|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

گزارش فاز مطالعاتی تولید و توسعه سامانه هوشمند پایش محصولات کشاورزی



گزارش مرحله سوم

شرکت دانش بنیان توسعه زیرساخت مکان آشنا

نسخه **1.0**- مردادماه **1404**

**فهرست مطالب**

[فصل اول: تعریف و اولویت بندی دقیق اهداف](#_Toc205297351)

[1.1. مقدمه.............................................................................................................................................................................1](#_Toc205297352)

[1.2. هدف اصلی....................................................................................................................................................................1](#_Toc205297353)

[1.3. اهداف فرعی..................................................................................................................................................................1](#_Toc205297354)

[فصل دوم: تعریف و اولویت بندی دقیق نیازمندی](#_Toc205297355)

[2.1. مقدمه.............................................................................................................................................................................3](#_Toc205297356)

[2.2. نیازمندی‌های سخت‌افزاری...........................................................................................................................................3](#_Toc205297357)

[2.3. سرورها...........................................................................................................................................................................3](#_Toc205297358)

[1.2.3. سرورهای وب و اپلیکیشن 3](#_Toc205297359)

[2.2.3. سرورهای پایگاه داده 3](#_Toc205297360)

[3.2.3. زیرساخت شبکه 4](#_Toc205297361)

[2.4. نیازمندی‌های نرم‌افزاری................................................................................................................................................4](#_Toc205297362)

[1.2.4. سیستم عامل (Operating System) 4](#_Toc205297363)

[2.2.4. پایگاه داده (Database) 5](#_Toc205297364)

[3.2.4. وب سرور (Web Server) 5](#_Toc205297365)

[4.2.4. کتابخانه‌ها و فریم‌ورک‌های GIS 5](#_Toc205297366)

5.2.4. [کتابخانه‌ها و فریم‌ورک‌های هوش مصنوعی 5](#_Toc205297367)

[6.2.4. ابزارهای توسعه (Development Tools) 6](#_Toc205297368)

[2.5. زبان‌های برنامه‌نویسی...................................................................................................................................................6](#_Toc205297369)

[1.2.5. سمت سرور (Backend) 6](#_Toc205297370)

[2.2.5. سمت کاربر (Frontend) 6](#_Toc205297371)

[3.2.5. تحلیل داده و هوش مصنوعی 7](#_Toc205297372)

[2.6. طراحی و توسعه رابط کاربری (UI/UX Design and Development) 7](#_Toc205297373)

[2.7. امنیت (Security)....................................................................................................................................................7](#_Toc205297374)

[2.8. مقیاس‌پذیری و پایداری (Scalability and Maintainability) 8](#_Toc205297375)

[2.9. سایر ملاحظات فنی......................................................................................................................................................8](#_Toc205297376)

[فصل سوم: خروجی ها و خدمات قابل ارائه در هر سطح](#_Toc205297377)

[3.1. مقدمه............................................................................................................................................................................9](#_Toc205297378)

[3.2. اجزای اصلی رابط کاربری.............................................................................................................................................9](#_Toc205297379)

[3.2.1. پنل اصلی 9](#_Toc205297380)

[3.2.2. داشبورد مدیریتی 10](#_Toc205297381)

[3.2.3. پنل مدیریت کاربران 11](#_Toc205297382)

[3.3. آیکون های پنل اصلی سامانه.....................................................................................................................................11](#_Toc205297383)

[3.3.1. پروفایل 11](#_Toc205297384)

[3.3.2. دسترسی داشبورد 11](#_Toc205297385)

[3.3.3. هواشناسی 12](#_Toc205297386)

[3.3.4. هشدارها 12](#_Toc205297387)

[3.3.5. ثبت فعالیت‌های روزانه 12](#_Toc205297388)

[3.3.6. توصیه‌ها 12](#_Toc205297389)

[3.3.7. راهنمای کاربر 12](#_Toc205297390)

[3.3.8. شاخص‌ها 12](#_Toc205297391)

[3.3.9. ابزار جستجوی مکان 12](#_Toc205297392)

[3.3.10. ابزارهای ترسیم 13](#_Toc205297393)

[3.3.11. ابزار اندازه‌گیری 13](#_Toc205297394)

[3.3.12. زوم (+/-) 13](#_Toc205297395)

[3.3.13. لایه‌ها 13](#_Toc205297396)

[3.3.14. جزئیات محصول 13](#_Toc205297397)

[3.3.15. تصاویر دردسترس 13](#_Toc205297398)

[3.3.16 تاریخ تصویر نمایش داده شده 14](#_Toc205297399)

[3.3.17. آیکون ایجاد زمین جدید 14](#_Toc205297400)

[3.3.18. پنل نمایش نقشه و تصاویر ماهواره‌ای 14](#_Toc205297401)

[3.3.19. راهنمای نقشه 14](#_Toc205297402)

[3.4. خروجی های سامانه برای کشاورزان 14](#_Toc205297403)

[3.4.1. ابزار ترسیم برای معرفی مزرعه توسط کشاورز 14](#_Toc205297404)

[3.4.2. پنل ثبت اطلاعات محصول و فعالیت‌ها 15](#_Toc205297405)

[3.4.3. سطح پایه 15](#_Toc205297406)

[3.4.4. سطح متوسط 16](#_Toc205297407)

[3.4.5. سطح پیشرفته 17](#_Toc205297408)

[3.4.6. خروجی های سامانه برای تعاونی ها و اتحادیه ها 17](#_Toc205297409)

[3.4.7. خروجی ها برای سطوح مدیریت کلان و سیاستگذاری 18](#_Toc205297410)

[منابع............................................................................................................................................................................................................22](#_Toc205297411)

[فصل چهارم: بررسی، شناسایی و ارزیابی محصولات مشابه داخلی و خارجی](#_Toc205297412)

[4.1. مقدمه..........................................................................................................................................................................25](#_Toc205297413)

[4.2. معیارهای مقایسه و ارزیابی.........................................................................................................................................26](#_Toc205297414)

[4.2.1. قابلیت های عملکردی و فناوری ها 26](#_Toc205297415)

[4.2.2. حوزه های تمرکز.........................................................................................................................................26](#_Toc205297416)

[4.2.3. جامعه هدف................................................................................................................................................26](#_Toc205297417)

[4.2.4. پلن های کسب و کار...................................................................................................................................27](#_Toc205297418)

[4.3. معرفی و بررسی محصولات مشابه خارجی و داخلی 28](#_Toc205297419)

[4.3.1. معرفی و بررسی محصولات مشابه خارجی........................................................................................................29](#_Toc205297420)

[4.3.1.1. Agremo 29](#_Toc205297421)

[4.3.1.1.1. مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی...........................................................................................................29](#_Toc205297422)

[4.3.1.1.2. قابلیت‌ها و خدمات اصلی......................................................................................................................................30](#_Toc205297423)

[4.3.1.1.3. سایر خدمات..........................................................................................................................................................31](#_Toc205297424)

[4.3.1.1.4. فناوری و متدولوژی‌ها...........................................................................................................................................32](#_Toc205297425)

[4.3.1.1.5. مدل کسب‌وکار و قیمت‌گذاری.............................................................................................................................33](#_Toc205297426)

[4.3.1.1.6. نقاط قوت، محدودیت‌ها و بازخورد کاربران..........................................................................................................34](#_Toc205297427)

[4.3.1.1.7. محدودیت‌ها..........................................................................................................................................................34](#_Toc205297428)

[4.3.1.2. Farmonaut 35](#_Toc205297429)

[4.3.1.2.1. مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی...........................................................................................................35](#_Toc205297430)

[4.3.1.2.2. قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها........................................................................................................................35](#_Toc205297431)

[4.3.1.2.3. ویژگی‌ها و خدمات خاص.....................................................................................................................................36](#_Toc205297432)

[4.3.1.2.4. حوزه‌های تمرکز اصلی.........................................................................................................................................37](#_Toc205297433)

[4.3.1.2.5. جامعه هدف و دسترسی‌پذیری.............................................................................................................................38](#_Toc205297434)

[4.3.1.2.6. پلن‌های درآمدی و کسب‌وکار..............................................................................................................................38](#_Toc205297435)

[4.3.1.2.7. شکاف‌های عملکردی، محدودیت‌ها و بازخوردهای قابل توجه...........................................................................39](#_Toc205297436)

[4.3.1.3. Crop.Monitoring.EOS.............................................................................................................................40](#_Toc205297437)

[4.3.1.3.1. مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی.............................................................................................................40](#_Toc205297438)

[4.3.1.3.2. قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها........................................................................................................................40](#_Toc205297439)

[4.3.1.3.3. ویژگی‌ها و خدمات خاص......................................................................................................................................41](#_Toc205297440)

[4.3.1.3.4. حوزه‌های تمرکز اصلی..........................................................................................................................................42](#_Toc205297441)

[4.3.1.3.5. جامعه هدف و دسترسی‌پذیری..............................................................................................................................43](#_Toc205297442)

[4.3.1.3.6. پلن‌های درآمدی و کسب‌وکار................................................................................................................................43](#_Toc205297443)

[4.3.1.3.7. شکاف‌های عملکردی، محدودیت‌ها و بازخوردهای قابل توجه............................................................................44](#_Toc205297444)

[4.3.1.4. Tend 45](#_Toc205297445)

[4.3.1.4.1. مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی 45](#_Toc205297446)

[4.3.1.4.2. قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها........................................................................................................................45](#_Toc205297447)

[4.3.1.4.3. ویژگی‌ها و خدمات خاص.....................................................................................................................................45](#_Toc205297448)

[4.3.1.4.4. جامعه هدف و دسترسی‌پذیری..............................................................................................................................47](#_Toc205297449)

[4.3.1.4.5. پلن‌های درآمدی و کسب‌وکار..............................................................................................................................47](#_Toc205297450)

[4.3.1.4.6. شکاف‌های عملکردی، محدودیت‌ها و بازخوردهای قابل توجه...........................................................................48](#_Toc205297451)

[4.3.1.5. One Soil 49](#_Toc205297452)

[4.3.1.5.1. مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی..........................................................................................................49](#_Toc205297453)

[4.3.1.5.2. قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها.......................................................................................................................49](#_Toc205297454)

[4.3.1.5.3. ویژگی‌ها و خدمات خاص.....................................................................................................................................49](#_Toc205297455)

[4.3.1.5.4. حوزه‌های تمرکز اصلی.........................................................................................................................................50](#_Toc205297456)

4.3.1.5.5.[جامعه هدف و دسترسی‌پذیری..............................................................................................................................50](#_Toc205297457)

[4.3.1.6.6. پلن‌های درآمدی و کسب‌وکار.............................................................................................................................51](#_Toc205297458)

[4.3.1.6.7. شکاف‌های عملکردی، محدودیت‌ها و بازخوردهای قابل توجه...........................................................................51](#_Toc205297459)

[4.3.1.7. نتیجه‌گیری‌ 52](#_Toc205297460)

[4.3.1.7.1. قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها........................................................................................................................52](#_Toc205297461)

[4.3.1.7.2. حوزه تمرکز...........................................................................................................................................................53](#_Toc205297462)

[4.3.1.7.3. جامعه هدف...........................................................................................................................................................53](#_Toc205297463)

[4.3.1.7.4. پلن‌های درآمدی و کسب و کار............................................................................................................................54](#_Toc205297464)

[4.3.1.8. منابع ..............................................................................................................................................................................54](#_Toc205297465)

[4.3.2. معرفی و بررسی محصولات مشابه داخلی 60](#_Toc205297466)

[4.3.2.1. Fazayesh.SpaceOmid 61](#_Toc205297467)

[4.3.2.2. Joutyar 62](#_Toc205297468)

[4.3.2.3. Keshtyar 63](#_Toc205297469)

[4.3.2.4. Tiznegar 64](#_Toc205297470)

[4.3.2.5. SatPlat 65](#_Toc205297471)

[4.3.2.6. Rahban 66](#_Toc205297472)

[4.3.2.7. Jereeb 67](#_Toc205297473)

[4.3.2.8. مقایسه و تحلیل جامع سامانه‌های داخلی 68](#_Toc205297474)

[4.3.2.9. نتیجه‌گیری 69](#_Toc205297475)

[4.3.2.9.1. نقاط قوت کلی سامانه‌های داخلی.........................................................................................................................69](#_Toc205297476)

[4.3.2.10. منابع 70](#_Toc205297477)

[4.4. مزیت های رقابتی سامانه هدف...........................................................................................................................................................73](#_Toc205297478)

[4.4.1. مزیت‌های رقابتی نسبت به سامانه‌های خارجی 73](#_Toc205297479)

[4.4.2. مزیت‌های رقابتی نسبت به سامانه‌های داخلی 73](#_Toc205297480)

[4.4.2.1. مزیت‌های منحصربه‌فرد 73](#_Toc205297481)

[فصل پنجم: پیشنهادات خلاقانه برای توسعه آتی سامانه کشاورزی مکانی هوشمند](#_Toc205297482)

[5.1.مقدمه....................................................................................................................................................................................................74](#_Toc205297483)

[5.2. فناوری‌های کلیدی...............................................................................................................................................................................75](#_Toc205297484)

[5.2.1. هوش مصنوعی (AI) ..............................................................................................................................................................75](#_Toc205297485)

[5.2.2. هوش مصنوعی پیشرفته و هوش مصنوعی مولد 76](#_Toc205297486)

[5.2.3. اینترنت اشیا (IoT) و شبکه‌های حسگر..................................................................................................................................76](#_Toc205297487)

[5.2.4. رباتیک و اتوماسیون...................................................................................................................................................................77](#_Toc205297488)

[5.2.5. سنجش از دور............................................................................................................................................................................78](#_Toc205297489)

[5.2.6. بلاک‌چین...................................................................................................................................................................................79](#_Toc205297490)

[5.2.7. همگرایی فناوری‌ها.....................................................................................................................................................................80](#_Toc205297491)

[5.3. پیشنهادات خلاقانه برای توسعه آتی سامانه‌های کشاورزی مکانی هوشمند 81](#_Toc205297492)

[5.3.1. اکوسیستم‌های کشاورزی خودمختار مبتنی بر هوش مصنوعی (AIFE) 81](#_Toc205297493)

[5.3.2. کشاورزی دوقلوی دیجیتال پیش‌بینی‌کننده و تجویزی (PPDTF) 82](#_Toc205297494)

[5.3.3. کشاورزی چرخشی و قابلیت ردیابی مبتنی بر بلاک‌چین (BECAT) 83](#_Toc205297495)

[5.3.4. کشاورزی با محیط کنترل‌شده تطبیق‌پذیر با اقلیم و بهینه‌سازی‌شده از نظر منابع (CAROCEA) 85](#_Toc205297496)

[5.3.5. مدیریت تغذیه و سلامت محصول فوق‌شخصی‌سازی‌شده (HPCNHM) 86](#_Toc205297497)

[5.4. ملاحظات و چالش‌های پیاده‌سازی.......................................................................................................................................................88](#_Toc205297498)

[5.4.1.یکپارچه‌سازی و قابلیت به کارگیری داده‌ها 88](#_Toc205297499)

[5.4.2.الزامات زیرساختی (اتصال، قدرت پردازش، انرژی) 88](#_Toc205297500)

[5.4.3.دوام اقتصادی و سرمایه‌گذاری 88](#_Toc205297501)

[5.4.4. شکاف مهارت‌ها و آموزش کشاورزان 89](#_Toc205297502)

[5.4.5. ملاحظات نظارتی و اخلاقی 89](#_Toc205297503)

[5.4.6. مقیاس‌پذیری و سازگاری.........................................................................................................................................89](#_Toc205297504)

[5.4.7. مشاهدات کلیدی در مورد ملاحظات پیاده‌سازی 90](#_Toc205297505)

[5.4.7.1. شکاف دیجیتال در کشاورزی 90](#_Toc205297506)

[5.4.7.2. پذیرش اجتماعی 90](#_Toc205297507)

[5.5. نتیجه‌گیری..................................................................................................................................................................91](#_Toc205297508)

[5.6. منابع............................................................................................................................................................................91](#_Toc205297509)

[برنامه زمانی و بودجه‌ریزی توسعه سامانه کشاورزی مکانمند...................................................................................................................](#_Toc205297526) 93

مقدمه

کشاورزی به عنوان سنگ بنای اقتصاد جهانی و امنیت غذایی، همواره با چالش‌های متعددی روبرو بوده است (FAO, 2017). افزایش جمعیت جهان و به تبع آن، تقاضای روزافزون برای تولید مواد غذایی، در کنار اثرات تغییرات اقلیمی، شهرنشینی رو به رشد و کاهش زمین‌های حاصلخیز، ضرورت یافتن راهکارهای نوآورانه برای ارتقای کارایی، پایداری و انعطاف‌پذیری در بخش کشاورزی را بیش از پیش نمایان ساخته است (Godfray et al., 2010). در این راستا، بهره گیری از فناوری های نوین چون سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصاویر و داده های ماهواره ای سنجش از دور و ابزارهای هوش مصنوعی (AI)، می توان گامی فراتر از روش‌های سنتی برداشته و کشاورزی مبتنی بر تجربه را به سمت کشاورزی دقیق و داده‌محور هدایت کرد (Zhang et al., 2002). این تحول نه تنها بهینه‌سازی مصرف منابع را به دنبال دارد، بلکه با کاهش هزینه‌ها و آسیب‌های زیست‌محیطی، به سوی کشاورزی پایدارتر و سودآورتر گام برمی‌دارد (Pierce & Nowak, 1999).

