن تقاضای فزاینده غذا و تحول در آینده انجام گرفت. همان‌طور که قبلاً در فصول قبلی کتاب موردبحث قرار گرفت، کشاورزی در گذشته با وجود فناوری‌ها در هر مرحله تغییر یافته است. کشاورزی مدرن کاملاً مبتنی بر فناوری است و نکات زیادی برای پذیرش دارد. بخش «کشاورزی دقیق هوشمند» در فصل ۲ به‌عنوان کشاورزی نسل ۵,۰ نامیده می‌شود و شامل کشاورزی مبتنی بر داده نسل ۴,۰ با تقویتی است که توسط هوش مصنوعی و زیرمجموعه‌های آن مانند یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق ارائه شده است. رباتیک و هوش مصنوعی به کاهش چالش‌های بزرگ‌تری که از گذشته برای انسان‌ها بسیار پیچیده بوده‌اند کمک می‌کنند و از این‌رو راه‌حل‌های بزرگی را از طریق فناوری‌های تحول‌آفرین ایجاد می‌کنند. کشاورزی هوشمند، همچنین به‌عنوان کشاورزی مبتنی بر داده شناخته می‌شود که پس از تجزیه و تحلیل کلان‌داده‌ها تصمیمات بهینه می‌گیرد. کاربرد رباتیک در کشاورزی به دلیل الگوریتم‌های بسیار دقیق از طریق هوش مصنوعی به پلتفرم جدیدی ارتقا یافته است. کشاورزی نسل ۵,۰ در مرحله توسعه است و با پیشرفت هوش مصنوعی، مطمئناً شتاب خواهد گرفت. بنابراین، کشاورزی نسل ۵,۰ راهی برای کشاورزی پایدارتر در آینده است.

۹-۷- نتیجه

با نوآوری‌ها و پیشرفت‌های تحقیقاتی بیشتر، بخش کشاورزی هر روز مدرن‌تر می‌شود. همه فناوری‌های ذکرشده به ما کمک می‌کنند تا با کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی به هدف فراوانی مواد غذایی دست یابیم. این فناوری‌ها هنگام اعمال در کارهای کشاورزی عملکرد چشمگیری داشته‌اند. هدف دوبرابر کردن درآمد کشاورزان با نهاده‌های کمتر اکنون به واقعیت تبدیل شده است. در حال حاضر، انقلاب کشاورزی نسل ۴,۰ به زودی به نقطه عطف دیگری دست خواهد یافت و از آن

به عنوان کشاورزی نسل ۵,۰ یاد می شود. در این مرحله درآمد کشاورز افزایش می یابد و او می تواند با استفاده از این ابزارها و روش ها فعالیت های کشاورزی خود را بر همین اساس کنترل کند.

منابع

1. Z. Zhai, J. F. Martínez, V. Beltran, and N. L. Martínez, "Decision Support Systems for Agriculture 4.0: Survey and Challenges," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 170, p. 105256, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105256.
2. Agrilinks Team, "The Fourth Industrial Revolution and Its Potential Applications in Agriculture in Africa | Agrilinks." [Online]. Available: <https://www.agrilinks.org/post/fourth-industrial-revolution-and-its-potential-applications-agriculture-africa>. [Accessed: 22-June-2020].
3. J. Schellberg, M. Hill, R. Gerhards, M. Rothmund, and M. Braun, "Precision Agriculture on Grassland: Applications, Perspectives and Constraints," *Eur. J. Agron.*, vol. 29, pp. 59–71, 2008, doi: 10.1016/j.eja.2008.05.005.
4. U. Dombrowski and T. Wagner, "Mental Strain as Field of Action in the 4th Industrial Revolution," *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 100–105, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.01.077.
5. D. D. Dasig Jr., "Implementing IoT and Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture," in *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, Vol. 2, P. K. Pattnaik, R. Kumar, and S. Pal, Eds. Singapore: Springer, pp. 23–44, 2020.
6. N. Yahya, "Agricultural 4.0: Its Implementation toward Future Sustainability," in *Green Urea for Future Sustainability*, 2018, pp. 125–145.
7. M. Abramovici, J. C. Göbel, and M. Neges, "Smart Engineering as Enabler for the 4th Industrial Revolution," in *Integrated Systems: Innovations and Applications*, Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 163–170.
8. M. Falkenthal et al., "OpenTOSCA for the 4th Industrial Revolution: Automating the Provisioning of Analytics Tools based on Apache Flink," in *Proceedings of the 6th International Conference on the Internet of Things – IoT'16*, 2016, pp. 179–180, doi: 10.1145/2991561.2998463.
9. D. D. Dasig, "User Experience of Embedded System Students on Arduino and Field Programmable Gate Array (FPGA)," *Proc. Second Intl. Conf. Adv. Appl. Sci. Environ. Eng.*, pp. 124–128, 2014, doi: 10.13140/RG.2.1.4594.0726.
10. C. Weltzien, "Digital Agriculture – or Why Agriculture 4.0 Still Offers Only Modest Returns," *Agric. Eng.*, vol. 71, pp. 66–68, 2016, doi: 10.15150/lt.2015.3123.
11. G. Hoogenboom et al., "Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0 [CD-ROM]," Honolulu, HI: University of Hawaii, 2004.
12. A. Corallo, M. E. Latino, and M. Menegoli, "From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: A Framework to Manage Product Data in Agri-Food Supply Chain for Voluntary Traceability," *Int. J. Nutr. Food Eng.*, vol. 12, no. 5, pp. 146–150, 2018, doi: 10.1109/ieem.2014.7058728.
13. D. C. Rose and J. Chilvers, "Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming," *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 2, p. 87, Dec. 2018, doi: 10.3389/fsufs.2018.00087.
14. M. De Clercq, A. Vats, and A. Biel, "Agriculture 4. 0: The Future," *World Gov. Summit*, no. February, 2018.

15. M. Falkenthal et al., "Towards Function and Data Shipping in Manufacturing Environments: How Cloud Technologies Leverage the 4th Industrial Revolution," 2016, pp. 16–25.
16. J. Zysman, "The 4th Service Transformation: The Algorithmic Revolution," *Commun. ACM*, vol. 49, p. 48, 2006, doi: 10.1145/1139922.1139947.
17. A. Banterle, A. Cavaliere, L. Carraresi, and S. Stranieri, "Food SMEs Face Increasing Competition in the EU Market: Marketing Management Capability Is a Tool for Becoming a Price Maker," *Agribusiness*, vol. 30, no. 2, pp. 113–131, Mar. 2014, doi: 10.1002/agr.21354.
18. H. Zhang et al., "Biosorption and Bioreduction of Diamine Silver Complex by *Corynebacterium*," *J. Chem. Technol. BioTechnol.*, vol. 80, no. 3, pp. 285–290, Mar. 2005, doi: 10.1002/jetb.1191.
19. A. Ombodi and M. Saigusa, "Broadcast Application versus Band Application of Polyolefin-Coated Fertilizer on Green Peppers Grown on Andisol," *J. Plant Nutr.*, vol. 23, no. 10, pp. 1485–1493, 2000, doi: 10.1080/01904160009382116.
20. R. Raliya and J. C. Tarafdar, "ZnO Nanoparticle Biosynthesis and Its Effect on Phosphorous-Mobilizing Enzyme Secretion and Gum Contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.)," *Agric. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 48–57, 2013, doi: 10.1007/s40003-012-0049-z.
21. S. K. Shukla et al., "Prediction and Validation of Gold Nanoparticles (GNPs) on Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): A Step toward Development of Nano-Biofertilizers," *Nanotechnol. Rev.*, vol. 4, no. 5, pp. 439–448, Oct. 2015, doi: 10.1515/ntrev-2015-0036.
22. C. O. Dimkpa, J. E. McLean, N. Martineau, D. W. Britt, R. Haverkamp, and A. J. Anderson, "Silver Nanoparticles Disrupt Wheat (*Triticum aestivum* L.) Growth in a Sand Matrix," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, no. 2, pp. 1082–1090, Jan. 2013, doi: 10.1021/es302973y.
23. H. Chai et al., "The Effect of Metal Oxide Nanoparticles on Functional Bacteria and Metabolic Profiles in Agricultural Soil," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 94, no. 4, pp. 490–495, 2015, doi: 10.1007/s00128-015-1485-9.
24. C. Cherchi and A. Z. Gu, "Impact of Titanium Dioxide Nanomaterials on Nitrogen Fixation Rate and Intracellular Nitrogen Storage in *Anabaena variabilis*," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, no. 21, pp. 8302–8307, Sep. 2010, doi: 10.1021/es101658p.
25. Y. S. El-Temsah and E. J. Joner, "Impact of Fe and Ag Nanoparticles on Seed Germination and Differences in Bioavailability During Exposure in Aqueous Suspension and Soil," *Environ. Toxicol.*, vol. 27, no. 1, pp. 42–49, Jan. 2012, doi: 10.1002/tox.20610.
26. C. Anjali, Y. Sharma, A. Mukherjee, and N. Chandrasekaran, "Neem oil (*Azadirachta indica*) Nanoemulsion – a Potent Larvicidal Agent against *Culex quinquefasciatus*," *Pest Manag. Sci.*, vol. 68, no. 2, pp. 158–163, Feb. 2012, doi: 10.1002/ps.2233.
27. H. Safarpour et al., "Development of a Quantum Dots FRET-Based Biosensor for Efficient Detection of *Polymyxa betae*," *Can. J. Plant Pathol.*, vol. 34, no. 4, pp. 507–515, 2012, doi: 10.1080/07060661.2012.709885.