کشاورزی هوشمند، مفهومی که بر پایه ادغام فناوری‌های پیشرفته شکل گرفته است، با بهره‌گیری از زیرشاخه‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین (ML)، یادگیری عمیق (DL) و بینایی ماشین، امکان تحلیل داده‌های کشاورزی و اتخاذ تصمیمات آگاهانه را فراهم می‌آورد (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). کشاورزی هوشمند با قابلیت پردازش و تفسیر حجم گسترده‌ای از اطلاعات کشاورزی، شامل شرایط آب و هوایی، وضعیت خاک، سلامت گیاهان و داده‌های بازار، الگوهای پنهان را آشکار ساخته و تحلیل ها و پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه می‌دهد که به کشاورزان در انتخاب بهترین روش‌ها و زمان‌بندی مناسب برای فعالیت‌های زراعی و باغی کمک می‌کند(Elijah et al., 2018). توسعه یک سامانه کشاورزی مکانی هوشمند، نیازمند طراحی دقیق و انتخاب صحیح فناوری‌ها در لایه‌های مختلف سخت‌افزار، نرم‌افزار و معماری است. این سامانه باید قادر به پردازش حجم وسیعی از داده‌های مکانی و زمانی، انجام تحلیل‌های پیچیده با استفاده از قابلیت های هوش مصنوعی و ارائه یک رابط کاربری واکنش‌گرا و بصری برای کاربران باشد (Saha et al., 2018). در همین راستا این گزارش با هدف نهایی ایجاد یک سامانه هوشمند کشاورزی، به تدوین فاز مطالعاتی تولید و توسعه سامانه هوشمند پایش محصولات کشاورزی پرداخته است.

# فصل اول تعریف و اولویت بندی دقیق اهداف

## مقدمه

در این بخش اهداف مورد انتظار و اولویت بندی آن ها آورده شده است. اهداف بر اساس انتظاراتی که از سامانه مدنظر است، نیازسنجی ها و منابع داده ای در دسترس تعریف شده اند و اولویت بندی آن ها با توجه به وزنی که هر کدام از اهداف در برآورده کردن نیازهای کاربران هدف سامانه می توانند داشته باشند، صورت پذیرفته است.

## هدف اصلی

* طراحی، توسعه و راه اندازی سامانه مکانی هوشمند تحت وب پایش کشاورزی که دارای مشخصه های اصلی زیر است:
  + مکانمند با بهره گیری از تصاویر ماهواره ای و داده های برداری
  + دانلود و پردازش خودکار داده های ماهواره ای و مکانی
  + بهره گیری از هوش مصنوعی جهت تحلیل و پردازش های پیشرفته تر و دقیق تر
  + پاسخگویی به طیف گسترده تری از کاربران بخش کشاورزی از کشاورزان تا تعاونی ها و مدیران کلان

## اهداف فرعی

* پوشش نیازها و الزامات انواع کاربران

شامل کشاورزان، شرکت ها و تعاونی های کشاورزی، مدیران و تصمیم گیران کلان

* بهبود بهره‌وری کشاورزی بر اساس ابزارها و توابع تحلیلی

توانمندسازی کشاورزان برای دستیابی به بیشینه بهره‌وری تولیدات کشاورزی از طریق بالا بردن سطح دانش و آگاهی

* کمک به مدیریت بهنیه و پایدار منابع شامل آب، خاک و نیروی انسانی

استفاده بهنیه از منابع و حفظ پایداری زیست‌محیطی

* کمک به کاهش هزینه های کاشت، داشت و برداشت

کاهش هزینه‌ها از طریق تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های مکانی دقیق و توصیه‌های هوشمند و عملیاتی

* پشتیبانی از تصمیم گیری های هوشمند

توصیه های متناسب با زمین، زمان کاشت، آبیاری و کودهی

* کمک به حرکت از کشاورزی سنتی به سمت کشاورزی دقیق

به روزرسانی روش های سنتی کشاورزی با بهره گیری از داده ها و تحلیل های داده ای در برنامه ریزی کشاورزی و بهبود دانش و آگاهی کشاورزان با ارائه تعاریف و آموزش های پایه ای به کشاورزان

# فصل دوم تعریف و اولویت بندی دقیق نیازمندی

## مقدمه

در این بخش نیازمندی های طراحی و راه اندازی سامانه آورده شده است. مهمترین نیازمندی های شامل سخت افزار، نرم افزار، رابط کاربری و امنیت می باشد که هر کدام به تفکیک توضیح داده شده اند. قابل ذکر است که عمده نیازمندی های اعلام شده ضروری و لازم است. اگر نیازمندی ذکر شده، اولویت اساسی نباشد در توضیحات آن قید شده است.در واقع این نیازمندی ها، شروط لازم برای هدف هستند و بدون آن ها رسیدن به هدف ممکن نیست.

## نیازمندی‌های سخت‌افزاری

برای اطمینان از پردازش کارآمد داده‌ها و پاسخگویی سامانه، سخت‌افزارهای مناسبی مورد نیاز است. انتخاب سرورها و زیرساخت‌های پردازشی باید بر اساس حجم داده، تعداد کاربران همزمان و پیچیدگی تحلیل‌های هوش مصنوعی صورت گیرد (Hashem et al., 2015).

## سرورها

### سرورهای وب و اپلیکیشن

پردازنده :(CPU) پردازنده‌های چند هسته‌ای قدرتمند )مانند Intel Xeon یا (AMD EPYC با تعداد هسته (حداقل 4 هسته ای) و فرکانس بالا (حداقل 2.5 گیگاهرتز) برای مدیریت همزمان درخواست‌های متعدد کاربر و اجرای منطق کسب‌ وکار (Tanenbaum & Van Steen, 2017). به طور کلی برای راه اندازی یک سرور، تعداد هسته‌ها و فرکانس پردازنده به عوامل مختلفی مانند تعداد کاربران، نوع نرم‌افزارها و حجم کاری سرور بستگی دارد.

حافظه دسترسی تصادفی :(RAM) حداقل 64 GB تا 256 GB یا بیشتر، بسته به حجم داده‌های در حال پردازش و تعداد کاربران همزمان. برای پردازش‌های GIS و هوش مصنوعی، RAM بالا حیاتی است.

فضای ذخیره‌سازی :(Storage) استفاده از هاردSSD برای سرعت بالای خواندن/نوشتن داده، به‌ویژه برای پایگاه داده و فایل‌های حجیم.GIS حداقل 1 TB فضای ذخیره‌سازی اولیه با امکان افزایش ظرفیت.

### سرورهای پایگاه داده

* پردازنده :(CPU) مشابه سرورهای وب، با تأکید بر هسته‌های بیشتر (بیشتر از 4 هسته) برای پردازش کوئری‌های پیچیده.
* حافظه دسترسی تصادفی :(RAM) تا 512 GB یا بیشتر، بسته به حجم پایگاه داده و بار کاری. کش کردن داده‌ها در RAM سرعت دسترسی را به شدت افزایش می‌دهد.
* فضای ذخیره‌سازی NVMe SSD :(Storage) در پیکربندی برای افزایش سرعت و پایداری (Silberschatz et al., 2020). حداقل 2 TB تا 10 TB فضای ذخیره‌سازی با قابلیت گسترش.
* سرورهای پردازش هوش مصنوعی و :(AI/GIS Processing Servers) GIS
* پردازنده :(CPU) پردازنده‌های پرقدرت با هسته‌های زیاد.
* واحد پردازش گرافیکی :(GPU) بسیار حیاتی برای تسریع پردازش‌های یادگیری عمیق، تحلیل تصویر و برخی عملیات‌های GIS (LeCun et al., 2015). چندین GPU با حافظه بالا (مانند NVIDIA Tesla/Quadro یا AMD Instinct) توصیه می‌شود.
* حافظه دسترسی تصادفی :(RAM) 128 تا 512GB یا بیشتر، بسته به حجم مدل‌ها و داده‌های ورودی.
* فضای ذخیره‌سازی NVMe SSD :(Storage) با ظرفیت بالا و امکان پشتیبان گیری از برنامه و داده ها.

### زیرساخت شبکه

* پهنای باند :(Bandwidth) اتصال اینترنت با پهنای باند بالا و پایدار (حداقل 1 Gbps) برای انتقال داده‌های حجیم ماهواره‌ای و دسترسی کاربران با فرض استقرار سرور در خارج از کشور.
* شبکه داخلی :(Internal Network) شبکه داخلی گیگابیت اترنت یا 10 گیگابیت اترنت برای ارتباط سریع بین سرورها.
* امنیت شبکه :(Network Security Appliances) فایروال‌ها، سیستم‌های تشخیص/پیشگیری از نفوذ (IDS/IPS) و روترهای امن برای حفاظت از زیرساخت (Kurose & Ross, 2021).

## نیازمندی‌های نرم‌افزاری

توسعه سامانه نیازمند مجموعه‌ای از نرم‌افزارهای پایه و تخصصی است:

### سیستم عامل (Operating System)

* سرویس دهنده:Linux (از جمله Ubuntu Server, CentOS, RHEL) به دلیل پایداری، امنیت بالا، مقیاس‌پذیری و پشتیبانی گسترده جامعه.(Nemeth et al., 2010)
* کلاینت یا سرویس گیرنده: مرورگرهای وب مدرن (Chrome, Firefox, Edge) و سیستم‌عامل‌های موبایل (Android, iOS).

### پایگاه داده (Database)

* پایگاه داده مکانی PostgreSQL :(Spatial Database) با افزونه PostGIS برای ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌های جغرافیایی PostGIS .ابزارهای قدرتمندی برای کوئری‌های مکانی و تحلیل‌های GIS فراهم می‌کند (Obe & Hsu, 2021).
* پایگاه داده غیرمکانی :(Non-spatial Database) برای اطلاعات کاربران، مدیریت عملیات، گزارش‌ها و سایر داده‌های متنی. می‌تواند PostgreSQL یا MongoDB (برای انعطاف‌پذیری بیشتر با داده‌های غیرساخت‌یافته) باشد.
* سیستم ذخیره‌سازی داده‌های حجیم :(Big Data Storage) برای تصاویر ماهواره‌ای خام و داده‌های پردازش‌نشده. Object Storage (مانند S3-compatible storage) یا HDFS (برای مقیاس‌پذیری بالا) مناسب است (Dean & Ghemawat, 2008).

### وب سرور (Web Server)

* Nginx یا Apache HTTP Server برای ارائه محتوای وب و پراکسی معکوس. Nginx به دلیل کارایی بالا در سرویس‌دهی به درخواست‌های همزمان، ارجح است.

### کتابخانه‌ها و فریم‌ورک‌های GIS

* GDAL/OGR :Geospatial Libraries (برای پردازش و تبدیل فرمت‌های مختلف داده‌های مکانی) و PROJ (برای تبدیل مختصات). این کتابخانه ها در زمینه پردازش، تبدیل فرمت و مختصات و کار با انواع داده های رستری و برداری قدرتمند، سریع و بهینه عمل می کنند.
* :GIS Server GeoServer یا MapServer برای انتشار نقشه‌های وب و سرویس‌های OGC (مانند WMS و WFS) (Sherman, 2012).
* :Web GIS Frameworks OpenLayers یا Leaflet برای نمایش نقشه‌های تعاملی در سمت کاربر. Esri ArcGIS API for JavaScript (در صورت استفاده از محصولات Esri)
* پلتفرم‌های پردازش ابری:(Cloud Processing Platforms) Google Earth Engine یا Microsoft Planetary Computer برای دسترسی و پردازش داده‌های سنجش از دور در مقیاس بزرگ (Gorelick et al., 2017).

### کتابخانه‌ها و فریم‌ورک‌های هوش مصنوعی (AI Libraries and Frameworks)

* یادگیری ماشین/یادگیری عمیق: TensorFlow، PyTorch و Scikit-learn برای توسعه و آموزش مدل‌های هوش مصنوعی (تشخیص تنش و پیش‌بینی عملکرد) (Abadi et al., 2016; Paszke et al., 2019). در بسیاری از موارد برخی کتابخانه ها برای یک کارکرد و تابع خاصی مورد استفاده قرار می گیرند و بسیاری از عملکردها و توابع آن ها همپوشانی دارند.
* پردازش تصویر: OpenCV و PIL (Pillow) برای عملیات‌های پایه بر روی تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی (Pedregosa et al., 2011; Bradski & Kaehler, 2008).
* تحلیل داده: NumPy و Pandas برای دستکاری و تحلیل داده‌های عددی.

### ابزارهای توسعه (Development Tools)

* محیط توسعه یکپارچه:(IDE) IntelliJ IDEA، PyCharm و Visual Studio Code
* سیستم کنترل نسخه Git :(Version Control System) (با پلتفرم هایی مانند GitLab یا GitHub)
* ابزارهای مدیریت پکیج: pip (برای Python) و npm/yarn (برای JavaScript)
* داکر (Docker) و کوبرنیتس (Kubernetes): برای کانتینرسازی و ایزوله کردن زیربخش های مختلف برنامه و مدیریت استقرار برنامه‌ها و سرویس‌های مختلف سامانه. به طور کلی از مهمترین مزایای داکر، توانایی ایجاد کانتینرهای مستقل و قابل حمل است که شامل تمام وابستگی‌های یک برنامه وب می‌شوند. این امر باعث می‌شود که برنامه وب در هر محیطی (توسعه، آزمایش، تولید) بدون مشکل و به صورت یکسان اجرا شود. علاوه بر این، داکر به بهینه‌سازی مصرف منابع، ساده‌سازی فرآیندهای استقرار و بهبود همکاری بین تیم‌های توسعه و عملیات کمک می‌کند (Merkel, 2014).

## زبان‌های برنامه‌نویسی

انتخاب زبان‌های برنامه‌نویسی بر اساس کارایی، اکوسیستم، و پشتیبانی جامعه است:

### سمت سرور (Backend)

* Python : به دلیل کتابخانه‌های غنی در زمینه(Shapely, Fiona, Rasterio) GIS ، هوش مصنوعی (TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn)، تحلیل داده (Pandas, NumPy) و فریم‌ورک‌های وب مانند Django و Flask (McKinney, 2012; Van der Walt et al., 2011).
* :(JavaScript) Node.js برای توسعه سریع APIهای واکنش‌گرا و وب‌سوکت‌ها، به‌ویژه برای ویژگی‌های بلادرنگ.

### سمت کاربر (Frontend)

* HTML5 و CSS3 (با فریم ورک Tailwind CSS): برای ساختار، ظاهر و طراحی واکنش‌گرا.
* JavaScript : زبان اصلی برای تعاملات وب.
* فریم‌ورک‌های جاوا اسکریپت: React،Vue.js یا Angular برای ساخت رابط کاربری تک صفحه‌ای (SPA) و مدیریت وضعیت (State Management) پیچیده. React به دلیل محبوبیت، اکوسیستم گسترده و عملکرد بالا توصیه می‌شود (Haber, 2017).
* کتابخانه‌های نمودار (Charting Libraries): Chart.js و Plotly.js برای بصری‌سازی داده‌ها.

### تحلیل داده و هوش مصنوعی

* پایتون: زبان پیش‌فرض برای توسعه مدل‌های هوش مصنوعی و تحلیل داده‌های علمی.

## طراحی و توسعه رابط کاربری (UI/UX Design and Development)

رابط کاربری باید بصری، کاربرپسند و قابل دسترس برای کشاورزان با سطوح مختلف آشنایی با فناوری باشد:

* طراحی واکنش‌گرا (Responsive Design): استفاده از فریم‌ورک‌های CSS مانند Tailwind CSS برای اطمینان از نمایش صحیح و عملکرد مناسب سامانه در تمامی دستگاه‌ها (دسکتاپ، تبلت، موبایل) (Nielsen, 2012).
* داشبوردهای قابل تنظیم: ارائه قابلیت سفارشی‌سازی و شخصی سازی ویجت‌ها و نمایش اطلاعات در داشبورد بر اساس نیازهای خاص هر کشاورز.
* نقشه‌های تعاملی: پیاده‌سازی نقشه‌های GIS تعاملی با امکانات بزرگنمایی، حرکت، تغییر لایه‌ها و کوئری گرفتن از اطلاعات مکانی.
* بصری‌سازی داده: استفاده از نمودارها و گرافیک‌های اطلاعاتی (مانند Chart.js و Plotly.js) برای نمایش بصری و قابل فهم داده‌ها و تحلیل‌ها.

## امنیت (Security)

امنیت داده‌ها و حریم خصوصی کاربران از اهمیت بالایی برخوردار است:

* امنیت داده‌ها (Data Security)
  + پشتیبان‌گیری (Backup): برنامه‌ریزی منظم برای پشتیبان‌گیری از پایگاه داده و فایل‌ها با استراتژی‌های بازیابی فاجعه (Disaster Recovery).
  + پوشاندن داده (Data Masking/Anonymization): در صورت نیاز، برای حفاظت از حریم خصوصی داده‌های خاص.
* امنیت شبکه (Network Security)
  + فایروال‌ها (Firewalls): پیکربندی صحیح فایروال‌ها برای کنترل دسترسی به سرورها و سرویس‌ها.
* احراز هویت و مجوز (Authentication and Authorization)
  + کنترل دسترسی مبتنی بر نقش (Role-Based Access Control - RBAC): تعریف نقش‌های کاربری (کشاورز، کارشناس، مدیر) با سطوح دسترسی متفاوت به بخش‌های مختلف سامانه (Ferraiolo et al., 2007).

## مقیاس‌پذیری و پایداری (Scalability and Maintainability)

سامانه باید قابلیت رشد و نگهداری آسان را داشته باشد:

* معماری (Architecture)
  + میکروسرویس‌ها (Microservices) : طراحی سامانه با رویکرد میکروسرویس برای امکان توسعه مستقل، استقرار مستقل و مقیاس‌پذیری هر سرویس (Newman, 2015).
  + آزمایش (Testing): پیاده‌سازی تست‌های واحد (Unit Tests)، تست‌های یکپارچه‌سازی (Integration Tests) و تست‌های عملکرد (Performance Tests) برای اطمینان از کیفیت و پایداری سامانه.
  + پایش عملکرد (Performance Monitoring): استفاده از ابزارهایی برای پایش عملکرد سرورها، پایگاه داده و برنامه‌ها به صورت بلادرنگ.

## سایر ملاحظات فنی

* یکپارچه‌سازی با سایر سیستم‌ها (Integration with Other Systems):
  + APIهای استاندارد: طراحی APIهای RESTful برای امکان یکپارچه‌سازی با سامانه‌های دیگر (مانند سامانه‌های هواشناسی، بازارهای کشاورزی آنلاین، یا تجهیزات کشاورزی هوشمند).
  + پشتیبانی از فرمت‌های داده استاندارد GIS: مانند GeoJSON, Shapefile, GeoTIFF برای واردات و صادرات داده.
* مدیریت نسخه (Version Control): استفاده از Git برای مدیریت و ردیابی تغییرات کد.
* استقرار مداوم/تحویل مداوم (CI/CD): پیاده‌سازی پایپ‌لاین‌های CI/CD برای خودکارسازی فرآیند ساخت، آزمایش و استقرار سامانه.
* لاجینگ و گزارش‌دهی (Logging and Reporting): سیستم جامع لاگ‌برداری برای ردیابی خطاها، عملکرد و فعالیت‌های کاربر. ابزارهای گزارش‌دهی برای ارائه تحلیل‌های عملکردی سامانه.

# فصل سوم خروجی ها و خدمات قابل ارائه در هر سطح

## مقدمه

در طراحی این سامانه، تمرکز ویژه‌ای بر سه اصل کلیدی شده است: دقت اطلاعات، سهولت استفاده و شخصی‌سازی خدمات. رابط کاربری هوشمند (با توانایی پاسخ به درخواست های کشاورزان به طور خودکار و بدون دخالت عامل انسانی و متناسب با شرایط اعلامی کشاورز) و کاربرپسند سامانه، امکان دسترسی سریع به اطلاعات را در هر زمان و مکان فراهم می‌کند. ابزارهای پیشرفته ترسیم و تحلیل فضایی، همراه با لایه‌های اطلاعاتی غنی، دیدگاهی جامع از وضعیت مزارع ارائه می‌دهد. سیستم‌های هشدار هوشمند و توصیه‌ها و تحلیل‌های عملیاتی، کشاورزان را در اتخاذ بهینه‌ترین تصمیمات یاری می‌رساند.

سامانه حاضر با رویکردی چندسطحی طراحی شده است تا پاسخگوی نیازهای متنوع کاربران باشد. برای کشاورزان، بسته‌های خدماتی متنوعی از سطح رایگان تا طلایی پیش‌بینی شده که هر یک متناسب با نیاز و توان مالی کاربران، اطلاعات و تحلیل‌های ارزشمندی ارائه می‌کنند. اتحادیه‌های کشاورزی و کشت و صنعت‌ها می‌توانند از ابزارهای مدیریت جمعی و تحلیل‌های مقایسه‌ای برای بهبود عملکرد مجموعه تحت مدیریت خود بهره ببرند. در سطح کلان نیز، این سامانه با ارائه گزارش‌های تحلیلی و پیش‌بینی‌های راهبردی، ابزاری کارآمد برای سیاستگذاری و برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران قرار می‌دهد.

تلفیق دانش بومی کشاورزی (نوع محصول، منابع آبی، ابزارهای به کار گرفته شده و مواردی از این دست) با فناوری‌های روز دنیا در این سامانه، نویدبخش تحولی اساسی در افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های تولید و مدیریت پایدار منابع کشاورزی است. ما بر این باوریم که دسترسی عادلانه به اطلاعات و فناوری، سنگ بنای توسعه کشاورزی هوشمند و پایدار است و این سامانه گامی بلند در جهت محقق ساختن این آرمان است که در ادامه به جزییات خروجی ها و خدمات قابل ارائه در بستر این سامانه پرداخته خواهد شد.

## اجزای اصلی رابط کاربری

### پنل اصلی

پنل اصلی سامانه به عنوان هسته مرکزی و رابط کاربری سیستم طراحی شده است که دسترسی به تمامی قابلیت‌های کلیدی را فراهم می‌آورد. این پنل از بخش‌های مختلفی تشکیل شده که هر یک نقش حیاتی در کارایی سامانه ایفا می‌کنند.

پنل نمایش نقشه و تصاویر بخش اصلی و مرکزی این رابط کاربری را تشکیل می‌دهد که امکان مشاهده و تحلیل داده‌های مکانی را فراهم می‌سازد. در این بخش کاربران می‌توانند تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌های کشاورزی و لایه‌های اطلاعاتی مختلف را با قابلیت زوم و جابجایی و جست و جو مشاهده نمایند. این نمایشگر از قابلیت‌های پیشرفته‌ای مانند تغییر شفافیت لایه‌ها، نمایش همزمان چندین لایه و جستجو مناطق برخوردار است.

نوار ابزار در کنار یا داخل پنل نمایش نقشه قرار گرفته و شامل مجموعه‌ای از ابزارهای کاربردی برای کار با نقشه می‌باشد. این ابزارها شامل امکان اندازه‌گیری مساحت و طول، ترسیم اشکال مختلف، علامت‌گذاری نقاط خاص، جستجوی موقعیت‌های جغرافیایی، راهنما و کنترل نمایش لایه‌ها است. طراحی این نوار به گونه‌ای است که دسترسی سریع به پرکاربردترین عملکردها را ممکن می‌سازد.

نوار ماژول‌ها در بخش دیگری از صفحه قرار دارد و دسترسی به بخش‌های تخصصی سامانه را مدیریت می‌کند. این نوار شامل آیکون‌هایی برای دسترسی به ماژول‌های مختلف مانند هواشناسی، شاخص ها، توصیه ها، گزارش گیری و افزودن و حذف لایه های پایه و افزوده شده توسط کاربر است. هر ماژول با کلیک بر روی آیکون مربوطه در یک پنل جداگانه یا به صورت پنجره ی باز شونده، نمایش داده می‌شود.

دکمه‌های هدایت باید طوری طراحی و پیاده سازی شوند که امکان جابجایی بین بخش‌های اصلی سامانه را فراهم ‌کنند. این دکمه‌ها شامل دسترسی به داشبورد مرکزی که خلاصه‌ای از اطلاعات مهم را نمایش می‌دهد، این داشبورد قابل دسترسی برای همه کاربران می باشد و خلاصه اطلاعات و آمار (وضعیت های جاری و پیش بینی های هواشناسی، تعداد کاربران، مساحت اراضی تحت پایش، کشت های غالب و شاخص ها) را انجام می دهد. پروفایل کاربری برای مدیریت تنظیمات شخصی، بخش ثبت زمین‌های جدید و ویرایش اطلاعات زمین‌های موجود می‌باشد. طراحی این بخش به گونه‌ای است که کاربر بتواند به سرعت بین بخش‌های مختلف سامانه جابجا شود.

بخش ثبت زمین و اطلاعات آن یکی از اجزای حیاتی پنل اصلی محسوب می‌شود که امکان تعریف زمین‌های کشاورزی جدید و مدیریت اطلاعات مربوط به آنها را فراهم می‌کند. در این بخش کاربر می‌تواند مشخصات دقیق هر زمین از جمله موقعیت جغرافیایی، مساحت، نوع خاک، تاریخ‌های کشت، نوع کشت جاری، میزان و نوع کود مورد استفاده، و نوع کشت غالب را ثبت و ویرایش نماید. این اطلاعات پایه برای تمام تحلیل‌ها و توصیه‌های سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### داشبورد مدیریتی

داشبورد مدیریتی به عنوان صفحه جامع گزارش ها و نمودار های سامانه طراحی شده است و اطلاعات کلیدی را به صورت بصری و کاربرپسند نمایش می دهد. محتوای این داشبورد به صورت هوشمند و متناسب با هر سطح کاربری (کشاورز خرد، تعاونی و کشت و صنعت، مدیران کلان) تغییر می کند و گزینه های مورد دسترسی خاص آن را نمایش می دهد.

### پنل مدیریت کاربران

پنل مدیریت کاربران، بخش اصلی برای کنترل دسترسی‌ها و تنظیمات کاربران در سامانه است. این پنل به مدیران اجازه می‌دهد کاربران جدید را ثبت کنند، سطح دسترسی آن‌ها را تعیین نمایند و اطلاعات پروفایلشان را مدیریت کنند. کاربران به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند: کشاورزان (با سطوح رایگان، نقره‌ای و طلایی)، اتحادیه‌ها و مدیران کلان. هر گروه امکانات و دسترسی‌های مخصوص به خود را دارد که توسط مدیر سیستم قابل تنظیم است. همچنین این پنل امکان مشاهده فعالیت کاربران، غیرفعال کردن حساب‌ها و ارسال پیام به کاربران را فراهم می‌کند.

در بخش دوم، پنل مدیریت کاربران امکاناتی برای شخصی‌سازی تجربه کاربری ارائه می‌دهد. مدیران می‌توانند برای هر سطح کاربری مشخص کنند به چه بخش‌هایی از سامانه دسترسی داشته باشد و چه اطلاعاتی را ببیند. کاربر در هر سطحی که باشد با توجه به امکانات و قابلیت هایی که در آن سطح تعریف شده است می تواند شخصی سازی های خود را انجام دهد مانند انتخاب روش تحلیل سری های زمانی و نوع شاخص ها، بازه زمانی پیش بینی، فرمت دریافت و نمایش داده ها و خروجی ها و لایه های مدنظر برای نمایش. سیستم ثبت نام و ورود به سامانه نیز در این بخش مدیریت می‌شود که شامل تایید حساب کاربری، بازیابی رمز عبور است. این پنل به سادگی و با رابط کاربری روان طراحی شده تا مدیران بدون نیاز به دانش فنی پیچیده بتوانند کاربران را مدیریت کنند.

## آیکون های پنل اصلی سامانه

### پروفایل

این بخش امکان مدیریت اطلاعات شخصی کاربران را فراهم می‌کند. کشاورزان می‌توانند مشخصات فردی، اطلاعات مزارع، سوابق کشت و سطح اشتراک خود را در این قسمت مشاهده و ویرایش کنند. همچنین، تاریخچه فعالیت‌ها و تنظیمات سفارشی‌سازی سیستم در این بخش قابل دسترسی است تا تجربه کاربری شخصی‌سازی‌شده‌ای ارائه شود.

### دسترسی داشبورد

آیکون دسترسی به داشبورد که مرکز کنترل اصلی سامانه است که مهم‌ترین اطلاعات را به صورت خلاصه و گرافیکی نمایش می‌دهد. کاربران می‌توانند وضعیت فعلی مزارع، هشدارها، توصیه‌های فوری و گزارش‌های هواشناسی را در یک نگاه مشاهده کنند. در این بخش ماژول‌ها قابل تنظیم است تا هر کاربر بر اساس نیاز خود اطلاعات کلیدی را پیگیری کند.

### هواشناسی

این بخش داده‌های هواشناسی دقیق و کاربردی را ارائه می‌دهد، از جمله دمای هوا، رطوبت، سرعت باد، و پیش‌بینی بارش‌ها. اطلاعات به صورت ساعتی، روزانه و فصلی نمایش داده می‌شوند و با نمودارهای تعاملی همراه هستند تا کاربران بتوانند برنامه‌ریزی دقیق‌تری برای فعالیت‌های کشاورزی خود داشته باشند.

### هشدارها

سیستم هشدار هوشمند، کاربران را از خطرات احتمالی مانند یخبندان، خشکسالی، یا شیوع آفات آگاه می‌سازد. هشدارها بر اساس تحلیل داده‌های واقعی و پیش‌بینی‌ها تولید می‌شوند و از طریق اعلان‌های درون‌برنامه‌ای به کاربران اطلاع‌رسانی می‌کنند تا اقدامات لازم را به موقع انجام دهند.

### ثبت فعالیت‌های روزانه

کشاورزان می‌توانند فعالیت‌های روزانه خود مانند آبیاری، کوددهی، سمپاشی و برداشت را در این بخش ثبت کنند. این اطلاعات در گزارش‌های تحلیلی و برنامه‌ریزی‌های آینده مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، امکان افزودن یادداشت‌های شخصی و عکس‌های مستندسازی وجود دارد.

### توصیه‌ها

سیستم هوشمند سامانه بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده، توصیه‌های عملیاتی مانند زمان مناسب آبیاری، مقدار مصرف کود، یا نیاز به سموم را ارائه می‌دهد. این توصیه‌ها متناسب با نوع محصول، شرایط خاک و آب‌وهوا شخصی‌سازی شده‌اند و به صورت روزانه به روزرسانی می‌شوند.

### راهنمای کاربر

این بخش شامل آموزش‌های گام‌به‌گام و پاسخ به پرسش‌های متداول است تا کاربران بتوانند به راحتی با امکانات سامانه آشنا شوند. راهنمای تعاملی به کاربران کمک می‌کند تا از تمام قابلیت‌های سامانه به بهترین شکل استفاده کنند.

### شاخص‌ها

شاخص‌های سلامت گیاهان (مانند NDVI)، رطوبت خاک، و سایر پارامترهای کلیدی در این بخش نمایش داده می‌شوند. کاربران می‌توانند روند تغییرات این شاخص‌ها را در بازه‌های زمانی مختلف بررسی کنند و از آن‌ها برای ارزیابی وضعیت مزارع خود استفاده نمایند.

### ابزار جستجوی مکان

این ابزار به کاربران امکان می‌دهد تا موقعیت جغرافیایی مزارع خود را بر روی نقشه پیدا کرده و اطلاعات مربوط به آن منطقه را دریافت کنند. جستجو بر اساس نام منطقه، مختصات جغرافیایی یا جابجایی دستی نقشه انجام می‌شود و نتایج با دقت بالا نمایش داده می‌شوند.

### ابزارهای ترسیم

این ابزار به کاربران امکان می‌دهد مرزهای دقیق مزارع، بخش‌های مختلف کشت و مناطق خاص را روی نقشه ترسیم کنند. با قابلیت‌های مختلفی مانند رسم خطوط، چندضلعی‌ها و نقاط علامت‌گذاری، کاربران می‌توانند اطلاعات مکانی خود را به‌صورت دقیق ثبت و مدیریت نمایند. این ویژگی به ویژه برای برنامه‌ریزی کشت، محاسبه مساحت و مدیریت بخش‌های مختلف مزرعه بسیار کاربردی است.

### ابزار اندازه‌گیری

ابزار اندازه‌گیری به کشاورزان اجازه می‌دهد مساحت زمین‌ها، فاصله بین نقاط مختلف را با دقت بالا محاسبه کنند. این قابلیت با استفاده از نقشه‌های دقیق و سیستم‌های مختصات‌دهی، اطلاعاتی حیاتی برای برنامه‌ریزی کشاورزی، طراحی سیستم‌های آبیاری و مدیریت منابع فراهم می‌کند.

### زوم (+/-)

امکان زوم کردن روی نقشه به کاربران کمک می‌کند تا جزئیات دقیق‌تری از مزارع خود مشاهده کنند. این ابزار با حفظ کیفیت تصاویر در سطوح مختلف بزرگنمایی، امکان بررسی دقیق مناطق خاص، شناسایی مشکل‌ها و برنامه‌ریزی دقیق‌تر را فراهم می‌سازد. کاربران می‌توانند به راحتی بین نمای کلی و نمای دقیق جابجا شوند.

### لایه‌ها

سیستم لایه‌بندی امکان نمایش یا مخفی کردن انواع مختلف اطلاعات روی نقشه را فراهم می‌کند. کاربران می‌توانند لایه‌هایی مانند تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های گیاهی، نقشه‌های خاک و اطلاعات هواشناسی را به دلخواه فعال یا غیرفعال کنند. این ویژگی به تحلیل بهتر داده‌ها و تصمیم‌گیری‌های آگاهانه کمک شایانی می‌نماید.

### جزئیات محصول

این بخش اطلاعات جامعی درباره محصولات کشت‌شده ارائه می‌دهد، از جمله نوع محصول، تاریخ کشت و نوع کشت، کاربران می‌توانند برای هر محصول یادداشت‌های شخصی اضافه کنند و تاریخچه کامل رشد آن را پیگیری نمایند. این اطلاعات برای مدیریت بهینه محصولات و برنامه‌ریزی فصل کشت بعدی بسیار ارزشمند است.

### تصاویر دردسترس

در این بخش کاربران به آرشیو تصاویر ماهواره‌ای و هوایی مزارع خود دسترسی دارند. تصاویر بر اساس تاریخ و منبع طبقه‌بندی شده‌اند و امکان مقایسه تصاویر در بازه‌های زمانی مختلف وجود دارد. این قابلیت به کشاورزان کمک می‌کند تغییرات مزرعه خود را در طول زمان بررسی و تحلیل کنند.

### تاریخ تصویر نمایش داده شده

این ابزار تاریخ دقیق تصویر فعلی نمایش‌داده‌شده روی نقشه را نشان می‌دهد. با امکان جستجو در تاریخ‌های مختلف، کاربران می‌توانند تصاویر تاریخی مزرعه خود را مشاهده و روند تغییرات را بررسی کنند. این اطلاعات برای تحلیل‌های بلندمدت و ارزیابی اثرات اقدامات مدیریتی بسیار مفید است.