28. A. C. N. da Silva et al., "Nanobiosensors Based on Chemically Modified AFM Probes: A Useful Tool for Metsulfuron-Methyl detection," *Sensors* (Switzerland), vol. 13, no. 2, pp. 1477–1489, 2013, doi: 10.3390/s130201477.
29. A. Walter, R. Finger, R. Huber, and N. Buchmann, "Opinion: Smart Farming Is Key to Developing Sustainable Agriculture," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 114, no. 24, pp. 6148–6150, June 2017, doi: 10.1073/pnas.1707462114.
30. H. Xiong, T. Dalhaus, P. Wang, and J. Huang, "Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale," *Front. Blockchain*, vol. 3, p. 7, Feb. 2020, doi: 10.3389/fbloc.2020.00007.
31. D. Kaske, Z. S. K. Mvena, and A. S. Sife, "Mobile Phone Usage for Accessing Agricultural Information in Southern Ethiopia," *J. Agric. Food Inf.*, vol. 19, no. 3, pp. 284–298, Jul. 2018, doi: 10.1080/10496505.2017.1371023.
32. S. Kaddu and E. N. Haumba, "Promoting ICT Based Agricultural Knowledge Management for Increased Production by Smallholder Rural Farmers in Uganda: A Case of Communication and Information Technology for Agriculture and Rural Development (CITARD), Butaleja," in *Proceedings of the 22nd Standing Conference of Eastern, Central and Southern Africa Library and Information Associations (SCECSAL XXII)*, Butaleja, 2016, pp. 243–252.
33. Z. A. Collier, M. E. Bates, M. D. Wood, and I. Linkov, "Stakeholder Engagement in Dredged Material Management Decisions," *Sci. Total Environ.*, vol. 496, pp. 248–256, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.07.044.
34. M. Iansiti and K. R. Lakhani, "The Truth about Blockchain," *Harvard Bus. Rev.*, pp. 118–127, Jan.-Feb., 2017.
35. O. Bermeo-Almeida, M. Cardenas-Rodriguez, T. Samaniego-Cobo, E. FerruzolaGómez, R. Cabezas-Cabezas, and W. Bazán-Vera, "Blockchain in Agriculture: A Systematic Literature Review," in *Communications in Computer and Information Science*, 2018, vol. 883, pp. 44–56, doi: 10.1007/978-3-030-00940-3_4.
36. Zebi, "How Blockchain Can Revolutionize the Agriculture Industry," June 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/@Zebidata/how-blockchain-can-revolutionize-the-agriculture-industry-691d630dac61>. [Accessed: 28-June-2020].
37. "Blockchain in Agriculture – Improving Agricultural Techniques." [Online]. Available: <https://www.leewayhertz.com/blockchain-in-agriculture/>. [Accessed: 28-June-2020].
38. S. Mire, "Blockchain in Agriculture: 10 Possible Use Cases – Disruptor Daily," Sep-2018. [Online]. Available: <https://www.disruptordaily.com/blockchain-use-cases-agriculture/>. [Accessed: 28-June-2020].
39. A. S. Patil, B. A. Tama, Y. Park, and K. H. Rhee, "A Framework for Blockchain Based Secure Smart Green House Farming," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2018, vol. 474, pp. 1162–1167, doi: 10.1007/978-981-10-7605-3_185.
40. J. Chod, N. Trichakis, G. Tsoukalas, H. Aspegren, and M. Weber, "Blockchain and the Value of Operational Transparency for Supply Chain Finance," *SSRN Electron. J.*, Sep. 2018, doi: 10.2139/ssrn.3078945.

41. V. Gatteschi, F. Lamberti, C. Demartini, C. Pranteda, and V. Santamaría, "Blockchain and Smart Contracts for Insurance: Is the Technology Mature Enough?," *Futur. Internet*, vol. 10, no. 2, p. 20, Feb. 2018, doi: 10.3390/fi10020020.
42. Y.-P. Lin et al., "Blockchain: The Evolutionary Next Step for ICT E-Agriculture," *Environments*, vol. 4, no. 3, p. 50, Jul. 2017, doi: 10.3390/environments4030050.
43. "8 Blockchain Startups Disrupting the Agricultural Industry." [Online]. Available: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/8-blockchain-startups-disrupting-the-agricultural-industry/>. [Accessed: 28-June-2020].
44. F. Firouzi and B. Farahani, "Architecting IoT Cloud," in *Intelligent Internet of Things*, F. Firouzi, K. Chakrabarty, and S. Nassif, Eds. Cham: Springer, pp. 173–241, 2020.
45. F. Bonomi, R. Mito, J. Zhu, and S. Addepalli, "Fog Computing and Its Role in the Internet of Things," in *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing – MCC '12*, 2012, p. 13, doi: 10.1145/2342509.2342513.
46. B. Farahani, F. Firouzi, V. Chang, M. Badaroglu, N. Constant, and K. Mankodiya, "Towards Fog-Driven IoT eHealth: Promises and Challenges of IoT in Medicine and Healthcare," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 78, pp. 659–676, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.future.2017.04.036.
47. N. Balac, "Big Data," in *Intelligent Internet of Things*. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 315–356.
48. R. Kashef, "Adopting Big Data Analysis in the Agricultural Sector: Financial and Societal Impacts," in *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, Vol 2, P. K. Pattnaik, R. Kumar, and S. Pal, Eds. Singapore: Springer, pp. 131–154, 2020.
49. P. Amirian, F. van Loggerenberg, and T. Lang, "Big Data and Big Data Technologies," 2017, pp. 39–58.
50. P. Amirian et al., "Using Big Data Analytics to Extract Disease Surveillance Information from Point of Care Diagnostic Machines," *Pervasive Mob. Comput.*, vol. 42, pp. 470–486, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.pmcj.2017.06.013.
51. Doug Laney, "3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety," Feb. 2001.
52. R. Patgiri and A. Ahmed, "Big Data: The V's of the Game Changer Paradigm," in *2016 IEEE 18th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 14th International Conference on Smart City; IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*, 2016, pp. 17–24, doi: 10.1109/HPCC-SmartCity-DSS.2016.0014.
53. M. F. Uddin and N. Gupta, "Seven V's of Big Data understanding Big Data to extract value," in *Proceedings of the 2014 zone 1 conference of the American Society for Engineering Education*, 2014, pp. 1–5.
54. "The 7 Pillars of Big Data, Petroleum Review Magazine – Jan 2015," *Petroleum Review*, Jan-2015. [Online]. Available: <https://www.landmark.solutions/>

- Portals/O/
 LMSDocs/Whitepapers/The_7_pillars_of_Big_Data_Whitepaper.pdf.
 [Accessed: 23-June-2020].
55. Y. Demchenko, C. de Laat, and P. Membrey, "Defining Architecture Components of the Big Data Ecosystem," in 2014 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2014, pp. 104–112, doi: 10.1109/CTS.2014.6867550.
 56. X. Jin, B. W. Wah, X. Cheng, and Y. Wang, "Significance and Challenges of Big Data Research," *Big Data Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 59–64, June 2015, doi: 10.1016/j.bdr.2015.01.006.
 57. EILEEN MCNULTY, "Understanding Big Data: The Seven V's – Dataconomy," *DATACONOMY*, 24-May-2014. [Online]. Available: <https://dataconomy.com/2014/05/seven-vs-big-data/>. [Accessed: 23-June-2020].
 58. R. Patgiri and A. Ahmed, "Big Data: The V's of the Game Changer Paradigm," in *Proceedings – 18th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications, 14th IEEE International Conference on Smart City and 2nd IEEE International Conference on Data Science and Systems, HPCC/SmartCity/DSS 2016, 2017*, pp. 17–24, doi: 10.1109/HPCC-SmartCity-DSS.2016.0014.
 59. C. L. Philip Chen and C. Y. Zhang, "Data-Intensive Applications, Challenges, Techniques and Technologies: A Survey on Big Data," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 275, pp. 314–347, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.ins.2014.01.015.
 60. Abhinav Rai, "What is Big Data – Characteristics, Types, Benefits & Examples 2019," *upGrad blog*, 06-May-2020. [Online]. Available: <https://www.upgrad.com/blog/what-isbig-data-types-characteristics-benefits-and-examples/>. [Accessed: 23-June-2020].
 61. "Difference between Structured, Semi-Structured and Unstructured Data – GeeksforGeeks." [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-structured-semistructured-and-unstructured-data/>. [Accessed: 23-June-2020].
 62. "Semi-Structured Data Is Information that Does Not Reside in a Relational Database but that Have Some Organizational Properties that Make It Easier to Analyze." [Online]. Available: <https://www.bigdataframework.org/data-typesstructured-vs-unstructured-data/>. [Accessed: 23-June-2020].
 63. J. Dill, "Big Data," in *Data Science and Visual Computing*, Cham: Springer, pp. 11–31, 2019.
 64. "Big Data – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Big_data#Applications. [Accessed: 23-June-2020].
 64. "Big Data – Wikipedia." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Big_data#Applications. [Accessed: 23-June-2020].