### آیکون ایجاد زمین جدید

این آیکون ساده اما کاربردی به کشاورزان امکان می‌دهد زمین‌های جدیدی را به پروفایل خود اضافه کنند. با کلیک بر روی این آیکون، کاربر می‌تواند مراحل تعریف زمین جدید شامل نامگذاری، تعیین موقعیت جغرافیایی و ثبت مشخصات اولیه (مانند اطلاعاتی مانند منبع تآمین آب، کشت فعلی، کشت غالب و میزان برداشت) را انجام دهد. این ویژگی مدیریت چندین مزرعه را برای کاربران تسهیل می‌نماید و همچنین اطلاعات اولیه مربوط به زمین را از کشاورز دریافت می‌کند.

### پنل نمایش نقشه و تصاویر ماهواره‌ای

این بخش هسته مرکزی سیستم نمایش اطلاعات مکانی در سامانه را تشکیل می‌دهد. کاربران می‌توانند با استفاده از این پنل، نقشه‌های دقیق مزارع خود را همراه با آخرین تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت بالا مشاهده کنند. این پنل از چندین منبع تصویری (تصاویر ماهواره‌ ای و شاخص ها و نقشه های پایه ماهواره ای و برداری) پشتیبانی می‌کند و امکان نمایش همزمان لایه‌های اطلاعاتی مختلف مانند شاخص‌های گیاهی، مناطق مشکل‌دار و نقاط را فراهم می‌سازد. قابلیت زوم و نمایش جزئیات تا سطح گیاهان منفرد، این پنل را به ابزاری مناسب برای پایش دقیق مزارع تبدیل کرده است.

### راهنمای نقشه

در این بخش اطلاعات نمایشی لایه ها به صورت شماتیک معرفی می شود که به کاربران در تفسیر نقشه‌ها ، تصاویر و شاخص ها کمک قابل توجهی می نماید.

## خروجی های سامانه برای کشاورزان

### ابزار ترسیم برای معرفی مزرعه توسط کشاورز

این ابزار به کشاورزان امکان می‌دهد مرزهای دقیق مزارع خود را بر روی نقشه ترسیم و تعریف کنند. با استفاده از ابزارهای ترسیم پیشرفته، کاربران می‌توانند شکل زمین، مساحت دقیق و موقعیت جغرافیایی مزرعه خود را مشخص نمایند. این اطلاعات پایه‌ای برای تمامی تحلیل‌ها و خدمات بعدی سامانه استفاده می‌شود و به سیستم کمک می‌کند تحلیل‌های دقیق‌تری ارائه دهد.

### پنل ثبت اطلاعات محصول و فعالیت‌ها

این بخش به کشاورزان اجازه می‌دهد اطلاعات کامل درباره محصولات کشت شده، نوع کشت، تاریخ‌های مهم (کاشت، داشت، برداشت) و تجهیزات مورد استفاده را ثبت کنند. با ثبت این اطلاعات، سامانه می‌تواند تحلیل‌های شخصی‌سازی شده و توصیه‌های متناسب با شرایط هر مزرعه را ارائه دهد. این پنل همچنین امکان ثبت روزانه فعالیت‌ها و مشاهده تاریخچه کشت را فراهم می‌کند.

### سطح پایه

این سطح خدماتی رایگان، دسترسی اولیه به امکانات سامانه را برای تمامی کشاورزان فراهم می‌کند. کاربران می‌توانند شاخص‌های کلیدی مانند NDVI (شاخص سلامت گیاهان) و داده‌های رطوبت را مشاهده کنند. این اطلاعات پایه به کشاورزان کمک می‌کند تا درک اولیه‌ای از وضعیت مزرعه خود داشته باشند و تصمیمات مدیریتی ساده‌تری اتخاذ نمایند.

* داده‌های هواشناسی پایه

سامانه در این سطح اطلاعات هواشناسی اساسی شامل دمای روزانه، میزان بارش و رطوبت نسبی را ارائه می‌دهد. این داده‌ها به صورت روزانه به‌روزرسانی شده و به کشاورزان کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی اولیه‌ای برای فعالیت‌های روزمره خود داشته باشند. نمایش این اطلاعات به صورت نمودارهای ساده و قابل فهم طراحی شده است.

* توصیه‌های عمومی کشاورزی

بر اساس داده‌های منطقه‌ای جمع‌آوری شده، سامانه توصیه‌های کلی مانند زمان تقریبی کاشت و برداشت و اقدامات لازم جهت جلوگیری از آسیب را ارائه می‌دهد. این توصیه‌ها اگرچه عمومی هستند، اما می‌توانند راهنمای خوبی برای کشاورزان در مدیریت مزارع باشند. دقت این توصیه‌ها با در دسترس بودن داده‌های بیشتر افزایش می‌یابد.

* نمایش سری زمانی پارامترهای منتخب

کاربران در این سطح می‌توانند روند تغییرات پارامترهای مهم مانند NDVI یا رطوبت خاک را در بازه‌های زمانی مشخص (مثلاً یک ماه گذشته) مشاهده کنند. این قابلیت به کشاورزان کمک می‌کند تا تغییرات وضعیت مزرعه خود را پیگیری کرده و الگوهای رشد محصول را بهتر درک نمایند. نمودارهای ساده و خطی برای نمایش این اطلاعات استفاده شده‌اند.

### سطح متوسط

اشتراک نقره‌ای سطح متوسطی از خدمات پیشرفته را ارائه می‌دهد که برای کشاورزانی که علاقمند به دریافت خدمات پیشرفته تری نسبت به سطح رایگان هستند، مناسب است. در این سطح، کاربران علاوه بر امکانات اشتراک رایگان، به تحلیل‌های عمیق‌تر و ابزارهای کاربردی‌تری دسترسی خواهند داشت که مدیریت مزرعه را بهینه‌تر می‌کند.

* شاخص‌های پیشرفته گیاهی و خاکی

در این سطح تعداد و دقت شاخص‌های تحلیلی به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. علاوه بر NDVI پایه، شاخص‌های تخصصی‌تری مانند LAI (شاخص سطح برگ)، شاخص کلروفیل، شوری و خشکسالینیز ارائه می‌شوند. این شاخص‌ها امکان بررسی دقیق‌تر وضعیت فیزیولوژیکی گیاهان و کیفیت خاک را فراهم می‌کنند. مزیت بهره گیری از این شاخص ها می تواند در ترکیب با لایه های ورودی دیگر در مدلسازی های و آشکارسازی تنش در مزرعه باشند.

* پایش سلامت محصولات

سیستم در این سطح سلامت محصولات را پایش می‌کند. پایش سلامت با بهره گیری از ترکیب داده های سنجش از دور و تولید شاخص ها در یک مدت زمان طولانی بیشتر از 1 سال و پایش وضعیت شاخص های گیاهی در طول این مدت ممکن می شود. این پایش امکان شناسایی سریع‌تر مشکلات و واکنش به موقع را به کشاورز می‌دهد. تغییرات نامطلوب در رشد گیاهان سریع‌تر تشخیص داده شده و گزارش می‌شوند.

* پیش‌بینی‌های هواشناسی کوتاه و میان‌مدت

برخلاف سطح رایگان که فقط داده‌های فعلی را ارائه می‌نماید، در این سطح پیش‌بینی‌های هواشناسی برای 3 تا 7 روز آینده با دقت بالاتر در دسترس است. این پیش‌بینی‌ها شامل پارامترهای تخصصی‌تر مانند سرعت باد، رطوبت پیش‌بینی شده و شاخص‌های تبخیر و تعرق می‌شوند. در حال حاضر با بهره گیری از API هایی (مانند Open-Meteo و Meteostat) که داده های پیش بینی را به طور رایگان و البته با رعایت محدودیت درخواست در بازه های زمانی 1 روز تا 3 ماه، این امر میسر می باشد.

* سیستم هشدارهای هوشمند

این سامانه در سطح نقره‌ای قادر است هشدارهای پیش‌گیرانه‌ای مانند احتمال یخبندان، موج گرما یا بارش‌های شدید را 24 تا 48 ساعت قبل اعلام کند. این هشدارها همراه با توصیه‌های عملی برای کاهش خسارات ارائه می‌شوند.

* تحلیل استرس گیاهی

با استفاده از ترکیب شاخص‌های مختلف گیاهی مانند NDVI و LAI، سیستم قادر است تشخیص دهد که گیاه دچار استرس‌های گیاهی شده است. استرس به هر گونه انحراف رشد گیاه از شرایط نرمال و مورد انتظار خود را شامل می شود. این تحلیل‌ها به صورت نقشه‌های رنگی و نمودار‌های تحلیلی ارائه می‌شوند که مناطق مشکل‌دار مزرعه را به وضوح نشان می‌دهند.

### سطح پیشرفته

اشتراک طلایی جامع‌ترین بسته خدماتی سامانه را ارائه می‌دهد که با ترکیب هوش مصنوعی و دانش کشاورزی، مدیریت کاملاً هوشمند مزرعه را ممکن می‌سازد. این سطح شامل پیشرفته‌ترین ابزارهای تحلیل و پیش‌بینی است که مخصوص کشاورزان پیشرو و کشت‌های صنعتی طراحی شده است.

* تحلیل های تخصصی هوشمند

سامانه در این سطح تحلیل های اختصاصی بر اساس شرایط خاص هر مزرعه ارائه می‌دهد. این تحلیل ها توسط سیستم‌های خبره تولید می‌شوند و مواردی مانند تحلیل شاخص ها و رطوبت و استرس گیاهی را پوشش می‌دهند. این توصیه‌ها به صورت ماهانه به‌روزرسانی می‌شوند. در این حالت با سفارشی سازی هوش مصنوعی که آنرا مختص ارائه تحلیل های هوشمند کشاورزی سازد و با دادن ورودی هایی مانند شاخص ها، رطوبت و استرس گیاهی، تحلیل های اختصاصی قابل دریافت است.

* پیش‌بینی‌های هواشناسی بلندمدت

در این سطح، پیش‌بینی‌های فصلی و ماهانه هواشناسی با دقت مناسب ارائه می‌شود. این پیش‌بینی‌ها شامل الگوهای بارشی، دوره‌های خشکی، احتمال بروز یخبندان‌های دیررس و سایر پارامترهای حیاتی برای برنامه‌ریزی بلندمدت کشاورزی است.

* پردازش تصاویر و افزایش وضوح

سیستم قادر است تصاویر ماهواره‌ای را با الگوریتم‌های پیشرفته پردازش کند و به رزولوشن بسیار بالایی برساند. این قابلیت امکان افزایش وضوح تصاویر ماهواره سنتینل2 از 60متر و 20 متر به 10 متر و سپس به 5متر را فراهم می‌کند و تشخیص دقیق‌تر فیزیولوژیکی گیاهان را ممکن می‌سازد. تصاویر پردازش شده با دقت 2تا 12 برابر بیشتر از سطوح پایین‌تر در اختیار کاربر قرار می‌گیرد.

### خروجی های سامانه برای تعاونی ها و اتحادیه ها

* قابلیت ورود داده با فرمت‌های برداری و تصویری

سیستم امکان آپلود و پردازش داده‌های مکانی را در قالب فرمت‌های مختلف برداری(مانند Shapefile، GeoJSON ) و تصویری (مانند GeoTIFF، JPEG2000 )فراهم می‌کند. این ویژگی به مدیران اجازه می‌دهد نقشه‌های طرح‌های کشت، مناطق تحت پوشش و سایر اطلاعات مکانی را مستقیماً به سامانه منتقل کنند. داده‌های واردشده به‌صورت خودکار به اطلاعات موجود در سیستم اضافه شده و در تحلیل‌های مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این قابلیت به ویژه برای به‌روزرسانی اطلاعات منطقه‌ای و برنامه‌ریزی‌های کلان بسیار ارزشمند است.

* تحلیل مقایسه‌ای مزارع

این ابزار به اتحادیه‌ها امکان می‌دهد عملکرد مزارع تحت پوشش خود را بر اساس شاخص‌های کلیدی مانند عملکرد در واحد سطح، کیفیت محصول، و بهره‌وری منابع مقایسه کنند. با شناسایی بهترین روش‌های کشت در منطقه، اتحادیه‌ها می‌توانند الگوهای موفق را ترویج داده و دانش فنی را بین اعضا به اشتراک بگذارند. این تحلیل‌ها به صورت نقشه‌های گرمایی و نمودار‌های آماری ارائه می‌شوند.لازم به ذکر است که این کاربرد به ورود اطلاعات کافی توسط کشت و صنعت نیاز دارد.

* گزارش‌های مدیریت منابع

سامانه با در اختیار داشتن داده های میزان مصرف آب، کود، و سایر نهاده‌ها در سطح منطقه، این امکان را خواهد داشت که نمودار های تحلیلی از الگوی مصرف منابع ارائه می‌دهد. این نمودارها به اتحادیه‌ها کمک می‌کند برنامه‌های بهینه‌سازی مصرف را طراحی کرده و از اتلاف منابع جلوگیری کنند. همچنین امکان شناسایی مزارع با مصرف غیربهینه و ارائه راهکارهای اصلاحی وجود دارد.

### خروجی ها برای سطوح مدیریت کلان و سیاستگذاری

* نمودار ها، نقشه ها و جدول ها ی مدیریت کلان

این بخش یک نمای جامع و لحظه‌ای از شاخص‌های کلان کشاورزی از داده های کشاورزی سطح استان یا کشور ارائه می‌دهد. مدیران ارشد می‌توانند از طریق این داشبوردهای تعاملی، اطلاعاتی مانند سطح زیرکشت، پیش‌بینی تولید (بر اساس وارد کردن اطلاعات تولید سال های گذشته و تلفیق آن با شاخص ها و داده های بارش و خشکسالی)، مصرف منابع آبی و شاخص‌های بهره‌وری را در قالب نقشه‌ها، نمودارها و جدول‌های پویا مشاهده نمایند. این ابزار امکان تحلیل روندهای کلان و مقایسه عملکرد مناطق مختلف را فراهم می‌سازد و به تصمیم‌گیری‌های استراتژیک کمک می‌کند.

* گزارش‌های سیاستگذاری

سامانه داده‌های سطح زیرکشت سال‌های گذشته و الگوهای مصرف که توسط کاربر بارگذاری شده اند، همچنین آمار جمعیتی و شرایط اقلیمی را به عنوان ورودی های تحلیل ترکیبی می گیرد و نمودارهای تخصصی برای گزارش های سیاستگذاری تولید می‌کند. این خروجی‌ها به برنامه‌ریزی برای ذخایر استراتژیک، تنظیم بازار و تخصیص بهینه منابع کمک شایانی می‌نماید.

* پایش امنیت غذایی

سیستم با استفاده از داده هایی که از قبل بارگذاری شده است و تمرکز بر محصولات استراتژیک مانند گندم، برنج و جو، امکان پایش مستمر امنیت غذایی را فراهم می‌کند. این بخش شامل پیش‌بینی تولید این محصولات می‌شود. این تحلیل‌ها به مسئولان کمک می‌کند تا برنامه‌های حمایتی هدفمند و سیاست‌های تنظیم بازار را به موقع طراحی و اجرا نمایند. پایش امنیت غذایی در سطح کلان انجام می شود که ورودی های آن علاوه بر داده های سنجش از دوری و هواشناسی، شامل داده های وارد شده توسط کاربر مانند میزان تولیدات کشاورزی، نوع محصول، مساحت اراضی آبی و دیم و تعداد کشاورزان می باشند.

جدول 1: مراحل اجرایی و شرح خدمات فازهای اجرایی سه گانه

|  |  |
| --- | --- |
| مرحله | شرح فعالیت‌ها |
| [نیازسنجی و تحلیل](#_نیازمندی_های_فنی) | [بررسی نیازهای کاربران (کشاورزان، اتحادیه‌ها، سطوح مدیریتی)](#_نیازمندی_های_فنی)  [شناسایی، تعریف و اولویت بندی دقیق اهداف](#_تعریف_و_اولویت)  [نیازمندی‌های فنی](#_نیازمندی_های_فنی)  [خروجی ها و خدمات قابل ارائه در قالب بخشهای مختلف سامانه به مشتریان در سطوح مختلف](#_خروجی_های_سامانه)  تعریف فازهای اجرایی سه گانه برای پوشش نیازمندی ها، خدمات و خروجی ها  تعیین معماری، تکنولوژی و نحوه اجرا متناسب با فازهای مختلف  بررسی، شناسایی و ارزیابی محصولات مشابه داخلی و خارجی و مقایسه نقاط قوت و ضعف  متناسب با قابلیت ها و خروجی های فازهای مختلف سامانه هدف  تدوین برنامه زمانی و بودجه ریزی به تفکیک هر فاز در قالب نفر/ماه کارشناسی به تفکیک  تخصص‌های مورد نیاز در یک افق 18 ماهه برای فازهای بعدی  ارائه پیشنهادات خلاقانه توسعه ای آتی |
| ایجاد نسخه پایه سامانه و مرحله یکم گسترش ویژگی‌های سامانه | توسعه نسخه اولیه سامانه پایه شامل ویژگی‌های پایه: [پنل نمایش نقشه و تصاویر](#_پنل_نمایش_نقشه)، [پروفایل کاربری](#_پروفایل)، [داشبورد در حالت قفل](#_داشبورد)، [آیکون نمایش داده های هواشناسی](#_هواشناسی)، [هشدارها در حالت قفل](#_هشدارها)، [امکان ثبت فعالیت های روزانه توسط کشاورز](#_ثبت_فعالیت‌های_روزانه)، [توصیه ها در حالت قفل](#_توصیه‌ها)، [تصاویر در دسترس در خالت قفل](#_تصاویر_دردسترس)، [راهنمای کاربر](#_راهنمای_کاربر)، [آیکون شاخص ها](#_شاخص‌ها)، [ابزار جستجوی مکان](#_ابزار_جستجوی_مکان)، [ابزار ترسیم،](#_ابزارهای_ترسیم) [ابزار اندازه گیری](#_ابزار_اندازه‌گیری)، [زوم+/-](#_زوم_(+/-))، [آیکون لایه ها](#_آیکون_ایجاد_زمین)، [راهنمای نقشه](#_راهنمای_نقشه)، [آیکون ایجاد زمین جدید برای گرفتن اطلاعات زمین](#_آیکون_ایجاد_زمین) [شاخص‌های مرسوم کشاورزی](#_شاخص‌ها)  [دسترسی به داده‌های پایه هواشناسی](#_داده‌های_هواشناسی_پایه)  [نمایش تصاویر ماهواره ای](#_پنل_نمایش_نقشه) ایجاد سطح [اشتراک رایگان](#_اشتراک_رایگان_(سطح)، [نقره‌ای](#_اشتراک_نقره‌ای) و [طلایی](#_اشتراک_طلایی_-) برای کشاورزان  [نمودار های سری زمانی](#_نمایش_سری_زمانی)  [بهبود ابزار ترسیم برای معرفی مزرعه توسط کشاورز](#_ابزارهای_ترسیم) [بهبود پنل ثبت اطلاعات محصول و فعالیت‌ها](#_جزئیات_محصول) |
| مرحله دوم گسترش ویژگی‌های سامانه | [ابزار های ورود داده های مدیریتی](#_قابلیت_ورود_داده)  [سطح کاربری کشت و صنعت](#_خروجی_های_سامانه_1)  [سطح کاربری مدیران کلان](#_خروجی_ها_برای)  راه اندازی داشبورد گزارش گیری [باز شدن دکمه تصاویر دردسترس](#_تصاویر_دردسترس)  [پیش‌بینی‌های هواشناسی کوتاه و میان مدت](#_پیش‌بینی‌های_هواشناسی_کوتاه)  [شاخص‌های بایوفیزیکی](#_شاخص‌های_پیشرفته_گیاهی) [شاخص سلامت محصول](#_پایش_سلامت_محصولات)  [شاخص های مبتنی بر مدل های فیزیکی](#_شاخص‌های_پیشرفته_گیاهی) [هشدار های هواشناسی](#_سیستم_هشدارهای_هوشمند)  [توصیه های متناسب با منطقه کشاورزی](#_توصیه‌های_عمومی_کشاورزی)  [امکان تولید نمودار های مدیریت منابع میزان مصرف آب و کود و سایر نهاده ها](#_گزارش‌های_مدیریت_منابع)  [امکان تولید نمودار ها و نقشه های عملکرد،بهره وری و روش کشت](#_تحلیل_مقایسه‌ای_مزارع) |
| مرحله سوم گسترش ویژگی‌های سامانه ایجاد سیستم های تحلیل گر و تبدیلات سوپر رزولوشن توسط هوش مصنوعی | [ایجاد قابلیت های پیچیده داشبورد](#_داشبوردهای_مدیریتی) پشتیبانی از زبان انگلیسی  [سیستم تحلیل خودکار با هوش مصنوعی](#_تحلیل_های_تخصصی) [امکان پردازش تصاویر به رزولوشن بهتر(سوپر رزولوشن)](#_پردازش_تصاویر_و) [امکان بارگذاری تصاویر با رزولوشن بالاتر](#_قابلیت_ورود_داده)  [امکان تولید نمودارهای محصولات استراتژیک](#_پایش_امنیت_غذایی)  [شناسایی مناطق مستعد کشت](#_پایش_امنیت_غذایی)  [امکان تولید نمودار های تخصصی برای گزارش های سیاستی](#_گزارش‌های_سیاستگذاری)  [امکان تولید نمودار ها و نقشه‌‍‌های سطح زیرکشت ، پیش بینی تولید، مصرف منابع آبی، بهره وری](#_تحلیل_مقایسه‌ای_مزارع)  [امکان تولید نمودار مقایسه ای سطح زیر کشت فعلی و سال های قبل](#_گزارش‌های_سیاستگذاری) |
| آزمون نهایی و بهینه‌سازی | آزمایش سامانه نهایی آزمایش تمام ویژگی‌ها  رفع مشکلات امنیتی و بهبود  امکان آنالیز های سفارشی کارفرما |
| پیاده‌سازی نهایی و تحویل | تحویل نسخه نهایی به کاربران و ارائه مستندات فنی و آموزشی |

# منابع

Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., Brevdo, E., Chen, Z., Citro, C., ... & Ghemawat, S. (2016). TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems. *arXiv preprint arXiv:1603.04467*.

Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. O'Reilly Media, Inc.

Dean, J., & Ghemawat, S. (2008). MapReduce: Simplified data processing on large clusters. *Communications of the ACM, 51*(1), 107-113.

Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal, 5*(5), 3758-3773.

Ferraiolo, D. F., Kuhn, D. R., & Chandramouli, R. (2007). *Role-based access control*. Artech House.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Rome: FAO.

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science, 327*(5967), 812-818.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment, 202*, 18-27.

Haber, C. (2017). *Learning Vue.js 2*. Packt Publishing.

Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2015). The rise of “big data” on cloud computing: Review and future directions. *International Journal of Information Management, 35*(1), 1-15.

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture, 147*, 70-90.

Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2021). *Computer networking: A top-down approach* (8th ed.). Pearson.

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature, 521*(7553), 436-444.

McKinney, W. (2012). *Python for data analysis: Data wrangling with Pandas, NumPy, and IPython*. O'Reilly Media, Inc.

Merkel, D. (2014). Docker: Lightweight Linux containers for consistent development and deployment. *Linux Journal, 2014*(239), 2.

Nemeth, E., Snyder, G., Hein, T. R., & Whaley, B. (2010). *UNIX and Linux system administration handbook* (4th ed.). Prentice Hall.

Newman, S. (2015). *Building microservices: Designing fine-grained systems*. O'Reilly Media, Inc.

Nielsen, J. (2012). *Usability 101: Introduction to usability*. Nielsen Norman Group.

Obe, R. O., & Hsu, L. S. (2021). *PostGIS in action* (3rd ed.). Manning Publications.

Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., ... & Chintala, S. (2019). PyTorch: An imperative style, high-performance deep learning library. In *Advances in Neural Information Processing Systems 32* (pp. 8026-8037).

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Dubourg, V. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research, 12*, 2825-2830.

Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy, 67*, 1-85.

Saha, A. K., Saha, J., & Ray, R. (2018). A review on architecture and functionalities of smart farming. In *2018 4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)* (pp. 1-5). IEEE.

Sherman, G. (2012). *Desktop GIS: Mapping the planet with open source tools*. The Pragmatic Bookshelf.

Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2020). *Database system concepts* (7th ed.). McGraw-Hill.

Tanenbaum, A. S., & Van Steen, M. (2017). *Distributed systems: Principles and paradigms* (3rd ed.). Pearson.

Van der Walt, S., Colbert, S. C., & Varoquaux, G. (2011). The NumPy array: A structure for efficient numerical computation. *Computing in Science & Engineering, 13*(2), 22-30.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture, 36*(2-3), 113-132.

# فصل چهارم بررسی، شناسایی و ارزیابی محصولات مشابه داخلی و خارجی و مقایسه نقاط قوت و ضعف متناسب با قابلیتها و خروجی های فاز های مختلف سامانه هدف

## مقدمه

امروزه سامانه‌های متنوعی با قابلیت‌های گسترده در حوزه کشاورزی هوشمند توسعه یافته‌اند که هر یک بر جنبه‌های خاصی مانند پایش محصولات، مدیریت منابع یا تحلیل بازار تمرکز دارند. با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در این فناوری‌ها، بسیاری از این سامانه‌ها هنوز نتوانسته‌اند به طور کامل پاسخگوی نیازهای متنوع کاربران باشند. برخی از این سیستم‌ها صرفاً بر اساس نیازهای جهانی طراحی شده‌اند و از توجه به الزامات بومی و منطقه‌ای غفلت کرده‌اند، در حالی که دیگر سامانه‌ها نیز ممکن است از نظر فناورانه یا عملکردی دارای محدودیت‌هایی باشند که کارایی آن‌ها را کاهش می‌دهد.

علاوه بر این، تفاوت‌های اقلیمی، نوع محصولات کشاورزی و روش‌های مدیریتی در هر منطقه، نیازمند راهکارهای سفارشی‌شده است. برای مثال، سامانه‌های خارجی که برای کشاورزی در اروپا یا آمریکا طراحی شده‌اند، ممکن است نتوانند به خوبی نیازهای کشاورزان ایرانی را در زمینه مدیریت آب یا کشت محصولات خاص پوشش دهند. از سوی دیگر، سامانه‌های داخلی نیز گاهی به دلیل عدم بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته یا عدم پشتیبانی از قابلیت‌های کلیدی، با استقبال گسترده‌ای مواجه نشده‌اند.

تحلیل حاضر با هدف تدوین نقشه راه فنی و کسب‌وکاری سامانه، در سه گام اصلی انجام شده است: نخست، معرفی و ارزیابی سیستم‌های پیشرو در بازارهای جهانی و داخلی؛ دوم، مقایسه تطبیقی این سامانه‌ها بر اساس معیارهای از پیش تعریف شده؛ و سوم، تبیین مزیت‌های رقابتی سامانه هدف با توجه به نیازهای بومی و شکاف‌های موجود در محصولات فعلی. این مطالعه مقایسه‌ای نه تنها به درک بهتر فضای رقابتی کمک می‌کند، بلکه امکان طراحی راهکارهای نوآورانه و اختصاصی برای کشاورزی ایران را نیز فراهم می‌سازد.

روش شناسی این بررسی مبتنی بر تحلیل مستندات فنی، گزارش‌های کاربران و آزمون عملی سامانه‌های منتخب است. معیارهای مقایسه به گونه‌ای طراحی شده‌اند که تمامی ابعاد فنی، کاربردی و اقتصادی محصولات را پوشش دهند. نتایج این تحلیل مبنای علمی برای تصمیم‌گیری‌های کلان در مراحل طراحی و توسعه سامانه خواهد بود و تضمین می‌کند که محصول نهایی از یک سو پاسخگوی نیازهای واقعی ذینفعان داخلی است و از سوی دیگر، از استانداردهای جهانی در این حوزه عقب نمانده است.

## معیار های مقایسه و ارزیابی

### قابلیت های عملکردی و فناوری ها

سامانه‌های کشاورزی هوشمند از نظر قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌های به کار رفته در آنها با معیارهای متنوعی قابل ارزیابی هستند. یکی از مهم‌ترین این معیارها، توان پردازش تصاویر است که شامل رزولوشن تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی، نرخ بروزرسانی تصاویر (به عنوان مثال روزانه، هفتگی یا ماهانه)، و امکان پردازش تصاویر با الگوریتم‌های سوپررزولوشن برای تحلیل‌های دقیق‌تر می‌شود. همچنین، پشتیبانی از داده‌های اختصاصی مانند اطلاعات خاک، آب و هوای منطقه‌ای، و داده‌های تاریخی محصولات، نقش کلیدی در افزایش دقت تحلیل‌ها ایفا می‌کند. از دیگر قابلیت‌های حیاتی می‌توان به استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای تشخیص استرس‌های گیاهی (آبی، غذایی، بیماری‌ها)، پیش‌بینی عملکرد محصول، و ارائه توصیه‌های هوشمند کشاورزی اشاره کرد. این سیستم‌ها باید قادر باشند با تحلیل داده‌های چندمنظوره، هشدارهای هواشناسی مانند یخبندان، خشکسالی، یا بارش‌های شدید را به موقع اعلام کنند.

علاوه بر این، جامعیت معماری و قابلیت گسترش سامانه از دیگر معیارهای کلیدی هستند. یک سامانه مطلوب باید بتواند با حفظ ثبات، ماژول‌های جدید را بپذیرد و با سیستم‌های دیگر (مانند سامانه‌های مالی، مدیریت نهاده‌ها، یا پلتفرم‌های بازار) یکپارچه شود. تحلیل‌های پیشرفته مانند شبیه‌سازی رشد محصول، محاسبه شاخص‌های سلامت گیاهان (مانند NDVI، LAI)، و ارزیابی ریسک‌های محیطی نیز از ویژگی‌های متمایزکننده سامانه‌های پیشرفته محسوب می‌شوند. در نهایت، دقت و سرعت پردازش داده‌ها، همراه با رابط کاربری هوشمند و امکان شخصی‌سازی گزارش‌ها، از جمله عواملی هستند که تجربه کاربری را بهبود می‌بخشند و به کشاورزان در تصمیم‌گیری‌های سریع و دقیق کمک می‌کنند. این قابلیت‌ها در کنار هم، سامانه‌ای کارآمد و قابل اعتماد را تشکیل می‌دهند که می‌تواند نیازهای متنوع کشاورزان و ذینفعان را پوشش دهد.

### حوزه های تمرکز

سامانه‌های کشاورزی هوشمند بر اساس نیازهای متنوع بخش کشاورزی، می‌توانند بر حوزه‌های مختلفی تمرکز کنند. در حوزه مدیریت منابع و عملیات کشاورزی، این سامانه‌ها قابلیت‌هایی مانند مدیریت هوشمند آبیاری (بر اساس داده‌های رطوبت خاک و پیش‌بینی‌های هواشناسی)، مدیریت بهینه نهاده‌ها (محاسبه دقیق میزان مصرف کود و سم)، و برنامه‌ریزی استفاده از ماشین‌آلات و نیروی انسانی را ارائه می‌دهند. این ویژگی‌ها به کشاورزان کمک می‌کند تا با حداقل منابع، حداکثر بهره‌وری را داشته باشند. در حوزه پایش و تحلیل محصولات، سامانه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش‌های هوشمند، سلامت گیاهان را رصد کرده و عملکرد محصول را پیش‌بینی می‌کنند. همچنین، این سیستم‌ها می‌توانند زمان بهینه برداشت و شرایط مناسب انبارداری را تعیین نمایند تا کیفیت محصولات تا رسیدن به بازار حفظ شود.

از دیگر حوزه‌های کلیدی می‌توان به مدیریت اقتصادی و بازاریابی اشاره کرد که شامل پیش‌بینی قیمت محصولات بر اساس روند بازار، مدیریت هزینه‌های تولید و بهینه‌سازی زنجیره تأمین است. در حوزه پایش محیطی و اقلیمی، سامانه‌ها با تحلیل داده‌های خاک و آب‌وهوا، خطراتی مانند خشکسالی، یخبندان یا شیوع آفات را پیش‌بینی کرده و راهکارهای مقابله ارائه می‌دهند. حوزه یکپارچه‌سازی زنجیره ارزش نیز به ارتباط مزرعه با بازار می‌پردازد و امکان ردیابی محصول از مرحله کشت تا فروش را فراهم می‌کند. در نهایت، آموزش و پشتیبانی تصمیم با ارائه مشاوره‌های هوشمند و ایجاد پلتفرم‌های تبادل دانش، به ارتقای مهارت‌های کشاورزان کمک می‌کند. این حوزه‌های تمرکز در کنار هم، چارچوبی جامع برای توسعه سامانه‌های کشاورزی هوشمند ایجاد می‌کنند.

### جامعه هدف

جامعه هدف سامانه‌های کشاورزی هوشمند طیف گسترده‌ای از ذینفعان را در بر می‌گیرد که هر کدام نیازها و انتظارات خاصی از سیستم دارند. در سطح اول، کشاورزان خرده‌پا و عمده به عنوان اصلی‌ترین کاربران این سامانه‌ها مطرح هستند که نیازمند راهکارهای عملی برای مدیریت روزانه مزارع، پایش محصولات و دریافت توصیه‌های فنی می‌باشند. این گروه معمولاً به راهکارهای ساده، کم‌هزینه و کاربرپسند با پشتیبانی از زبان محلی نیاز دارند. در سطح بعدی، کشت و صنعت‌ها و تعاونی‌های کشاورزی قرار دارند که به دنبال ابزارهای جامع‌تر برای مدیریت چندین مزرعه، تحلیل‌های مقایسه‌ای و برنامه‌ریزی منابع در مقیاس بزرگ هستند. این کاربران به قابلیت‌های پیشرفته‌تری مانند مدیریت یکپارچه نهاده‌ها، برنامه‌ریزی نیروی انسانی و تحلیل‌های کلان عملکرد نیازمندند.

در سطح کلان، مدیران و سیاستگذاران بخش کشاورزی شامل سازمان‌های دولتی، وزارتخانه‌ها و نهادهای تحقیقاتی از دیگر کاربران مهم این سامانه‌ها محسوب می‌شوند. این گروه به دنبال دستیابی به داده‌های تجمیعی، تحلیل روندهای تولید، پایش امنیت غذایی و ابزارهای سیاستگذاری هستند. همچنین مشاوران و کارشناسان کشاورزی نیز از کاربران این سیستم‌ها بوده که نیازمند دسترسی به آخرین یافته‌های علمی، ابزارهای تشخیصی پیشرفته و امکان ارائه مشاوره به کشاورزان می‌باشند. تنوع این کاربران ایجاب می‌کند که سامانه‌های کشاورزی هوشمند دارای سطوح دسترسی و امکانات متنوعی باشند تا بتوانند به طور همزمان نیازهای تمامی این گروه‌ها را برآورده سازند.