فصل دهم
اثرات اجتماعی و اقتصادی

۱۰-۱- تأثیر اجتماعی و اقتصادی هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و اینترنت اشیا

در کشاورزی دقیق هوشمند

پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان در سال ۲۰۳۰ به ۸٫۶ میلیارد نفر برسد [۱] که هند و چین پرجمعیت‌ترین کشورها هستند. برای تغذیه جمعیت در حال رشد، فشار و بهره‌برداری بیش‌ازحد از زمین‌های زراعی به حداکثر رسیده است. با توجه به شهرنشینی و رشد صنعت نسل ۴٫۰، زمین‌های کشاورزی بیشتری بایر شده و برای واحدهای تولیدی اشغال شده است. روش‌های غیرعلمی، مواد شیمیایی و کودهای غیراستاندارد، بلایای طبیعی، گرم‌شدن کره زمین و حملات نابهنگام ملخ‌ها تنها چند چالشی هستند که کشاورزان و تولید مواد غذایی در طبقه اجتماعی-اقتصادی، آن را تجربه می‌کنند. با معرفی کشاورزی نسل ۴٫۰ یا کشاورزی دقیق هوشمند، پرتو آمیدی برای جلوگیری از اثرات فوق می‌درخشد. سهم صنعت کشاورزی در اقتصاد جهانی افزایش خواهد یافت. پتانسیل هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و اینترنت اشیا و مزایایی که بشر می‌تواند از آن‌ها کسب کند در فصل‌های قبلی به تفصیل توضیح داده شده است. اثرات اجتماعی و اقتصادی این ابزارها و تکنیک‌های دقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و اینترنت اشیا تلفن‌های هوشمند در تجارت کشاورزی موجب بهبود عملیات روزانه کشاورزی شده و همچنین در تصمیم‌گیری‌های راهبردی بلندمدت کمک کرده است.
- این رویکردها به کاهش اثرات مخرب بر محیط‌زیست کمک می‌کند؛ زیرا ورودی‌ها به مقدار مناسب، در زمان و مکان مناسب اعمال می‌شوند.
- ارزش خالص از نظر بازده و سود، ارتقا خواهد یافت.
- چندین مزرعه زراعی که جدا از هم قرار دارند را به‌طور هم‌زمان می‌توان مدیریت کرد.
- امکان مدیریت یکپارچه دام و کشاورزی برای مدیریت و تصمیم‌گیری بهتر وجود دارد.
- ارزیابی و مدیریت مکانی و زمانی در این زمینه اکنون راحت شده است.
- مدیریت ربات‌ها، پهپادها و سایر ماشین‌آلات آسان‌تر و از راه دور قابل کنترل شده است.
- نظارت بر بیابان‌زایی، آب‌شویی، باران، تجاوز و شکار غیرقانونی آسان و مقرون‌به‌صرفه است.
- مدل‌های پیش‌بینی دقیق برای کشاورزان در برنامه‌ریزی فعالیت‌ها بسته به خلق و خوی طبیعی و آب‌وهوا مفید است.
- بررسی قیمت بازار به دریافت مقدار مناسب برای بازده کمک کرده است.

- کشاورزی ارگانیک با استفاده از این فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست شکوفا شده است [۲].
- هزینه‌های نیروی کار، پیش‌بینی به‌موقع آب‌وهوا، کاربرد مکان‌های خاص و نرخ متغیر و کاهش تلفات محصول، انگیزه‌بخش‌ترین کمک‌های این ابزارهای پایدار به کل جامعه هستند.
- حفاظت از منابع طبیعی مانند زمین و آب در مقیاس وسیع‌تری امکان‌پذیر بوده‌است.
- کشاورزی نسل ۵,۰ با یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری متری، فناوری اطلاعات مبتنی بر نرم‌افزار پیشرفته و مدیریت مزرعه را با مشاهدات فیزیکی و برنامه‌ریزی در مزرعه ترکیب کرده‌است تا برنامه‌های عملیاتی دقیق جغرافیایی خاص را تدوین کند.
- با سامانه‌های موقعیت‌یابی جغرافیایی، ماشین‌آلات کشاورزی قادر به اجرای طرح‌ها هستند.
- ثبت و پیگیری رویدادهای سال‌های گذشته از طریق اینترنت یا آفلاین قابل دسترسی است.
- تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی هکتار زمین با استفاده از وب، تصمیمات مبتنی بر ابر و سامانه‌های نظارت بر محصول امکان‌پذیر است.

۱۰-۲- وجود تالارهای گفت‌وگو برای نوآوری و تجاری‌سازی فناوری کشاورزی دقیق هوشمند^۱

فناوری کشاورزی دقیق هوشمند به دلایل بسیاری به‌آسانی توسط کشاورزان پذیرفته نمی‌شود از جمله [۳ و ۴]:

- اندازه مزرعه کوچک‌تر یا کشاورزان حاشیه‌ای پراکنده
- درآمد کم و ترس از سرمایه‌گذاری روی این ابزارها
- گسترش محدود چنین ابزارها و تکنیک‌هایی به مناطق روستایی برای ایجاد انگیزه در کاربران و ارتباط دادن مزایای مختلف
- آمادگی کارآفرینان، استارت‌آپ‌ها و سایر شرکت‌های معتبر برای تلاش جهت شکوفایی، کاهش هزینه، دسترسی همگانی و پیشرفت این ابزارها و فناوری‌ها.
- یارانه‌های محدود و وام‌های پرهزینه برای سرمایه‌گذاری در اتخاذ آخرین فناوری اطلاعات و ارتباطات [۵].

^۱ Intelligent Precision Farming Technology (IPFT)

دلایل بارز بحران در تولید محصولات کشاورزی و خودکشی‌های دردناک کشاورزان در سراسر جهان، به‌ویژه در هند، شامل سرمایه‌گذاری اقتصادی و فیزیکی بیشتر در محصولات کشاورزی و درعین‌حال دستیابی به بازدهی کمتر، الگوهای کشت، هجوم‌های موسمی، عدم آبیاری در تابستان، خشکسالی، ارزش بازار، امکانات ذخیره‌سازی ناکافی، بذرهایی با کیفیت پایین و بیواسیدها^۱ و کودهای با کیفیت پایین است [۶].

همه این مسائل باید در مقیاس جهانی مورد توجه قرار گیرد. با افزایش وابستگی به تولیدات مزرعه، هند همچنان در ارائه پیشرفت‌های فناوری در بخش کشاورزی در برخورد با شکاف‌ها، افزایش تولید، زنجیره تأمین، تدارکات و انبارداری و برآوردن نیازهای جمعیت [۶] همان‌طور که در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده است، پیشرفت می‌کند. بسیاری از انجمن‌ها و سیاست‌های برجسته برای حمایت از صنعت کشاورزی در سراسر جهان، از جمله هند، همکاری کردند. سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد با اکثر کشورهای آفریقایی، خلیج فارس و سایر سازمان‌های تجاری کشاورزی رتبه‌بندی‌شده برای بحث و تبادل نظر و به اشتراک گذاشتن روش‌ها، ابزارها و تجربیات موفق در استفاده از فناوری‌های نوظهور یا جایگزینی کشاورزی سنتی با کشاورزی نسل ۵،۰ همکاری کرده‌است. نوآوری‌ها، طرح‌های سرمایه‌گذاری، راه‌های سودآور مشارکت در بازار، اطلاعات واردات و صادرات، و مشارکت‌ها به‌منظور تقویت رشد جدیدترین ابزارهایی که در اختیار پزشکان، کارآفرینان و تصمیم‌گیرندگان است، با کمک انجمن جهانی تحقیقات کشاورزی^۲ و گروه مشورتی تحقیقات بین المللی کشاورزی^۳ بررسی می‌شود [۷]. مردان و زنان جوان را برای استفاده از فناوری‌های تحول‌آفرین آماده و آن‌ها را به کارآفرینان شاغل تبدیل می‌کنند [۸]. کشورهای اروپایی [۹] و ایالات متحده از مدرن‌ترین نوع کشاورزی برخوردار هستند.