### پلن های کسب و کار

سامانه‌های کشاورزی هوشمند معمولاً از مدل‌های درآمدی متنوعی برای تضمین پایداری مالی خود استفاده می‌کنند. یکی از رایج‌ترین این مدل‌ها، طرح رایگان با تبلیغات است که در آن کاربران به صورت محدود به امکانات پایه دسترسی داشته و در ازای نمایش تبلیغات مرتبط با نهاده‌های کشاورزی یا خدمات کشاورزی، از سیستم استفاده می‌کنند. مدل دیگر، فروش ماژول‌های تخصصی است که در آن کاربران بر اساس نیاز خود می‌توانند ماژول‌های پیشرفته‌تر مانند تحلیل‌های هوشمند، پیش‌بینی بازار یا سیستم‌های آبیاری هوشمند را به صورت جداگانه خریداری نمایند. این رویکرد به کشاورزان امکان می‌دهد تنها برای قابلیت‌های مورد نیاز خود هزینه پرداخت کنند.

مدل سوم که در بسیاری از سامانه‌های موفق به کار گرفته می‌شود، سطوح کاربری چندگانه مانند رایگان، نقره‌ای و طلایی است. در این مدل، کاربران رایگان به امکانات پایه دسترسی دارند، در حالی که کاربران نقره‌ای و طلایی با پرداخت هزینه‌های ماهانه یا سالانه، می‌توانند از قابلیت‌های پیشرفته‌تر مانند تحلیل‌های اختصاصی، پشتیبانی فنی یا دسترسی به داده‌های با دقت بالاتر استفاده کنند. برخی سامانه‌ها نیز از مدل اشتراک سازمانی برای کشت و صنعت‌ها و تعاونی‌های بزرگ استفاده می‌کنند که شامل هزینه‌های سالانه بر اساس تعداد کاربران و سطح دسترسی می‌شود. این تنوع در مدل‌های درآمدی به سامانه‌ها کمک می‌کند تا با در نظر گرفتن توان مالی مختلف کاربران، حداکثر دسترسی و مقبولیت در بازار را کسب نمایند.

## معرفی و بررسی محصولات مشابه خارجی و داخلی

در راستای طراحی و توسعه سامانه کشاورزی هوشمند هدف، بررسی جامعی بر روی محصولات مشابه داخلی و خارجی انجام شده است. این بررسی با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله جستجوی سیستماتیک در منابع معتبر، تحلیل مستندات فنی، بررسی نظرات کاربران و در برخی موارد آزمون عملی نسخه‌های نمایشی انجام پذیرفته است. در بخش خارجی، محصولاتی همچون Agremo، Sat.Farmount، Crop.Monitoring.EOS ، Tend و One Soil به عنوان نمونه‌های موفق و پیشرو در حوزه فناوری‌های کشاورزی هوشمند شناسایی و انتخاب شده‌اند. از سوی دیگر، در بخش داخلی نیز سامانه‌هایی مانند Fazayesh.SpaceOmid، Joutyar، Keshtyar، Tiznegar، SatPlat، Rahban و Jereeb مورد بررسی قرار گرفته‌اند که هر کدام با رویکردهای متفاوتی به حل چالش‌های کشاورزی ایران پرداخته‌اند.

در این بخش، محصولات مذکور بر اساس چهارچوب تحلیلی تعریف شده در بخش معیارهای مقایسه، مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. معیارهای اصلی این ارزیابی شامل "قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها" (مانند دقت پردازش تصاویر و هوش مصنوعی)، "حوزه تمرکز" (مانند مدیریت آبیاری یا پیش‌بینی بازار)، "جامعه هدف" (کشاورزان خرد تا کشت و صنعت‌ها) و "پلن‌های درآمدی و کسب و کار" (مانند مدل‌های اشتراک یا فروش ماژول) می‌باشد. این تحلیل مقایسه‌ای نه تنها به شناسایی نقاط قوت و ضعف رقبا می‌پردازد، بلکه با آشکارسازی شکاف‌های عملکردی و فناورانه در سامانه‌های موجود، فرصت‌هایی را برای تمایز و برتری سامانه هدف مشخص خواهد کرد. نتایج این بررسی مبنای علمی برای تدوین راهبردهای رقابتی و تمرکز بر مزیت‌های منحصربه‌فرد سامانه در مراحل بعدی خواهد بود.

### معرفی و بررسی محصولات مشابه خارجی

در ادامه ارزیابی جامع محصولات مشابه، در این بخش به بررسی تخصصی سامانه‌های بین‌المللی پیشرو در حوزه کشاورزی هوشمند می‌پردازیم. محصولات منتخب خارجی شامل Agremo، Sat.Farmount، Crop.Monitoring.EOS، Tend و One Soil می‌باشند که هر کدام به عنوان نماینده‌ای از آخرین دستاوردهای فناوری در کشاورزی دیجیتال محسوب می‌شوند. این سامانه‌ها با بهره‌گیری از ترکیب نوآورانه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای، پردازش ابری و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، استانداردهای جدیدی را در زمینه پایش مزرعه و مدیریت کشاورزی دقیق تعریف کرده‌اند.

#### Agremo

##### مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی

ماموریت اصلی Agremo ساده‌سازی فناوری کشاورزی دقیق مبتنی بر سنجش از دور است که آن را به‌طور جهانی در دسترس و کاربردی می‌سازد. این شرکت متعهد به ارائه دقیق‌ترین و کاربردی‌ترین اطلاعات به مشتریان خود است و از این طریق به آن‌ها در بهینه‌سازی تولید محصول و فرآیندهای کشاورزی مرتبط در سراسر زنجیره ارزش کمک می‌کند. Agremo همچنین به‌طور فعال در تحول گسترده‌تر کشاورزی به سمت تولید غذای پایدارتر، با همکاری شرکا و مشتریان خود، مشارکت دارد.74

Agremo خود را به عنوان ارائه‌دهنده "قدرتمندترین پلتفرم تحلیل مزرعه" معرفی می‌کند که داده‌های منحصربه‌فرد محصول را از طریق قدرت هوش مصنوعی، پهپادها و تصاویر ماهواره‌ای ارائه می‌دهد.75 ارزش پیشنهادی آن بر اساس ارائه مزیت رقابتی از طریق داده‌های مزرعه‌ای بسیار دقیق و ابزارهای کشاورزی بنا شده است. مزایای کلیدی شامل سهولت استفاده برای مبتدیان و متخصصان، سازگاری با تمام پهپادهای تجاری موجود و رایج‌ترین حسگرها (RGB و چندطیفی)، دقت بالا (تا 98%)، یک پلتفرم همه‌کاره برای ارائه تصاویر، تجزیه و تحلیل، گزارش‌ها و نقشه‌های توزیع، و پشتیبانی اختصاصی برای موفقیت مشتری در ادغام فناوری‌های نوآورانه است.74 این پلتفرم مقیاس چشمگیری دارد و میلیون‌ها هکتار را پردازش کرده، مزارع متعددی را ایجاد کرده، کاربران زیادی را ثبت کرده و میلیاردها گیاه را شمارش کرده است.74

Agremo طیف وسیعی از متخصصان و شرکت‌های کشاورزی را پوشش می‌دهد. این شامل کشاورزان، تولیدکنندگان بزرگ، تعاونی‌ها، متخصصان زراعت، مشاوران مورد اعتماد، مدیران تولید و تولیدکنندگان ماشین‌آلات می‌شود.76 علاوه بر این، به ارائه‌دهندگان خدمات پهپادی، محققان کشاورزی، ارزیابان بیمه کشاورزی، شرکت‌های بذر و مواد شیمیایی، سازمان‌های تحقیقات قراردادی (CROs) و محققان دانشگاهی خدمات ارائه می‌دهد.16

ماموریت اعلام شده Agremo بر "دسترسی جهانی و کاربردی" بودن کشاورزی دقیق تأکید دارد 74 و سهولت استفاده را برای "مبتدیان و متخصصان" برجسته می‌کند.75 با این حال، ساختار قیمت‌گذاری صریح آن، مانند "آزمایش‌های میدانی" با قیمت 3,450 دلار در سال برای یک کاربر 80 و "نظارت بر محصول" با قیمت 4,950 دلار در سال برای یک کاربر 81، همراه با در دسترس بودن "برنامه‌های سازمانی سفارشی" 82، نشان می‌دهد که بازار هدف اصلی آن، شرکت‌های بزرگ کشاورزی، موسسات تحقیقاتی و ارائه‌دهندگان خدمات هستند تا کشاورزان کوچک با بودجه محدود. این امر نشان می‌دهد که "دسترسی جهانی" ممکن است بیشتر به سازگاری فناوری در انواع سخت‌افزارها و داده‌ها اشاره داشته باشد تا دسترسی مالی برای تمام مقیاس‌های عملیات کشاورزی. به نظر می‌رسد مدل کسب‌وکار بیشتر با موارد استفاده حرفه‌ای با به صرفه است که می‌توانند سرمایه‌گذاری را توجیه کنند و احتمالاً شکافی را برای کشاورزان بسیار کوچک که به دنبال راه‌حل‌های کم‌هزینه هستند، باقی می‌گذارد.

##### قابلیت‌ها و خدمات اصلی

**نظارت بر محصول:** این محصول به کاربران امکان می‌دهد تا توسعه محصول را در طول فصل پیگیری کنند، نقشه‌های پاشش ایجاد کنند و مناطق عملکرد را درک کنند.77 این شامل تجزیه و تحلیل‌های حیاتی مانند شمارش بوته، تنش گیاهی، پوشش سایبان، قدرت گیاهی و تشخیص علف‌های هرز است.79 این سیستم همچنین با ارائه هشدارهای هفتگی در مورد تغییر سلامت گیاه از طریق تصاویر ماهواره‌ای، تلاش‌های شناسایی را بهینه می‌کند و هدف آن جلوگیری از کاهش عملکرد است.83

**مدیریت عملکرد:**  Agremoاز تخمین زودهنگام عملکرد و بنچمارکینگ پشتیبانی می‌کند که برای تصمیم‌گیری در مورد قراردادهای آتی و برنامه‌ریزی عرضه بسیار مهم است.76 این سیستم می‌تواند عملکرد پایین محصول را در مناطق دارای تنش گیاهی محاسبه کرده و عملکرد را قبل از برداشت تخمین بزند.84 یک "ماشین حساب عملکرد ذرت" خاص به عنوان یک ابزار رایگان هنگام اشتراک در محصول نظارت بر محصول ارائه می‌شود که به کاربران امکان می‌دهد عملکرد ذرت را بر اساس تعداد دقیق بوته‌ها و سایر داده‌های ورودی پیش‌بینی کنند.84

**مدیریت مواد مغذی:** این پلتفرم با توسعه ابزارهای تصمیم‌گیری برای ایجاد نسخه‌های نرخ متغیر برای کاربرد کود، بر اساس تجزیه و تحلیل‌های هوش مصنوعی، به طور قابل توجهی به مدیریت مواد مغذی کمک می‌کند.76 این قابلیت امکان بهینه‌سازی توزیع مواد مغذی در مزارع را فراهم می‌کند.83 علاوه بر این، تجزیه و تحلیل قدرت گیاهی داده‌هایی را در مورد سلامت پوشش گیاهی ارائه می‌دهد که می‌تواند برای بهینه‌سازی مصرف ورودی و جلوگیری از کاربرد بیش از حد کودها استفاده شود.75

**بهینه‌سازی آبیاری:** Agremo چندین ویژگی مرتبط با آبیاری را ارائه می‌دهد. ابزار نقشه‌برداری ارتفاع آن به شناسایی نقاط بلند و پست در مزارع کمک می‌کند که برای ارزیابی پتانسیل کاهش عملکرد به دلیل ارتفاع و هدایت طراحی سیستم آبیاری کارآمد بسیار مهم است.83 تجزیه و تحلیل‌های قدرت گیاهی و NDVI (شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی) به عنوان شاخص‌های تنش آبی عمل می‌کنند و به کشاورزان امکان می‌دهند مناطق نیازمند تنظیمات آبیاری را مشخص کنند.83 یک سیستم هشدار زودهنگام، اعلان‌های هفتگی در مورد تغییر سلامت گیاه، از جمله موارد مرتبط با تنش آبی، ارائه می‌دهد که امکان مداخلات به‌موقع را فراهم می‌کند.83 علاوه بر این، تشخیص غرقابی به‌سرعت و با دقت مناطق احتمالی غرقابی را مشخص می‌کند که برای مدیریت مؤثر آبیاری و کاهش اثرات منفی حیاتی است.75

**تشخیص آفات و بیماری‌ها:** قابلیت‌های Agremo در این زمینه بر شناسایی و کمی‌سازی ناهنجاری‌ها به جای تشخیص‌های خاص تمرکز دارد. این سیستم مناطق آلوده به علف‌های هرز را برای پاشش دقیق شناسایی می‌کند.75 همچنین آسیب ناشی از "شکستگی سبز" (گیاهان شکسته) و "خوابیدگی" (گیاهان افتاده) را تشخیص و کمی‌سازی می‌کند.75

*ذکر این نکته مهم است که Agremo به‌صراحت بیان می‌کند که "نمی‌تواند نام بیماری و آفت مؤثر بر محصولات شما را بگوید" یا "مواد شیمیایی برای درمان پیشنهاد کند." در عوض، بر شناسایی "محل قرارگیری گیاهان آلوده" تمرکز دارد*.85

تمرکز صریح Agremo بر "عدم توانایی در نام‌گذاری بیماری و آفت" یا "پیشنهاد مواد شیمیایی برای درمان" 85 یک نکته مهم است. این یک نقص عملکردی نیست، بلکه یک انتخاب استراتژیک عمدی است. با تمرکز بر

*تشخیص و کمی‌سازی بسیار دقیق ناهنجاری‌ها* (مانند وجود علف‌های هرز، تنش گیاهی، خوابیدگی، غرقابی) و مکان دقیق آن‌ها، Agremo خود را به عنوان یک *لایه تحلیلی قدرتمند* معرفی می‌کند که تخصص انسانی را تقویت می‌کند. این رویکرد مسئولیت Agremo را در تشخیص‌های بیولوژیکی پیچیده به حداقل می‌رساند، در حالی که قدرت اصلی آن را در پردازش تصویر و تشخیص الگو به حداکثر می‌رساند. این امر نشان‌دهنده یک مدل همکاری است که در آن Agremo "کجا" و "چقدر" را ارائه می‌دهد، و "چه" و "چگونه درمان کنیم" را به متخصصان زراعت و سایر متخصصان حوزه واگذار می‌کند. این تخصص به Agremo اجازه می‌دهد تا در جایگاه خود برتری یابد بدون اینکه در زمینه‌هایی که نیاز به تخصص بیولوژیکی در محل دارند و مقیاس‌پذیری آن‌ها دشوار است، بیش از حد نفوذ یابد.

##### سایر خدمات

**آزمایش‌های میدانی:** یک سرویس تخصصی که تجزیه و تحلیل خودکار را برای تأمین‌کنندگان ورودی، دانشمندان پژوهشگر و پرورش‌دهندگان بذر فراهم می‌کند و دقت مورد نیاز برای داده‌های میکروپلات را تضمین می‌کند.79

**شمارش بوته:** موجودی و حسابرسی دقیق را ارائه می‌دهد و شمارش دقیق بوته‌ها، ارزیابی اندازه و سلامت آن‌ها را فراهم می‌کند. این برای محصولات دائمی مانند باغات، سبزیجات برگ‌دار، نهالستان‌ها، جنگل‌داری و درختان کریسمس ایده‌آل است.79

**بیمه محصول:** ارزیابی‌های دقیق برای خسارت محصول (مانند خوابیدگی، شکستگی سبز، خسارت حیات وحش و خسارت باد) را ارائه می‌دهد تا شفافیت و قابلیت اطمینان در ادعاهای بیمه را تضمین کند.79

**ادغام با** John Deere **و** DroneDeploy **:** وارد کردن حاشیه‌نویسی‌ها از مرکز عملیات John Deere و ادغام با DroneDeploy را تسهیل می‌کند و سازگاری گردش کار را افزایش می‌دهد.79

##### فناوری و متدولوژی‌ها

**منابع داده:**  Agremoعمدتاً تصاویر هوایی به دست آمده از منابع مختلف، از جمله پهپادها و ماهواره‌ها (به‌ویژه داده‌های Sentinel) را پردازش می‌کند.16 تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت گذشته‌نگر از دو ماه قبل تولید می‌شوند، با یک نقشه در هفته، و نقشه‌هایی با پوشش ابری بیش از 30% تولید نمی‌شوند.87 این پلتفرم می‌تواند داده‌های هوایی را نیز پردازش کند.30

**کاربردهای هوش مصنوعی/یادگیری ماشین/بینایی کامپیوتر:** هسته قدرت تحلیلی Agremo در الگوریتم‌های اختصاصی هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و بینایی کامپیوتر آن نهفته است. این فناوری‌ها برای شناسایی، طبقه‌بندی و کمی‌سازی الگوهای پیچیده فضایی (سه‌بعدی)-طیفی-زمانی در داده‌های تصویری به کار گرفته می‌شوند.16 این الگوریتم‌ها در همکاری نزدیک با موسسات دانشگاهی و کارشناسان سنجش از دور توسعه یافته‌اند و عوامل متعددی را فراتر از بینش‌های ساده NDVI در نظر می‌گیرند.16 کارشناسان کشاورزی به‌طور فعال پایگاه دانش هوش مصنوعی را آموزش داده و نظارت می‌کنند و از داده‌های قابل اعتماد و عملی اطمینان حاصل می‌کنند.88

* + پردازش تصویر

**موزاییک تصاویر:** Agremo یک موتور موزاییک یکپارچه برای ایجاد بی‌درنگ GeoTIFFs ارائه می‌دهد، اگرچه کاربران انعطاف‌پذیری استفاده از ابزارهای موزاییک خارجی مانند DroneDeploy را نیز دارند.16

**شاخص‌های پوشش گیاهی:** Agremo از مجموعه جامعی از شاخص‌های پوشش گیاهی، از جمله NDVI، MSAVI، RECI، NDRE، NDMI، NDWI و EVI استفاده می‌کند.87 هر شاخص بر اساس مناسب بودن آن برای مراحل خاص رشد گیاه یا برای ارزیابی پارامترهای خاص (به عنوان مثال، MSAVI برای اوایل فصل، NDRE برای مراحل بعدی، NDMI/NDWI برای سطوح رطوبت) اعمال می‌شود.87

**تحلیل بلادرنگ:** این پلتفرم قابلیت‌های تحلیل بلادرنگ را ارائه می‌دهد، که امکان منطقه‌بندی فوری مزارع بر اساس تغییرات سلامت محصول و ایجاد سریع‌تر نقشه‌های کاربردی برای کوددهی را فراهم می‌کند.90

رویکرد Agremo به توسعه و اعتبارسنجی هوش مصنوعی قابل توجه است: الگوریتم‌های آن‌ها توسط "کارشناسان کشاورزی" آموزش داده شده و توسط آن‌ها "نظارت" می‌شوند.88 علاوه بر این، تجزیه و تحلیل‌ها برای مشترکین Agremo توسط "تیم پشتیبانی و تضمین کیفیت، و همچنین توسط کارشناسان کشاورزی" آن‌ها "دوباره بررسی می‌شوند".91 این امر قابلیت اطمینان و اعتبار گزارش‌های آن‌ها را افزایش می‌دهد، نوسانات ذاتی داده‌های کشاورزی را برطرف می‌کند و اعتماد را در بین کاربران حرفه‌ای هدف (متخصصان زراعت، مشاوران) که اغلب برای تصمیم‌گیری‌های حیاتی به اعتبارسنجی متخصص نیاز دارند، ایجاد می‌کند. این همچنین نشان می‌دهد که در حالی که هوش مصنوعی بار محاسباتی سنگین را بر عهده دارد، لایه نهایی تفسیر و کنترل کیفیت انسانی باقی می‌ماند.