شورای تحقیقات کشاورزی هند^۴ برای مقابله با رنج زیان‌دهی محصول به‌منظور حمایت از کشاورزان و ارائه کاتالیزوری برای جامعه کشاورزان، زنجیره‌ای از برنامه‌ها را با انگیزه بیشتر از سوی دولت هند آغاز کرده‌است. بسیاری از اهالی آبهیان^۵، در سطح منطقه کریشی کنندرا^۶ [۱۰]، کنسرسیوم‌هایی برای منابع الکترونیکی [۱۱]، سامانه‌های مشاوره مبتنی بر وب و برنامه‌های تلفن همراه [۱۲]، پیش‌بینی‌های آب‌وهوا [۱۳]، پیش‌بینی بیماری، پورتال‌های مدیریت دانش و مخازن تجربی و آمار مکانی برای محصولات مختلف [۱۴ و ۱۵]، داده‌های واردات و صادرات آن‌ها، داده‌های تولید در سطوح ایالتی و انتشارات تحقیقاتی و گزارش‌ها برای کمک به محققان و مبتکران در یافتن

^۱. Biocides

^۲. Global Forum on Agricultural Research (GFAR)

^۳. Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR)

^۴. Indian Council of Agricultural Research (ICAR)

^۵. Abhiyan

^۶. Krishi Kendra

را حل نگهداری می‌کنند. معرفی دوره‌های پل در کشاورزی دقیق، هوش مصنوعی یا اینترنت اشیا یا حوزه علم داده برای دانشجویان پیش‌زمینه علوم کامپیوتری [۱۶]، و ابزارها و تکنیک‌های کشاورزی نسل ۵،۰ توسط طرح آموزش عالی ملی کشاورزی^۱، آکادمی ملی علوم کشاورزی^۲ و مؤسسه ملی سامانه تحقیقات کشاورزی هند^۳ [۱۷]، مهندسان جوان را برای گرایش به این عصر جدید کشاورزی آماده می‌کند و به مردم قدرت می‌دهد تا از این امر برای دو برابر کردن درآمد کشاورزان استفاده کنند. سمینارها، کارگاه‌ها و ملاقات‌ها نقش حیاتی در گسترش این خبر دارند. شورای تحقیقات کشاورزی هند بیش از ۵۷ تفاهم‌نامه با مؤسسات کشاورزی مشهور جهان منعقد کرده‌است و بخشی از همکاری‌های چندملیتی متعددی مانند بریکس^۴، ایبسا^۵، سارک^۶ و غیره است [۱۸].

گول‌های فناوری جهان مانند آی‌بی‌ام، اینتل و مایکروسافت اکنون با کشاورزان همکاری می‌کنند و از راهبردهای مبتنی بر هوش مصنوعی برای به حداکثر رساندن تولید استفاده می‌کنند. مؤسسه بین‌المللی تحقیقات زراعی برای مناطق استوایی نیمه‌خشک^۷ با مایکروسافت همکاری می‌کند تا یک برنامه مبتنی بر هوش مصنوعی را توسعه دهد تا با اطلاع‌رسانی تاریخ بهینه کاشت، توصیه‌های کاشت را به کشاورزان ارسال کند [۱۹]. انجمن ملی شرکت‌های نرم‌افزار و خدمات^۸، با همکاری دولت کارناتاکا^۹، آپ^{۱۰}، گجرات^{۱۱} و هاریانا^{۱۲}، به رشد نهفته استارت‌آپ‌ها در حوزه هوش مصنوعی و اینترنت اشیا کمک می‌کند و راه‌حل‌های مدرن راحتی برای صاحبان زمین کوچک ارائه می‌کند [۲۰].

¹. National Agricultural Higher Education Project (NAHEP)

². National Academy of Agricultural Sciences (NAAS)

³. Indian National Agricultural Research System (NARS)

⁴. BRICS

⁵. IBSA

⁶. SAARC

⁷. The International Crop Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT)

⁸. The National Association of Software and Services Companies (NASSCOM)

⁹. Karnataka

¹⁰. UP

¹¹. Gujrat

¹². Haryana



شکل ۱۰-۱- زنجیره ارزش کشاورزی_کالای هند [۲۲]

مؤسسه ملی آیوگ^۱ برای دگرگونی هند^۲، با درک پتانسیل هوش مصنوعی، ابتکاری به نام «هوش مصنوعی برای همه» را در سال ۲۰۱۸ به منظور استخراج و بهره‌برداری از مزایای کشاورزی آغاز کرد [۲۱ و ۲۲]. دولت هند تفاهم‌نامه‌ای را با آی‌بی‌ام امضا کرده‌است تا از هوش مصنوعی برای تأمین امنیت قابلیت‌های کشاورزی کشاورزان هندی استفاده کند. این مطالعه آزمایشی، در ایالت‌هایی مانند مادیا پرادش^۳، گجرات و ماهاراشترا انجام خواهد شد. در تلاش برای تقویت و ایمن‌سازی فناوری‌های نوآورانه در کشاورزی، دولت هند ابتکار دیگری را به نام آگری_اودان^۴ راه‌اندازی کرده‌است.

پروژه فناوری کشاورزی ماها^۵ از تصاویر ماهواره‌ای و تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری‌شده توسط مرکز کاربردی سنجش از دور ماهاراشترا^۶ و مرکز سنجش از دور ملی^۷ برای ارزیابی مساحت زمین و شرایط محصولات منتخب در مناطق خاص استفاده می‌کند.

۱۰-۲-۱- تجزیه و تحلیل هزینه و سود فناوری کشاورزی دقیق هوشمند

تجزیه و تحلیل هزینه و سود^۸، روشی نظام‌مند برای تخمین ویژگی‌های قوی و ضعیف یک گزینه جایگزین مناسب است که ظرفیت ارائه سود با هزینه کم را دارد. تجزیه و تحلیل هزینه و سود در مقایسه ارزش هزینه یک تصمیم یا سیاست در برابر وظیفه سرمایه‌گذاری مفید است.

اقتصادی‌ترین مزیت فناوری کشاورزی دقیق هوشمند در دسترس بودن کاربردهای مکان مشخص از جمله تأمین تنوع زیاد در مزرعه، اطلاعات اولیه در مورد آفات، حملات بیماری، مواد مغذی خاک و کاهش نیروی کار است [۲۳]. بنابراین، استفاده از نهاده‌های اضافی و در نتیجه عملکرد بیشتر، کشاورزان را در دستیابی به منافع اقتصادی قابل قبول یاری می‌کند و سود نهایی باید بیشتر از سرمایه‌گذاری هزینه‌های نهایی باشد. برای ارائه مزایای مالی، اطلاعات دقیق در مورد مزرعه با استفاده از ماهواره‌ها و حسگرهای نصب‌شده روی پهپادها جمع‌آوری می‌شود. پس از تجزیه و تحلیل، در صورت لزوم، داده‌ها یک بار به عنوان کمکی برای کشاورزان در درک محصول و مراقبت از آن، عمل می‌کند. این فناوری‌ها مستلزم سرمایه‌گذاری منصفانه پولی است که فقط کشاورزان با

¹. Aayog

². The National Institution for Transforming India (NITI)

³. Madhya Pradesh

⁴. AGRI-UDAAN

⁵. Maha Agri Tech

⁶. Maharashtra Remote Sensing Application Center (MRSAC)

⁷. National Remote Sensing Center (NRSC)

⁸. Cost-benefit analysis (CBA)

زمین‌های زیاد می‌توانند از عهده آن برآیند (همان‌طور که در اروپا و ایالات متحده انجام می‌شود)، اما برخی راه‌حل‌های مشابه رایگان یا تحت حمایت دولت نیز برای مالکان کوچک قابل استفاده هستند. شکل ۱۰-۲- مزایای استفاده از فناوری‌های کشاورزی دقیق را در سه مرحله نشان می‌دهد:

مرحله ۱: فرمان خودکار با حرکت بلادرنگ^۱

مرحله ۲: فرمان خودکار با حرکت بلادرنگ و بخش کنترل سمپاش

مرحله ۳: فرمان خودکار با حرکت بلادرنگ و کنترل سمپاش و کودپاش

سود، با صرف نظر از هزینه مصرف‌شده، در مورد هکتارهای بزرگ زمین زراعی بیشتر است. کشاورزان کوچک می‌توانند با سفارش این ماشین‌ها به فناوری‌های پیشرفته دسترسی پیدا کنند. با این حال، تأمین مالی وام‌های بلندمدت برای این امر باید افزایش یابد. اصلاحات بازار کاملاً حیاتی هستند؛ زیرا نقش مهمی در کمک به کشاورز برای دستیابی مستقیم به ارزش واقعی بدون تقسیم مالی با فروشندگان بازار دارند. در دسترس بودن واحدهای فرآوری کشاورزی به کشاورز کمک می‌کند تا ارزش بیشتری برای محصولات خود به دست آورد و در عین حال از آسیب‌های ناشی از ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل جلوگیری کند. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، هم در خرید فناوری و هم در تولید محصول، قطعاً مزایای بیشتری را به همراه خواهد داشت.

۱۰-۲-۲- سیاست کشاورزان نسبت به سیاست آکادمی ملی مدیریت تحقیقات کشاورزی

شورای تحقیقات کشاورزی هند^۲

اصطلاحات «کشاورزی هوشمند» و «کشاورزی نسل ۵,۰» در مراحل اولیه توسعه هستند. این دو اصطلاح را می‌توان به عنوان اصطلاحات چتری نام برد که تحت آن، پیاده‌سازی فناوری‌های پیشرفته ارتباطی، نظارتی، لحظه‌ای و تصویربرداری در زمره وظایف مختلف کشاورزی است. با کاهش هزینه در ابزارهای الکترونیکی مانند لپ‌تاپ، رایانه‌های رومیزی، تلفن‌های هوشمند، و ابزارهای پیچیده و کوچک، این امر برای هر کشاورز مقرون به صرفه است. کشاورزان، از جمله مردان و زنان جوان تحصیل کرده در اروپا، ایالات متحده و سایر کشورهای سازمان توسعه و همکاری اقتصادی^۳ با استفاده از آن‌ها با نرخ نسبتاً چشمگیری بهره‌برداری می‌کنند [۲۵]. تلاش‌های انجام‌شده از طریق تحقیق برای بررسی احتمال بهره‌گیری کشاورزان از فناوری کشاورزی دقیق هوشمند مورد مطالعه قرار گرفت. در یک نظرسنجی [۲۳]، ۱۶ درصد از کشاورزان دانمارکی استفاده از تراکتورها و دروگرهای

^۱ Real-Time Kinematics (RTK)

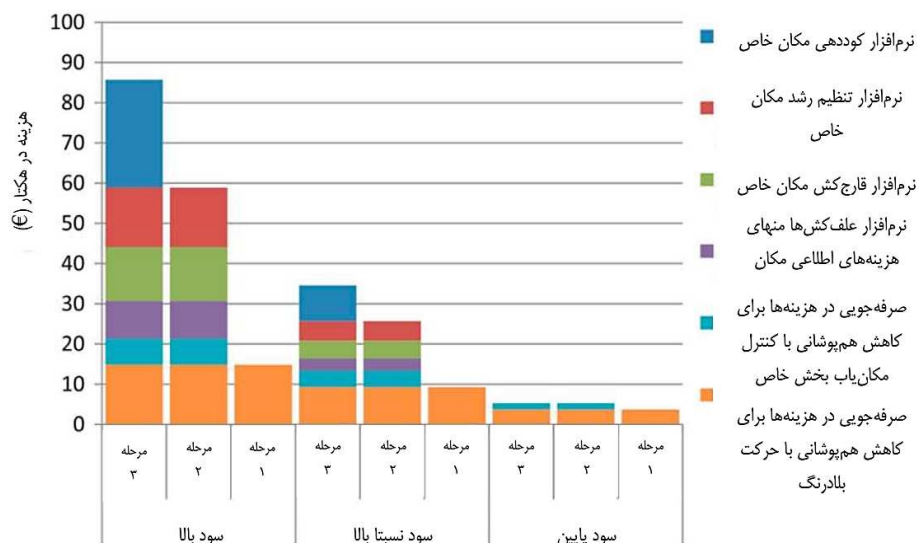
^۲ National Academy of Agricultural Research Management Indian Council of Agricultural Research (ICAR-NAARM)

^۳ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

بیدرنگ^۱ را پذیرفتند و تقریباً ۴۵ درصد از زمین با استفاده از این سامانه‌ها کشت شد. استفاده از پهپادها ۳ درصد گزارش شده است و تصاویر ماهواره‌ای برای کود، بذر و آفت‌کش استفاده شده است. روندهای مشابهی در میان کشاورزان استرالیا، آمریکای شمالی، ایالات متحده (که از عکس‌های ماهواره‌ای و هوایی استفاده می‌کردند)، انگلستان (فناوری‌های کاربردی با نرخ متغیر) و سوئد مشاهده شد [۲۶]. همچنین مشخص شد که افراد زیر ۴۰ سال بیشتر مشتاق به کارگیری فناوری کشاورزی دقیق هوشمند هستند. در گزارش بازار اتحادیه اروپا، پیش‌بینی شد که استفاده از تراکتورهای بدون راننده و مجهز به مکان‌یاب تا ۳۵ درصد در سال ۲۰۲۰ رونق خواهد گرفت؛ در حالی که قیمت این دستگاه‌ها ۳۰ درصد کاهش می‌یابد [۲۷].

در هند، یک نظرسنجی پرسش‌نامه‌ای که توسط آکادمی ملی مدیریت تحقیقات کشاورزی در سال ۲۰۱۸ انجام شد [۲۸] شروع و محبوبیت انقلاب فناوری کشاورزی دقیق هوشمند را در میان کشاورزان، محققان و تازه‌واردان جوان مورد بررسی قرار داد. مشخص شد که حدود ۳۴ درصد از پاسخ‌دهندگان از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا آگاه بودند، اما تنها ۲۸ درصد از آن‌ها در مورد کاربردهای آن در کشاورزی آگاه بودند. رشد ایده‌های نوآورانه و توسعه برنامه و نرم‌افزار با استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا شروع به توسعه کرده است.

^۱. Real-time



شکل ۱۰-۲- مزایای استفاده از فناوری های کشاورزی دقیق

۱۰-۲-۱- درک و نگرانی کشاورزان

اگرچه پذیرش فناوری های کشاورزی دقیق با سرعت زیادی در حال رشد است، هنوز نگرانی هایی وجود دارد که کشاورزان را در مورد استفاده و خرید چنین فناوری هایی مردد می کند. این مسائل در زیر توضیح داده شده است:

- هزینه، بحرانی ترین پارامتری است که نگرش کشاورزان را تعیین می کند. تعهد مالی نسبت به فناوری هایی با هزینه کمتر و با ویژگی های دارای مزایای قابل مشاهده انتخاب خوبی در نظر گرفته می شود. علاوه بر این، کشاورزان مشتاق استفاده از سامانه های بدون هزینه هستند.
- فقدان آگاهی و اعتماد در مورد اثربخشی فناوری خودکار همچنان ایشان را از آن دور نگه داشته است.
- ماشین آلات اندازه بزرگی دارند.
- ترس از خرید ماشین آلات کشاورزی یا سایر ابزارهای بدون دامنه ارتقاء وجود دارد و در نتیجه آنها را منسوخ می کند. بنابراین، این عامل به عامل بی انگیزگی تبدیل می شوند.

- استفاده از مکانیزم‌های عملیاتی پیچیده و کمبود دانش، به‌ویژه دانش مبتنی بر رایانه، یکی از موانع و نگرانی‌های اصلی است.
- مسائل فنی از کمبود پشتیبانی رنج می‌برند.
- هیچ مدرکی مبنی بر دوام مالی و سودآوری ناشی از استفاده از فناوری‌های کشاورزی دقیق وجود ندارد.

۱۰-۳- نتیجه

حتی با وجود معرفی فناوری‌های کشاورزی دقیق و کشاورزی نسل ۵،۰ که تأثیرگذار هستند، هنوز مشکلات زیادی در جریان است. تقاضا برای تولید بیشتر در ازای کار کمتر کشاورزان تنها در صورتی محقق می‌شود که تلاش‌های درست برای در دسترس قرار دادن این شیوه‌های کشاورزی به‌روز برای همه انجام شود. در این صورت تولید هدفمند بدون تأثیر مخرب بر محیط‌زیست و اقتصاد دست‌یافتنی است. در این راستا، باید سیاست‌ها و طرح‌های انگیزشی بیشتری برای زنجیره تأمین و همچنین تولید باکیفیت پیش‌بینی شود.

منابع

1. "Indicators | Sustainable Development Goals | Food and Agriculture Organization of the United Nations." [Online]. Available: <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/en/>. [Accessed: 15-June-2020].
2. "Organic Farming in India Has Huge Opportunities: Niti Ayog CEO Amitabh Kant – India News – Hindustan Times." [Online]. Available: <https://www.hindustantimes.com/india-news/organic-farming-in-india-has-huge-opportunities-niti-ayog-ceo-amitabh-kant/story-4KGsyOqsNeB6MrcqXLUhQP.html>. [Accessed: 22-June-2020].
3. S. M. Pedersen et al., "Economic, Environmental and Social Impacts," in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, Academic Press, pp. 279–330, 2020.
4. A. Balafoutis et al., "Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics," *Sustainability*, vol. 9, no. 8, p. 1339, July 2017, doi: 10.3390/su9081339.
5. Z. Haq, "Farming in India Unprofitable for Nearly 2 Decades – India News – Hindustan Times," 10-July-2018. [Online]. Available: <https://www.hindustantimes.com/india-news/farming-in-india-unprofitable-for-nearly-2-decades/story-obZl6IcrjAxIBejOoF4B6J.html>. [Accessed: 22-June-2020].
6. R. Reghunadhan, "Big Data, Climate Smart Agriculture and India–Africa Relations: A Social Science Perspective," in *IoT and Analytics for Agriculture*, Singapore: Springer, pp. 113–137, 2020.
7. "About Us | GFAR." [Online]. Available: <https://www.gfar.net/about-us>. [Accessed: 23-June-2020].
8. "International Forum on Innovation in Agri-Food Systems to Achieve the SDGs | FAO Regional Office for Near East and North Africa | Food and Agriculture Organization of the United Nations." [Online]. Available: <http://www.fao.org/neareast/events/agri-food-systems-innovation/en/>. [Accessed: 22-June-2020].
9. "ICT-AGRI Meta Knowledge Base | Information and Communication Technologies and Robotics for Sustainable Agriculture." [Online]. Available: <http://ict-agri.eu/>. [Accessed: 22-June-2020].
10. "Krishi Vigyan Kendra Knowledge Network." [Online]. Available: <https://kvk.icar.gov.in/>. [Accessed: 22-June-2020].
11. "Consortium for e-Resources in Agriculture (CeRA) | Indian Council of Agricultural Research." [Online]. Available: <https://icar.org.in/content/consortium-resources-agriculture-cera>. [Accessed: 22-June-2020].
12. "Mobile Apps | Indian Council of Agriculture Research." [Online]. Available: <https://icar.org.in/mobile-apps>. [Accessed: 22-June-2020].
13. "Welcome To NICRA." [Online]. Available: <http://www.nicra-icar.in/nicrarevised/index.php/technology-demonstration>. [Accessed: 22-June-2020].