* + دقت و اعتبارسنجی

**ادعاهای دقت:** Agremo ادعای دقت بالایی برای تجزیه و تحلیل‌های خود دارد و بیان می‌کند که آن‌ها "تا 98% دقیق" هستند.75 برای کاربردهای جنگل‌داری، دقت گزارش شده "بیش از 95% است".92 توصیفات کاربران به‌طور مداوم دقت بالای گزارش‌های Agremo را تحسین می‌کنند و اغلب آن‌ها را با بررسی‌های زمینی مقایسه می‌کنند.91

**فرآیند اعتبارسنجی:** این شرکت بر یک فرآیند اعتبارسنجی دقیق تأکید دارد. الگوریتم‌های آن‌ها تحت آزمایش‌های گسترده‌ای در بیش از 800,000 هکتار، شامل بیش از 100 نوع محصول مختلف، قرار گرفته‌اند.91 Agremo به‌طور فعال با ارائه‌دهندگان خدمات پهپادی همکاری می‌کند تا از کیفیت و وضوح بالای تصاویر آپلود شده اطمینان حاصل کند، که برای تجزیه و تحلیل دقیق حیاتی است.91 تجزیه و تحلیل‌ها تنها در صورتی منتشر می‌شوند که الزامات کیفیت داخلی سخت‌گیرانه Agremo را برآورده کنند. برای کاربران دارای اشتراک Agremo، درخواست‌ها بیشتر توسط تیم‌های پشتیبانی و تضمین کیفیت اختصاصی آن‌ها، و همچنین توسط کارشناسان کشاورزی آن‌ها، دوباره بررسی می‌شوند.91

##### مدل کسب‌وکار و قیمت‌گذاری

**محصولات مبتنی بر اشتراک:**  Agremoخدمات خود را از طریق یک مدل اشتراک ارائه می‌دهد و پیشنهادات اصلی خود را به محصولات متمایز: "نظارت بر محصول"، "آزمایش‌های میدانی"، "شمارش بوته" و "بیمه محصول" تقسیم می‌کند.79 یک مزیت کلیدی این است که اشتراک در یکی از این محصولات، دسترسی به مجموعه‌ای از 10 "ابزار کشاورزی رایگان" را فراهم می‌کند، مانند ماشین حساب زیست‌توده، ماشین حساب عملکرد ذرت و ابزار مقایسه نقشه.79

**راه‌حل‌های سازمانی:** برای سازمان‌های بزرگ‌تر و نیازهای پیچیده، Agremo برنامه‌های سازمانی سفارشی ارائه می‌دهد. این برنامه‌ها مزایای قابل توجهی از جمله تخفیف‌ها، دسترسی API ، گزینه‌های همکاری در برندسازی برای گزارش‌ها و برنامه، مدیریت جامع پروژه و تیم‌های پشتیبانی اختصاصی (مشتری، فنی، زراعت و مشاوره پهپادی) را ارائه می‌دهند. مشتریان سازمانی همچنین آموزش کاربر، پشتیبانی بازاریابی، مشاوره کشاورزی دقیق و امکان تجزیه و تحلیل‌ها و ویژگی‌های سفارشی متناسب با الزامات خاص خود را دریافت می‌کنند.82

* + نمونه‌های قیمت‌گذاری

Agremo: آزمایش‌های میدانی با قیمت 3,450.00 دلار در سال برای یک کاربر قیمت‌گذاری شده است.80

Agremo: نظارت بر محصول 4,950.00 دلار در سال برای یک کاربر هزینه دارد.81

یک "بسته پیشرفته Agremo" نیز با قیمت 4,950.00 دلار فهرست شده است.94

Agremo از یک استراتژی قیمت‌گذاری لایه‌ای استفاده می‌کند که اشتراک‌های مبتنی بر ماژول را با راه‌حل‌های سفارشی در سطح سازمانی و احتمالاً قیمت‌گذاری بر اساس هکتار برای تجزیه و تحلیل‌های خاص ترکیب می‌کند. هزینه‌های سالانه متمایز برای "آزمایش‌های میدانی" و "نظارت بر محصول" 81 به متخصصان فردی یا نهادهای تخصصی کوچک‌تر پاسخ می‌دهد. همزمان، در دسترس بودن "برنامه‌های سازمانی سفارشی" 82 و ذکر هزینه "در هر هکتار" 95 نشان‌دهنده یک مدل انعطاف‌پذیر و مبتنی بر حجم برای شرکت‌های بزرگ کشاورزی، موسسات تحقیقاتی یا ارائه‌دهندگان خدمات پهپادی است. این رویکرد ترکیبی به Agremo امکان می‌دهد تا با ارائه ساختارهای قیمت‌گذاری متناسب با مقیاس عملیاتی و مکانیسم‌های بودجه‌ای آن‌ها، به بخش‌های مختلف بازار، از کاربران حرفه‌ای تخصصی تا شرکت‌های بزرگ، نفوذ کند. گنجاندن "ابزارهای کشاورزی رایگان" با اشتراک محصول، ارزش پیشنهادی را بیشتر افزایش می‌دهد و پذیرش و حفظ مشتری را تشویق می‌کند.

##### نقاط قوت، محدودیت‌ها و بازخورد کاربران

**نقاط قوت:** پلتفرم Agremo به دلیل دقت بالای خود (تا 98%) در تجزیه و تحلیل‌ها، رابط کاربری آسان و مجموعه جامع ابزارهای پوشش‌دهنده شمارش بوته، تشخیص علف‌های هرز، قدرت گیاهی و تشخیص غرقابی مورد تحسین قرار گرفته است.74 این پلتفرم سازگاری گسترده‌ای با پهپادها و حسگرهای مختلف ارائه می‌دهد و یک راه‌حل همه‌جانبه از پردازش تصویر تا تولید گزارش را فراهم می‌کند.74 ادغام قوی با پلتفرم‌های اصلی کشاورزی مانند John Deere و DJI نیز یک مزیت قابل توجه است.79 توصیفات مشتریان به‌طور مداوم اثربخشی آن را در تبدیل تصاویر پهپادی به بینش‌های عملی، ارائه دیدگاهی جدید در مورد شرایط مزرعه، افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و ارائه گزارش‌های دقیق برجسته می‌کنند.91

##### محدودیت‌ها

**زمان پردازش:** یک بررسی مستقل نشان می‌دهد که تجزیه و تحلیل‌ها، به‌ویژه شمارش بوته، می‌تواند "2 روز کاری طول بکشد" 93 که ممکن است برای تصمیم‌گیری‌های فوری و بلادرنگ یک نقطه ضعف باشد.

**عدم تشخیص نوع بیماری:** همانطور که قبلاً اشاره شد، Agremo نمی‌تواند نوع خاصی از آفت یا بیماری مؤثر بر محصولات را شناسایی کند یا درمان‌های شیمیایی را پیشنهاد دهد.85 این سیستم بر مکان‌یابی و کمی‌سازی مناطق آسیب‌دیده تمرکز دارد.

**شمارش محدود محصول:** اشاره شده است که "محصولات با دانه کوچک مانند گندم، کلزا، سویا و غیره هنوز قابل شمارش نیستند" برای شمارش تک‌بوته‌ها 93 که نشان‌دهنده محدودیتی در دقت تجزیه و تحلیل برای انواع خاصی از محصولات است.

**جمع‌بندی بازخورد کاربران و تأثیرات استنباط شده:** بازخورد کاربران به‌طور کلی تصویری مثبت را نشان می‌دهد و بر مزایای عملی خدمات Agremo تأکید می‌کند. مشتریان توانایی آن را در ارائه اطلاعات ضروری که قبلاً غیرقابل دستیابی بود، ستایش می‌کنند که منجر به افزایش بهره‌وری، کاهش مشکلات عمده از طریق هشدارهای زودهنگام و در نهایت افزایش بازده سرمایه‌گذاری می‌شود.91 وضوح بصری و دقت نقشه‌های Agremo نسبت به رقبا برتر ارزیابی می‌شود.91 ادغام با فناوری پهپاد به عنوان یک "راه‌حل کلید در دست برای کشاورزی دقیق" دیده می‌شود که امکان تصمیم‌گیری سریع‌تر، کارآمدتر و دقیق‌تر را فراهم می‌کند و حتی بهره‌وری را برای برخی کاربران دو برابر می‌کند.91

یک تفاوت قابل توجه بین ادعاهای بازاریابی قوی Agremo در مورد دقت بالا و سهولت استفاده 75 و برخی انتقادات خاص از یک بررسی مستقل در Reddit وجود دارد.93 ادعای این بررسی مبنی بر مداخله دستی، و پیامدهای عملی زمان‌های پردازش کند است.

#### Farmonaut

##### مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی

مأموریت اصلی فارمونات، تحول کشاورزی از طریق تصویربرداری ماهواره‌ای نوآورانه، و ایجاد انقلابی در کشاورزی دقیق و پایداری است. هدف کلی آن‌ها، دسترس‌پذیر کردن راه‌حل‌های پیشرفته کشاورزی برای کشاورزان در سراسر جهان است.30 این مأموریت ریشه در پر کردن شکاف اطلاعاتی برای میلیون‌ها کشاورز با استفاده از فناوری‌های ماهواره‌ای و هوش مصنوعی دارد، تا آن‌ها را با بینش‌های مبتنی بر داده توانمند سازد.31

ارزش پیشنهادی فارمونات، ارائه بینش‌هایی در مورد سلامت محصول، شرایط خاک و عوامل محیطی است. این امر منجر به بهینه‌سازی عملکرد، کاهش مصرف منابع و افزایش پایداری می‌شود. ارزش اصلی آن‌ها بر کارایی، دقت و ترویج شیوه‌های کشاورزی مسئولانه زیست‌محیطی تأکید دارد.30

##### قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها

**منابع داده و روش‌شناسی پردازش تصویر:** فارمونات عمدتاً بر تصاویر ماهواره‌ای تکیه دارد و داده‌ها را از منابع عمومی و تجاری مانند Sentinel و Landsat جمع‌آوری می‌کند..10 اگرچه تمرکز اصلی آن‌ها بر ماهواره است، اما با دستگاه‌های اینترنت اشیا برای داده‌های زمینی نیز یکپارچه می‌شوند تا تصویری جامع‌تر ارائه دهند.19 فرآیند پردازش تصویر آن‌ها شامل تحلیل طیفی با استفاده از باندهای مختلف و طبقه‌بندی با یادگیری ماشین برای انواع کاربری زمین و محصولات است.9 آن‌ها ادعای قابلیت‌های پردازشی چشمگیری دارند، به طوری که بیش از 20 میلیون تصویر ماهواره‌ای در سطح مزرعه را در تنها 20 روز پردازش کرده‌اند.9

**کاربردهای هوش مصنوعی/یادگیری ماشین:** فارمونات به طور گسترده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای تشخیص الگو (شناسایی تغییرات ظریف نامحسوس برای چشم انسان)، تحلیل پیش‌بینی‌کننده (پیش‌بینی عملکرد محصول و خطرات احتمالی) و هشدارهای خودکار استفاده می‌کند.8 آن‌ها ترکیبی از مدل‌های هوش مصنوعی توسعه‌یافته داخلی را به کار می‌برند، به ویژه برای تشخیص بیماری، هشدارهای آبیاری و نقشه‌برداری تنش محصول نیز استفاده می‌کنند.31

**ادعاهای دقت:** فارمونات اعلام می‌کند که نظارت بر سلامت محصول آن‌ها به دلیل الگوریتم‌های پیشرفته و به‌روزرسانی‌های مکرر تصاویر "بسیار دقیق" است، اگرچه توصیه می‌کنند برای بهترین نتایج، این بینش‌ها را با مشاهدات میدانی ترکیب کنند.8 به طور کلی، پلتفرم آن‌ها ادعا می‌کند که در بسیاری از کاربردها بیش از 90% دقت دارد.33

##### ویژگی‌ها و خدمات خاص

**نظارت بر سلامت محصول مبتنی بر ماهواره:** سلامت محصول را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی ارائه می‌دهد.8

**سیستم مشاوره‌ای هوش مصنوعی:** **Jeevn** یک ابزار مشاوره‌ای مزرعه‌ای شخصی‌سازی شده با هوش مصنوعی که بینش‌های بلادرنگ، پیش‌بینی آب‌وهوا و استراتژی‌های تخصصی مدیریت محصول را بر اساس تحلیل داده‌های ماهواره‌ای ارائه می‌دهد.8

**مدیریت ناوگان و منابع:** ابزارهایی برای بهینه‌سازی استفاده از وسایل نقلیه و لجستیک، بهبود کارایی در عملیات کشاورزی در مقیاس بزرگ.30

**نظارت بر رطوبت خاک:** بینش‌های حیاتی در مورد سطوح رطوبت خاک برای شیوه‌های آبیاری بهینه ارائه می‌دهد.8

**شاخص‌های پوشش گیاهی:** از شاخص‌های مختلفی مانند NDVI (شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی)، GCI (شاخص کلروفیل سبز) و NDWI (شاخص نرمال‌شده تفاوت آب) برای ارزیابی جامع سلامت، وضعیت نیتروژن و تحلیل میزان آب استفاده می‌کند.8

**پیش‌بینی عملکرد:** عملکرد محصول را بر اساس داده‌های تاریخی و شرایط فعلی مزرعه پیش‌بینی می‌کند.8

**تشخیص آفات و بیماری‌ها:** امکان تشخیص زودهنگام آلودگی آفات یا شیوع بیماری‌ها را فراهم می‌آورد.8

**سیستم تشخیص آتش‌سوزی جنگل:** یک سرویس تازه راه‌اندازی شده که نظارت بلادرنگ و هشدارهای 10 دقیقه‌ای برای شیوع آتش‌سوزی جنگل ارائه می‌دهد.31

**خدمات وام و بیمه کشاورزی:** مجموعه‌ای مبتنی بر داده‌ها که برای مؤسسات مالی و ارائه‌دهندگان بیمه طراحی شده است.31

**دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای برای تحقیق:** داده‌های خام تصاویر ماهواره‌ای را برای محققان، کارشناسان کشاورزی و کاربران پیشرفته برای تحلیل عمیق و کاربردهای سفارشی فراهم می‌کند.54

**تجسم داده‌های ماهواره‌ای برای افراد کوررنگ:** یک ویژگی نوآورانه در برنامه وب آن‌ها که داده‌ها را تنها با استفاده از رنگ سیاه و سفید نمایش می‌دهد و دسترسی‌پذیری برای کشاورزان کوررنگ را بدون به خطر انداختن عمق اطلاعات تضمین می‌کند.10

توسعه "تجسم داده‌های ماهواره‌ای برای افراد کوررنگ" توسط فارمونات 10 یک نمونه ظریف اما قدرتمند از طراحی فراگیر است. این موضوع نشان‌دهنده درک عمیق‌تری از نیازهای متنوع کاربران فراتر از قابلیت‌های صرفاً عملکردی است که می‌تواند موانع پذیرش را در یک پایگاه کاربری گسترده کاهش داده و تجربه کاربری را برای همه، نه فقط افراد کوررنگ، بهبود بخشد.