14. "ICAR Research Data Repository for Knowledge Management." [Online]. Available: <https://krishi.icar.gov.in/>. [Accessed: 22-June-2020].
15. "[Rice Knowledge Management Portal – Rice, Paddy, Dhan, Chawal, Rice Research Domain, Rice Extension Domain, Rice Farmers Domain, Rice General Domain, Rice Service Domain, RKMP, Rice in India, Rice Government Schemes, Rice ITKs, Rice FLDs, Rice Package of Practices." [Online]. Available: <http://www.rkmp.co.in/extension-domain/national/production-know-how>. [Accessed: 22- June-2020].
16. "Short Course on Precision Farming Practices for Enhanced Quality Production of Subtropical Fruits – a Way for Doubling Farmers' Income | भारतीयकृषिअनुसंधानपरिषद." [Online]. Available: <https://icar.org.in/content/short-course-precision-farming-practices-enhanced-quality-production-subtropical-fruits-way>. [Accessed: 22-June-2020].
17. "Home-National Agricultural Science Fund (NASF)." [Online]. Available: <https://www.icar.gov.in/nasf/index.html>. [Accessed: 22-June-2020].
18. "International Relations | भारतीयकृषिअनुसंधानपरिषद." [Online]. Available: <https://icar.org.in/content/international-relations>. [Accessed: 22-June-2020].
19. "How Precision Farming and AI Can Fuel Second Green Revolution In India." [Online]. Available: <https://medium.com/fasalapp/how-precision-farming-and-ai-can-fuel-second-green-revolution-in-india-a8344cd8f5c>. [Accessed: 22-June-2020].
20. "CoE for IoT and AI for Startups and Corporates in India – CoE IoT India, IoT Bangalore." [Online]. Available: <https://www.coe-IoT.com/>. [Accessed: 22-June-2020].
21. "National Strategy on Artificial Intelligence | NITI Aayog." [Online]. Available: <https://niti.gov.in/national-strategy-artificial-intelligence>. [Accessed: 23-June-2020].
22. N. Aayog, "Discussion Paper National Strategy for Artificial Intelligence," 2018.
23. S. M. Pedersen, S. Fountas, B. S. Blackmore, M. Gylling, and J. L. Pedersen, "Adoption and Perspectives of Precision Farming in Denmark.," *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.*, vol. 54, no. 1, pp. 2–8, 2004.
24. M. F. Pedersen and S. M. Pedersen, "Erhvervsøkonomiske gevinster ved anvendelse af præcisionslandbrug," *IFRO Udredning. Nr.*, vol. 02, p. 49, 2018.
25. S. M. Pedersen et al., *Economic, Environmental and Social Impacts, in Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, Academic Press, pp. 279–330.
26. S. M. Pedersen, R. B. Ferguson, and M. Lark, "A Multinational Survey of Precision Farming Early Adopters," *Farm Manag.*, vol. 11, 2001.
27. European Parliament, "Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers e Potential Support with the CAP," 2014.
28. S. Soam, M. Balakrishnan, V. Sumanthkumarand, and C. Srinivasa Rao, "Artificial Intelligence and Internet of Things: Implications for Human Resources in Indian NARES," 2018.

فصل یازدهم
تأثیرات زیست محیطی و قوانین

۱۱-۱- تأثیر بالقوه بر محیط‌زیست با فناوری‌های مختلف کشاورزی دقیق هوشمند

کاهش نیروی کار، بهره‌وری کارآمد و سودآوری از مزایای اصلی استفاده از کشاورزی دقیق هوشمند است. هر دو مزیت اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی را می‌توان به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با اتخاذ فناوری‌های کشاورزی دقیق به‌دست آورد. اثرات زیست‌محیطی به‌صورت آلودگی و بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع طبیعی رخ می‌دهد [۱]. از بین بردن اثرات مخرب بهره‌برداری از محیط‌زیست غیرممکن است. بنابراین، استفاده از فناوری کشاورزی دقیق هوشمند حفاظت از محیط‌زیست را ممکن می‌سازد. کاربرد با نرخ متغیر و کشاورزی مکان ویژه، طبیعت را از مصرف بیش از حد نهاده‌ها و سمی بودن بیش‌ازحد نجات داده‌است. اکثر کشورها استفاده از اسپری‌های هوای یکنواخت را برای هواپیماها ممنوع کرده‌اند. تخمین زده می‌شود که با کاربرد ویژه مکانی به کاهش ۱۰ تا ۱۵ درصدی هزینه سالانه در مصرف مواد شیمیایی در مزرعه دست پیدا کنند.

تصمیم‌گیری به موقع و حمایت مشاوره‌ای برای مدیریت بیماری و آفات، استفاده بیش‌ازحد یا استفاده مکرر از مواد شیمیایی را مدیریت کرده‌است؛ بنابراین هم جنبه اقتصادی و هم دوستداری طبیعت دارد. علاوه‌براین، دفع ایمن ابزار دقیق آسیب‌دیده یا منسوخ باید با احتیاط انجام شود. سازندگان باید ابزارهایی مانند تجهیزات مکانیزه مانند پهپادها و حسگرها را برای استفاده از انرژی خورشیدی یا دیگر اشکال انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان منابع خود برای عملیات طراحی کنند [۲] و [۳]. همه این کمک‌ها سنگ بنای کشاورزی پایدار هستند؛ زیرا خاک و محصولات را حفظ می‌کند، کشاورزان را حمایت می‌کند و به عرضه مداوم غذا در پیوندهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی کمک می‌کند.

۱۱-۲- سیاست‌گذاری و حکمرانی

اهمیت دادن به سیاست‌گذاری و گسترش افق سیاست‌ها، منافع بی‌پایانی را برای جوامع کشاورزی در پی خواهد داشت و به تولید و ارزیابی اطلاعات و پیشروی در توسعه مدل قانونی به شیوه‌ای منصفانه، بی‌طرفانه و پاسخ‌گو کمک می‌کند. همچنین، اشتراک‌گذاری رایگان داده با ذی‌نفعان شفاف‌تر خواهد شد [۴]. اقدامات حاکمیتی و سیاستی مختلفی که در سراسر جهان به ویژه در هند بسیار مهم و ضروری است، به‌طور کلی شامل موارد زیر است [۵ و ۶]:

- بهبود وضعیت اقتصادی با اطمینان از این‌که کشاورزان «حداقل درآمد خالص» را کسب می‌کنند و برای اطمینان از این‌که پیشرفت کشاورزی موجب بهبود درآمد کشاورز می‌شود.
- به جریان انداختن بعد انسانی و جنسیتی در تمامی سیاست‌ها و برنامه‌های کشاورزی و توجه صریح به معیشت پایدار روستایی

- تکمیل دستور کار ناتمام در اصلاحات ارضی و آغاز سرمایه‌گذاری‌های همه‌جانبه و اصلاحات ارضی
- توسعه و معرفی سامانه تأمین اجتماعی و خدمات حمایتی برای کشاورزان
- حفاظت و بهبود منابع زمین، آب، تنوع زیستی و آب‌وهوا با ایجاد سهم اقتصادی در حفاظت که برای پیشرفت‌های پایدار در بهره‌وری، سودآوری و ثبات سامانه‌های کشاورزی عمده ضروری است.
- تقویت سامانه‌های امنیت غذا، آب و انرژی جامعه‌محور در روستاهای هند و تضمین امنیت تغذیه برای هر کودک و زن و مرد
- معرفی اقداماتی که می‌تواند به جذب و حفظ جوانان در کشاورزی کمک کند، از طریق ایجاد انگیزه فکری و اقتصادی با اعطای قدرت و صرفه‌جویی و حمایت از کشاورزان کوچک و حاشیه‌ای در مراحل تولید و پس از برداشت محصولات کشاورزی.
- تقویت امنیت زیستی محصولات کشاورزی، حیوانات مزرعه، ماهی‌ها و درختان جنگلی برای تضمین امنیت شغلی و درآمدی خانواده‌های کشاورز و همچنین امنیت سلامت و تجارت کشور.
- افزایش رفاه جمعیت بومی و محلی و همچنین دانش آن‌ها با فعالیت‌های رفاهی در دولت و سازمان‌های غیردولتی.

۱۱-۲-۱- روی داده‌های فعلی سیاست و مقررات در هند

توصیه‌های سیاست برای استفاده از فناوری‌های کشاورزی دقیق هوشمند در هند در زیر فهرست شده است [۸-۶]:

- تشویق سرمایه‌گذاری در پروژه‌ها و زیرساخت‌ها برای پشتیبانی و ارائه خدمات مبتنی بر هوش مصنوعی و ترویج مشارکت با صنعت خصوصی
- توسعه برنامه‌های شاخص یکپارچه، مانند «زیست‌بوم متعالی»^۱ در شرکت‌های شناخته‌شده مؤسسات شورای تحقیقات کشاورزی هند^۲
- در مورد شورای تحقیقات کشاورزی هند، ایفای نقش حمایتی بزرگ‌تر برای پیاده‌سازی هوش مصنوعی و استفاده گسترده از برنامه‌های کاربردی هوش مصنوعی برای کشاورزان از طریق تقویت پیوندها با صنایع خصوصی. این نوع نگهداری و پشتیبانی برای مشاغل خصوصی از نظر ظرفیت‌سازی و مشاوره دامنه موردنیاز است.

^۱. Niche Area Excellence

^۲. Indian Council of Agricultural Research (ICAR)

- حمایت از سیاست‌ها برای توسعه مهارت‌های شایسته در این زمینه‌ها؛ آموزش دانشمندان جوان و سطح متوسط در هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در مؤسسات شناسایی شده در خارج از کشور
- آکادمی ملی مدیریت تحقیقات کشاورزی شورای تحقیقات کشاورزی هند^۱، به‌عنوان یک نقطه گره برای ارائه برنامه‌های ظرفیت‌سازی در هوش مصنوعی و اینترنت اشیا عمل می‌کند که می‌تواند به صنعت و استارت‌آپ‌های کشاورزی نیز تعمیم یابد.
- اشتراک‌گذاری رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی که امکان دسترسی بلادرنگ به داده‌ها از منابع دانش کشاورزی و مرکز سامانه اطلاعاتی برای نوآوری‌ها^۲ و همه پروژه‌های تحقیقاتی هماهنگ هند^۳ و دیگر منابع را فراهم می‌کند؛ بنابراین یک بانک داده مرکزی ایجاد می‌کند.
- ایجاد انگیزه برای دانشجویان برای دنبال کردن دوره‌های تحصیلی که به آن‌ها امکان می‌دهد نسل بعدی هوش مصنوعی را ایجاد کنند.
- تفکیک قوانین برای پرواز پهپادها در نظارت بر محصولات در هند توسط پلتفرم آسمان دیجیتال (مدیر اداره کل هوانوردی غیرنظامی، هند).

۱۱-۲-۲- توسعه مورد نیاز در هند

- فناوری بلاک‌چین برای ردیابی کالاهای کشاورزی از کشاورزان تا مصرف‌کنندگان
- سامانه‌های اینترنت اشیا و رباتیک برای کاربردهایی مانند ذخیره‌سازی و تدارکات زنجیره تأمین برای نظارت و تضمین کیفیت محصول، کوددهی، آبیاری، سامانه پاشش مبتنی بر حسگر مافوق صوت که ممکن است به‌عنوان نمونه‌های اولیه مزرعه و همچنین برای تولید تجاری توسعه یابد.
- شبکه حسگر بی‌سیم مبتنی بر اینترنت اشیا برای پیش‌اخطار آفات و بیماری‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری با نظارت بر پارامترهای مختلف مانند دما، رطوبت نسبی و غیره.
- مدل‌هایی برای کاربرد در سطح مزرعه برای سامانه پساب زهکشی کارآمد، شوری ناحیه ریشه، تبخیر و تعرق محصول، هیدرولوژی و برنامه‌ریزی آبیاری در گلخانه‌ها

¹. National Academy of Agricultural Research Management Indian Council of Agricultural Research (ICAR-NAARM)

². Agricultural Knowledge Resources and Information System Hub for Innovations (KRISHI)

³. All India Coordinated Research Projects (AICRP)

- بانک‌های اصطلاحات ایجادشده برای حوزه کشاورزی و زیردامنه‌ها در زبان‌های هندی؛ کار برای توسعه فرهنگ لغت‌آوایی اصطلاحات حوزه کشاورزی برای انطباق سامانه‌های مبتنی بر گفتار
 - درجه‌بندی دیجیتال غذایی، میوه‌ها، سبزیجات، ادویه‌جات، ترشی‌جات و غیره. این دستگاه‌ها در صورتی مفید خواهند بود که با هزینه کم تولید شوند و با حداقل نیاز زیرساختی که محدوده جغرافیایی وسیعی را پوشش می‌دهند، به راحتی اجرا شوند.
 - الگوریتم‌ها، فرایندها و مدل‌هایی که کاربرد مستقیم در ابزارهای مدرن هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در کشاورزی دارند.
 - برنامه‌های کاربردی برای دسترسی به تجهیزات مزرعه از طریق یک برنامه تلفن همراه تا کشاورزان بتوانند به جای خرید، از تجهیزات به صورت مشترک استفاده کنند.
 - کاوش در حوزه‌های مختلف مشکل سامانه مدیریت یکپارچه آب مانند برآورد تبخیر و تعرق واقعی و رطوبت خاک ناحیه ریشه از پارامترهای هیدرولوژیکی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، ترسیم زمین‌های زراعی غرقاب و متأثر از نمک و زیان‌های اقتصادی، بهبود بهره‌وری آب در یک منطقه آبی شور [۷ و ۸].
 - فهرست کردن همه منابع دانش پراکنده و ایجاد چارچوبی برای انباشت این منابع به صورت فزاینده
 - حسگرهای مبتنی بر نیاز، نوعی ماده که برای سال‌ها حساس باقی می‌ماند که باید کارآمد و مقرون به صرفه باشد.
 - دفع ایمن حسگرهای مزرعه‌ای
 - تراشه‌های حسگر مفید برای کشاورزان، شبیه به نوعی ساعت هوشمند
- برآورد بازار و تحقیقات بازار ارزش هوش مصنوعی در کشاورزی را در سال ۲۰۱۶ به ۴۳۲ میلیون دلار آمریکا رساند و انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۲۵ با نرخ ۲۲,۵ درصد نرخ رشد ترکیبی سالیانه^۱ رشد کند و ارزش آن به ۲,۶ میلیارد دلار برسد. طبق گزارش شناخت بی‌سی^۲، استارت‌آپ‌های فناوری کشاورزی بیش از ۸۰۰ میلیون دلار در پنج سال گذشته جمع‌آوری کرده‌اند.

^۱. Compound Annual Growth Rate (CAGR)

^۲. CB Insights

۱۱-۳- نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده

در سطح جهانی، فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی به حل مسائل مبرم در سراسر زنجیره ارزش کشاورزی کمک می‌کنند. نقش نسبی هر فناوری در ایجاد تأثیر به ماهیت کار و مسائل مورد بحث بستگی دارد. از تجزیه و تحلیل میلیون‌ها تصویر ماهواره‌ای گرفته تا یافتن گونه‌های سالم میکروبیوم گیاهی، این استارت‌آپ‌ها بیش از ۵۰۰ میلیون دلار برای آوردن هوش مصنوعی و رباتیک به کشاورزی جمع‌آوری کرده‌اند. هند تقریباً ۳۰ میلیون کشاورز صاحب گوشی هوشمند دارد که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ سه برابر شود و ۳۱۵ میلیون روستایی هندی تا سال ۲۰۲۰ از اینترنت استفاده خواهند کرد. نتیجه یک مطالعه نشان داد که کشاورزی دیجیتال و خدمات مزرعه مرتبط می‌تواند بر ۷۰ میلیون کشاورز هندی در سال ۲۰۲۰ تأثیر بگذارد و ۹ میلیارد دلار به درآمد کشاورز اضافه کند. این‌ها سناریوهای آینده‌نگرانه نیستند؛ بلکه امروزه در حال ظهور هستند، همان‌طور که در یک اکوسیستم دیجیتال گسترده که شامل سازندگان تجهیزات اصلی سنتی^۱، شرکت‌های نرم‌افزار و خدمات، ارائه‌دهندگان ابر داده، پلتفرم‌های منبع باز، استارت‌آپ‌ها، مؤسسات تحقیق و توسعه و دیگران است، فعال هستند. رشد آینده به مشارکت و همکاری نزدیک بین این گزینه‌ها و بخش‌ها وابسته است.

^۱. Original Equipment Manufacturer (OEM)

منابع

1. R. Bongiovanni and J. Lowenberg-Deboer, "Precision Agriculture and Sustainability," *Precis. Agric.*, vol. 5, no. 4. pp. 359–387, Aug-2004, doi: 10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa.
2. J. Schieffer and C. Dillon, "The Economic and Environmental Impacts of Precision Agriculture and Interactions with Agro-Environmental Policy," *Precis. Agric.*, vol. 16, no. 1, pp. 46–61, Oct. 2014, doi: 10.1007/s11119-014-9382-5.
3. S. M. Pedersen S. Fountas, H. Have, and B. S. Blackmore, "Agricultural Robots—System Analysis and Economic Feasibility," *Precis. Agric.*, vol. 7, no. 4, pp. 295–308, 2006.
4. R. Reghunadhan, "Big Data, Climate Smart Agriculture and India–Africa Relations: A Social Science Perspective," Singapore: Springer, 2020, pp. 113–137.
5. Delhi, N. Ministry of Agriculture, Government of India New Delhi, National Commission on Farmers (NCF). Serving farmers and saving farming: Jai Kisan- A Draft National Policy for Farmers, 4, Apr 2006.
6. R. B. Singh, Ed. "Development Issues in Marginal Regions: Processes, Technological Developments, And Societal Reorganizations," Routledge, 2019.
7. S. Soam, M. Balakrishnan, V. Sumanthkumaran, and C. Srinivasa Rao, "Artificial Intelligence and Internet of Things: Implications for Human Resources in Indian NARES," 2018.
8. N. Aayog, "Discussion Paper National Strategy for Artificial Intelligence," 2018.

واژه‌نامه

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

ITU	The International Telecommunication Union	اتحادیه مخابرات جهانی
OSI	Open System Interconnection	اتصال سامانه باز
LTE	Long-Term Evaluation	ارزیابی بلندمدت
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	استاندارد جهانی برای دسترسی مایکروویوی قابل تطابق
IoT	Internet of Things	اینترنت اشیاء
IoTWF	IoT World Forum	اینترنت اشیاء جهانی
IoE	Internet of Everything	اینترنت همه چیز
NBSSLUP	National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning	آزمایشگاه ملی برای طبقه‌بندی خاک و برنامه‌ریزی استفاده از آن
NABARD	National Bank for Agriculture and Rural Development	بانک ملی توسعه روستایی
LoRa	Low Range	برد کم
NNI	National Nanotechnology Initiative	برنامه ملی نانوفناوری
BLE	Bluetooth Low Energy	بلوتوث کم مصرف
MiWi	Microchip Wireless	بی‌سیم میکروچیپ
IP	Internet Protocol	پروتکل شبکه جهانی
NAIP	National Agricultural Innovation Project	پروژه نوآوری کشاورزی ملی
SPAD	Soil Plant Analysis Development	تجزیه و تحلیل گیاه و خاک
R&D	Research and Development	تحقیق و توسعه
Wireless HART	Wireless Highway Addressable Remote Transducer Protocol	ترانزدیوسر راه دور قابل آدرس‌دهی در شبکه‌های بی‌سیم هارت
ANT	Adaptive Network Topology	توپولوژی شبکه تطبیقی
ISPA	The International Society of Precision Agriculture	جامعه بین‌المللی کشاورزی دقیق
ROM	Read Only Memory	حافظه فقط خواندنی
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	حافظه فقط خواندنی قابل پاک شدن الکتریکی
SMS	Short Messaging Service	خدمات پیامک کوتاه
GNSS	Global Navigation Satellite Services	خدمات جهانی ماهواره‌ای موقعیت‌یابی
GPRS	General Packet Radio Services	خدمات عمومی بسته‌های رادیویی
GODAN	Global Open Data for Agriculture and Nutrition	داده‌های باز جهانی برای کشاورزی و تغذیه
HSPA	Evolved High-Speed Packet Access	دسترسی با سرعت بالای تکامل یافته

USD	United States Dollar	دلار آمریکا
LED	Light Emitting Diode	دیود روشنایی
APIs	Application Programming Interface	رابط برنامه‌نویسی
GUI	Graphical User Interface	رابط کاربر گرافیک
ISO	International organization of Standardization	سازمان بین‌المللی استانداردها
DARPA	Defence Advanced Research Projects Agency	سازمان پروژه‌های پژوهشی پیشرفته دفاعی
ISRO	Indian Space Research Organisation	سازمان تحقیقات فضایی هند
FAO	Food and Agriculture Organization	سازمان غذا و کشاورزی
GMO	Genetically Modified Organism	سازمان موجودات به دست آمده از تغییر ژنتیکی
NASA	National Aeronautics and Space Administration	سازمان هوافضا و فضایی آمریکا
GIS	Geographic Information System	سامانه اطلاعات جغرافیایی
ADSS	Agricultural Decision Support System	سامانه پشتیبان تصمیم کشاورزی
IDSS	Intelligent Decision Support System	سامانه پشتیبانی تصمیم هوشمند
GSM	Global System for Mobile	سامانه جهانی برای تلفن همراه
CPS	Cyber-Physical System	سامانه فیزیکی- سایبری
GPS	Global Positioning System	سامانه موقعیت‌یابی جهانی
SOSUS	Sound Surveillance System	سامانه نظارت صدایی
NIMS	Networked Info Mechanical Systems	سامانه‌های مکانیکی اطلاعات شبکه‌ای
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems	سامانه‌های میکرو الکترومکانیکی
RS	Remote Sensing	سنجش از دور
DSS	Decision Support System	سیستم پشتیبانی تصمیم
ENS	Embedded Networked Systems	سیستم‌های توکار شبکه‌ای
USN	Ubiquitous Sensor Network	شبکه حسگر پوشش همه جا
GSN	Global Sensor Networks	شبکه حسگر جهانی
LoWPAN	Low-Power Wireless Personal Area Network	شبکه شخصی بی‌سیم با توان کم
LAN	Local Area Network	شبکه محلی
WSN	Wireless Sensor Networks	شبکه‌های حسگر بی‌سیم
DSN	Distributed Sensor Networks	شبکه‌های حسگر توزیع شده
ANN	Artificial Neural Networks	شبکه‌های مصنوعی
ITC	Indian Tobacco Company	شرکت تنباکوی هند
IBM	International Business Machines Corporation	شرکت ماشین‌های تجاری بین‌المللی
RFID	Radio-Frequency IDentification	شناسایی فرکانس رادیویی

ICAR	Indian Council of Agricultural Research	شورای تحقیقات کشاورزی هند
ISM	Industrial, Scientific, and Medical	صنعتی، علمی و پزشکی
SHF	Super High Frequency	فرکانس بسیار بالا
UHF	Ultra-High Frequency	فرکانس بسیار بالا
RF	Radio Frequency	فرکانس رادیویی
IT	Information Technology	فناوری اطلاعات
ICT	Information and Communication Technology	فناوری اطلاعات و ارتباطات
ODLT	Open Distributed Ledger Technology	فناوری دفترچه راکت
IPFT	Intelligent Precision Farming Technology	فناوری کشاورزی دقیق هوشمند
VRT	Variable Rate Technology	فناوری نرخ متغیر
VRA	Variable Rate Application	کاربرد نرخ متغیر
PA	Precision Agriculture	کشاورزی دقیق
PF	Precision Farming	کشاورزی دقیق
W3C	World Wide Web Consortium	کنسرسیوم جهانی وب
IETF	Internet Engineering Task Force	گروه کاری مهندسی اینترنت
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research	گروه مشاور بین‌المللی تحقیقات کشاورزی
IR	Infrared	مادون قرمز
M2M	Machine to Machine	ماشین به ماشین
ADC	Analog to Digital Converter	مبدل آنالوگ به دیجیتال
IDE	Integrated Development Environment	محیط توسعه یکپارچه
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration	مدیریت اقیانوس‌شناسی و هواشناسی ملی
PDCSR	Project Directorate for Cropping Systems Research	مدیریت پروژه برای تحقیقات سامانه‌های کشاورزی
DPM	Dynamic Power Management	مدیریت قدرت دینامیکی
SSCM	Site-Specific crop management	مدیریت محصول مخصوص محل
PFDCs	Precision Farming Development Centres	مراکز توسعه کشاورزی دقیق
IERC	International Energy Research Centre	مرکز تحقیقات انرژی بین‌المللی
CDAC	Center for Development of Advanced Computing	مرکز توسعه محاسبات پیشرفته
DVS	Dynamic Voltage Scaling	مقیاس ولتاژ دینامیکی
UN	United Nations	ملل متحد
MIT	Massachusetts Institute of Technology	موسسه فناوری ماساچوست

CIAE	Central Institute of Agricultural Engineering	موسسه مرکزی مهندسی کشاورزی
NIST	National Institute of Standards and Technology	موسسه ملی استانداردها و فناوری
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	موسسه مهندسان برق و الکترونیک
CAGR	Compound Annual Growth Rate	نرخ رشد سالانه مرکب
LCC	Leaf Colour Chart	نمودار رنگ برگ
NiCd	Nickel Cadmium	نیکل کادمیوم
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	نیمه رسانای مکمل اکسید فلزی
CPU	Central Processing Unit	واحد پردازش مرکزی
WiFi	Wireless Fidelity	وای‌فای
DARE	Department of Agricultural Research and Education	وزارت تحقیقات و آموزش کشاورزی
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	وسایل هوایی بدون سرنشین
AI	Artificial Intelligence	هوش مصنوعی
ML	Machine Learning	یادگیری ماشینی

University of Guilan Press

AGRICULTURE 5.0

Artificial Intelligence, IoT and Machine Learning

By:

Latief Ahmad Firasath Nabi

Translated by:

Mohammadreza Khaledian, Ph. D

Mahsa Heydari, Ph. D Student