##### حوزه‌های تمرکز اصلی

**مدیریت آبیاری:** یک تمرکز اصلی است که مصرف آب را با نظارت بر سطوح رطوبت محصول و خاک، جلوگیری از تنش آبی و اجتناب از آبیاری بیش از حد بهینه می‌کند.8

**مدیریت مواد مغذی:** کمبودهای مواد مغذی را شناسایی کرده و کاربرد هدفمند کود را از طریق داده‌های طیفی و بینش‌های تحلیل خاک امکان‌پذیر می‌سازد.8

**پیش‌بینی عملکرد:** عملکرد محصول را با دقت بالا با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های تاریخی پیش‌بینی می‌کند و به برنامه‌ریزی منابع و هم‌سویی بازار کمک می‌کند.8

##### جامعه هدف و دسترسی‌پذیری

**مخاطبان متنوع:** فارمونات به طیف وسیعی از کاربران خدمات می‌دهد، از کشاورزان خرد (کوچک و متوسط) گرفته تا تعاونی‌ها، شرکت‌های کشاورزی، مؤسسات دولتی، سازمان‌های غیردولتی و مشتریان شرکتی.30

**تمرکز بر دسترسی‌پذیری:** یک عامل تمایز کلیدی، تعهد آن به توانمندسازی مزارع کوچک و متوسط با راه‌حل‌های مقرون‌به‌صرفه است، که بینش‌هایی را که قبلاً فقط برای عملیات بزرگ در دسترس بود، قابل دسترس می‌سازد.30 نکته مهم این است که آن‌ها به طور فعال به "شکاف دیجیتال" با ارائه خدمات مشاوره‌ای ماهواره‌ای بدون نیاز به گوشی هوشمند می‌پردازند، و اذعان دارند که بخش قابل توجهی از کشاورزان، به ویژه در مناطق در حال توسعه، به گوشی هوشمند دسترسی ندارند یا با استفاده از برنامه‌های پیشرفته موبایل راحت نیستند.35

شناسایی صریح و توسعه فعال راه‌حل‌های "بدون نیاز به گوشی هوشمند" 35 توسط فارمونات، یک نکته مهم برای یک سامانه جدید است که پایگاه کاربری گسترده‌ای را هدف قرار می‌دهد، به ویژه در مناطق در حال توسعه. این موضوع نشان‌دهنده یک بخش مهم از بازار است که اغلب توسط شرکت‌های فناوری‌محور نادیده گرفته می‌شود و به معنای نیاز به کانال‌های تحویل متنوع فراتر از برنامه‌های موبایل است.

##### پلن‌های درآمدی و کسب‌وکار

**نرم‌افزار به عنوان سرویس (SaaS) مبتنی بر اشتراک:** فارمونات بر اساس یک مدل انعطاف‌پذیر و مبتنی بر اشتراک عمل می‌کند که برای پاسخگویی به طیف وسیعی از کاربران، از کشاورزان انفرادی گرفته تا شرکت‌های کشاورزی بزرگ، طراحی شده است.30

**قیمت‌گذاری طبقه‌بندی شده:** آن‌ها برنامه‌های طبقه‌بندی شده مختلفی از جمله Basic، ،Standard Premium و Elite را با محدودیت‌های متفاوت در تعداد مزارع و هکتارهایی که می‌توانند نظارت شوند، ارائه می‌دهند.10

**راه‌حل‌های سازمانی:** فارمونات خدمات یکپارچه‌سازی سفارشی را برای شرکت‌های کشاورزی بزرگ و مشتریان شرکتی ارائه می‌دهد که نشان‌دهنده ظرفیت برای تعاملات در سطح سازمانی است.32

**تأمین مالی:** این شرکت با کمک‌های مالی کوچک خودگردان بوده است و بخش عمده سرمایه‌گذاری آن به توسعه مدل‌های هوش مصنوعی، زیرساخت‌های پردازش ابری و جمع‌آوری داده‌های ماهواره‌ای اختصاص یافته است.31

##### شکاف‌های عملکردی، محدودیت‌ها و بازخوردهای قابل توجه

**شناسایی خاص آفات/بیماری‌ها و توصیه‌های شیمیایی:** در حالی که فارمونات علائم اولیه آلودگی آفات یا شیوع بیماری‌ها و کمبودهای مواد مغذی را تشخیص می‌دهد، اطلاعات موجود به صراحت قابلیت آن را در *نام‌گذاری* بیماری‌ها یا آفات خاص، یا ارائه توصیه‌های شیمیایی مبتنی بر هوش مصنوعی را مشخص نمی‌کند.8 یک بخش از اطلاعات، جدولی را با توصیه‌های شیمیایی نشان می‌دهد، اما بدون توضیح در مورد نحوه تولید آن‌ها توسط هوش مصنوعی.21

**محدودیت‌های وابسته به داده‌های ماهواره‌ای:** اگرچه داده‌های ماهواره‌ای به طور کلی برای پوشش گسترده مزایایی دارند، اما ذاتاً دارای محدودیت‌هایی مانند وضوح پایین‌تر در مقایسه با داده‌های پهپادی برای تحلیل بسیار دقیق (مثلاً شمارش تک‌تک گیاهان که نیاز به تصاویر با وضوح کمتر از 1 سانتی‌متر دارد) هستند.61 علاوه بر این، جمع‌آوری داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند وابسته به آب‌وهوای بدون ابر باشد، اگرچه فارمونات این مشکل را با تحلیل تصاویر در دوره‌های زمانی طولانی و استفاده از ماهواره‌های راداری (Sentinel-1) کاهش می‌دهد.17

**نیاز به تأیید زمینی:** خود فارمونات به صراحت توصیه می‌کند که بینش‌های حاصل از ماهواره را با مشاهدات میدانی برای بهترین نتایج ترکیب کنید، که نشان می‌دهد داده‌های سنجش از دور به تنهایی ممکن است همیشه برای تشخیص قطعی یا اقدام دقیق کافی نباشند.9

**چالش شکاف دیجیتال:** با وجود راه‌حل‌های نوآورانه بدون نیاز به گوشی هوشمند، فارمونات "شکاف دیجیتال" را به عنوان یک "مانع پایدار" 35 اذعان می‌کند. این نشان می‌دهد که اگرچه آن‌ها فعالانه به این موضوع می‌پردازند، اما چالش سواد دیجیتال گسترده و زیرساخت‌ها همچنان یک مانع مهم برای پذیرش جهانی ابزارهای کشاورزی دیجیتال باقی مانده است.

شکاف آشکار در توصیه‌های شیمیایی خاص یا نام‌گذاری بیماری‌های خاص، با وجود تشخیص "علائم"، نشان‌دهنده یک تصمیم استراتژیک برای تمرکز بر *شناسایی مشکل* به جای *تجویز* است. بسیاری از شرکت‌های آگ‌تک به طور استراتژیک انتخاب می‌کنند که *بینش‌های قابل اجرا* (مانند "منطقه تنش شناسایی شد") را ارائه دهند و تصمیم نهایی تجویز را به کارشناسان کشاورزی یا کشاورزان واگذار کنند.

#### Crop.Monitoring.EOS

##### مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی

مأموریت اصلی EOSDA (تحلیل داده‌های EOS)، پیش‌برد کسب‌وکارها و اجرای شیوه‌های پایدار در سطح جهانی با ترکیب داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای با فناوری‌های هوش مصنوعی و الگوریتم‌های اختصاصی است. تحلیل‌های آن‌ها بر وضعیت محصولات در مزارع و درختان در جنگل‌ها متمرکز است.11 مأموریت آن‌ها همچنین شامل ایجاد انقلابی در نحوه مدیریت محصولات توسط کشاورزان و شرکت‌های کشاورزی است که تصمیمات هوشمندانه‌تر، عملکرد بهتر و شیوه‌های پایدار را امکان‌پذیر می‌سازد.2

تأکید قوی EOSDA بر راه‌حل‌های "**وایت‌لیبل**" 11، تمرکز استراتژیک بر توانمندسازی سایر کسب‌وکارها (مانند شرکت‌های فناوری اطلاعات و کشاورزی، ارائه‌دهندگان خدمات مخابراتی، بانک‌ها، بیمه‌گران، تعاونی‌های کشاورزی) برای ارائه خدمات کشاورزی دقیق با برند خودشان را آشکار می‌کند. این نشان‌دهنده یک مدل B2B2X (کسب‌وکار به کسب‌وکار به هر چیز) است که از فناوری اصلی آن‌ها برای گسترش غیرمستقیم نفوذ در بازار استفاده می‌کند. به جای رقابت مستقیم با کشاورزان انفرادی به عنوان کاربران نهایی، EOSDA به طور استراتژیک خود را به عنوان یک توانمندساز فناوری بنیادی قرار می‌دهد. این رویکرد به آن‌ها اجازه می‌دهد تا با همکاری با نهادهایی که قبلاً دارای کانال‌های بازار و روابط تثبیت شده با کشاورزان هستند (مانند تأمین‌کنندگان نهاده‌ها، مؤسسات مالی، تعاونی‌های کشاورزی)، مقیاس تأثیر خود را افزایش دهند. این مدل به طور مؤثری هزینه‌های جذب مشتری مستقیم آن‌ها را کاهش می‌دهد و از تخصص و اعتماد بازار شرکا بهره می‌برد. برای یک سامانه جدید، در نظر گرفتن یک استراتژی وایت‌لیبل یا API-first می‌تواند راهی قدرتمند برای تسریع نفوذ در بازار و تولید درآمد باشد، به ویژه اگر فناوری اصلی قوی باشد اما دسترسی مستقیم به بازار چالش‌برانگیز باشد یا به سرمایه‌گذاری قابل توجهی در زیرساخت‌های فروش نیاز داشته باشد. این رویکرد به معنای ساخت یک پلتفرم بسیار ماژولار، قابل تنظیم و با مستندات خوب برای تسهیل یکپارچه‌سازی شرکا است.

##### قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها

**منابع داده و روش‌شناسی پردازش تصویر:** این سامانه عمدتاً از تصاویر ماهواره‌ای (Sentinel-2، PlanetScope) با وضوح طیفی بالا استفاده می‌کند و بازبینی‌های مکرر (روزانه تا هر 5 روز) را ارائه می‌دهد.12

**پردازش تصویر:** شامل پیش‌پردازش، تحلیل باندهای طیفی مختلف و استفاده گسترده از شاخص‌های پوشش گیاهی متعدد، از جمله NDVI، NDRE، MSAVI، ReCl، ARVI، EVI، GCI، GNDVI، PSRI، RENDVI، SIPI و NDMI است.8 آن‌ها همچنین توسعه شاخص‌های سفارشی را بر اساس نیازهای خاص مزرعه ارائه می‌دهند.13

**کاربردهای هوش مصنوعی/یادگیری ماشین و ادعاهای دقت:**  EOSDA داده‌های ماهواره‌ای را با فناوری‌های هوش مصنوعی و الگوریتم‌های اختصاصی ترکیب می‌کند.11 هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به طور مداوم برای ارائه ابزارهای هوشمند جدید برای مدیریت تولید کشاورزی بهبود می‌یابند. این شامل تشخیص الگو مبتنی بر تصویر برای تنظیم آبیاری و تغذیه، و پتانسیل برای سمپاش‌های مجهز به هوش مصنوعی برای شناسایی علف‌های هرز خاص برای کاربرد هدفمند است.12 آن‌ها یک معماری یادگیری عمیق چندمرحله‌ای برای طبقه‌بندی کاربری زمین و نوع محصول از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانی و چندمنبعی توسعه داده‌اند.15

**ادعاهای دقت:**  EOSDAادعای دقت پیش‌بینی عملکرد تا 95% را دارد، اگرچه بسته به کیفیت داده‌های آماری مورد استفاده می‌تواند از 85% تا 95% متغیر باشد.14 آن‌ها بیان می‌کنند که می‌توانند پیش‌بینی عملکرد با دقت 95% را در دو هفته یا کمتر، بسته به پیچیدگی پروژه، تولید کنند.14

##### ویژگی‌ها و خدمات خاص

**نظارت ماهواره‌ای:** پوشش جهانی 93% را با مشاهدات به‌روز و تاریخی (5-6 سال گذشته برای پوشش گیاهی، تا سال 1979 برای داده‌های آب‌وهوا) فراهم می‌کند.13

**نظارت بر پوشش گیاهی با شاخص‌های ماهواره‌ای:** طیف گسترده‌ای از شاخص‌ها را ارائه می‌دهد که برای مراحل مختلف رشد و بینش در مورد سلامت گیاه تنظیم شده‌اند.13

**ردیابی مراحل رشد:** مراحل رشد محصول را بر اساس مقیاس یکنواخت BBCH ردیابی می‌کند.13

**برنامه‌ریزی تناوب زراعی:** امکان ثبت سوابق دقیق و تحلیل تاریخی برای برنامه‌ریزی بهینه تناوب زراعی را فراهم می‌کند.13

**مدیریت و تحلیل فصلی:** داشبوردهای جامعی را برای تحلیل عملکرد محصول و مزرعه در فصول گذشته و فعلی ارائه می‌دهد.13

**نقشه ریسک و تشخیص تغییرات بحرانی شاخص/بیماری:** سلامت محصول را از طریق فناوری ماهواره‌ای و یک مدل پیش‌بینی داخلی نظارت می‌کند، داده‌ها را برای تشخیص شرایط نشان‌دهنده مشکل پردازش کرده و هشدارهای اولیه ارسال می‌کند.13

**نقشه‌های ارتفاع و شیب:** این نقشه‌ها به کاربران کمک می‌کنند تا از ناهمواری زمین به نفع خود استفاده کنند. نقشه ارتفاع، ارتفاع هر نقطه را از سطح دریا نشان می‌دهد، در حالی که نقشه شیب، چگونگی تغییر ارتفاع در مزارع را نشان می‌دهد و به نظارت کشاورزی کمک می‌کند.13

**نمایش تقسیم‌شده Split View :** این ابزار امکان مقایسه جانبی لایه‌های مختلف داده‌های نظارت کشاورزی، مانند تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های پوشش گیاهی، نقشه ارتفاع یا نقشه شیب را فراهم می‌کند تا روابط پنهان را آشکار کرده و بینش‌های عمیق‌تری در مورد مزارع به دست آورد.13

**گزارش‌های تغییر شاخص هفتگی:** این گزارش‌ها جزئیات هر افت یا افزایش شاخص پوشش گیاهی در 7 روز گذشته، همراه با بارش هفتگی، حداقل و حداکثر دما را برای هشدار به کاربران در مورد تهدیدات مزرعه مانند تنش آبی یا حملات آفات ارائه می‌دهند.13

**قابلیت‌های وایت‌لیبل:** به کسب‌وکارها امکان می‌دهد تا راه‌حل‌های نظارت بر محصول را با برند خودشان راه‌اندازی کنند، که شامل دسترسی به داده‌ها از چندین منبع تصویر، نام و لوگوی خود، و پشتیبانی کامل می‌شود.38

**API دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای:** دسترسی آسان و سریع به حجم زیادی از داده‌ها از منابع متعدد، از جمله تصاویر ماهواره‌ای، ایستگاه‌های هواشناسی و سنسورهای زمینی را فراهم می‌کند.64

##### حوزه‌های تمرکز اصلی

**پیش‌بینی عملکرد:**  EOSDAتکنیک‌های مؤثری را برای برآورد عملکرد محصول با استفاده از سنجش از دور و مدل‌های یادگیری ماشین توسعه داده است که بر داده‌های مشاهده زمین از ماهواره‌ها تکیه دارد. آن‌ها پیش‌بینی عملکرد فصل جاری را تا 3 ماه قبل، با دقت 85% تا 95% بسته به کیفیت داده‌های آماری، ارائه می‌دهند.14

**مدیریت آبیاری:** اگرچه یک بخش اختصاصی "مدیریت آبیاری" ندارد، اما ویژگی‌هایی مانند نظارت بر رطوبت خاک (شاخص NDMI)، نقشه‌های VRA برای بهینه‌سازی مصرف آب، و تحلیل آب‌وهوا برای تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد آبیاری را ارائه می‌دهد.12

**مدیریت مواد مغذی:** از طریق نقشه‌های VRA، بهینه‌سازی کاربرد کود را امکان‌پذیر می‌سازد و بینش‌هایی در مورد سلامت محصول و شرایط خاک برای کاربرد هدفمند مواد مغذی ارائه می‌دهد.12

**تشخیص آفات و بیماری‌ها:** بر تشخیص زودهنگام مشکلات سلامت محصول مانند تنش، بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز تمرکز دارد و هشدارهای اولیه را برای اقدامات به موقع ارائه می‌دهد.2

**پیش‌بینی بازار:** قابلیت‌های پیش‌بینی عملکرد به طور غیرمستقیم به برنامه‌ریزی کارآمدتر تناوب زراعی و کاهش خطرات بیمه کمک می‌کند، که می‌تواند به تصمیمات بازاریابی آگاهانه منجر شود.14

##### جامعه هدف و دسترسی‌پذیری

EOSDA Crop Monitoring برای ذینفعان مختلف کشاورزی، از جمله کشاورزان کوچک و متوسط، شرکت‌های کشاورزی بزرگ و مشاوران کشاورزی طراحی شده است.36

**کشاورزان کوچک و متوسط:** این پلتفرم با انجام "تمام کارهای سنگین" مانند جمع‌آوری و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و نمایش نتایج مهم به شکلی ساده، شکاف را پر می‌کند. این امر به کشاورزان کوچک و متوسط امکان می‌دهد تا "به سرعت اقدام کنند" بدون نیاز به دانش فنی عمیق.36 همچنین بینش‌های آماده‌ای را بر اساس نوع محصول و مرحله رشد ارائه می‌دهد.36

**شرکت‌های کشاورزی بزرگ:** این پلتفرم نظارت جامع بر مزارع، بهبود برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی هر فصل را امکان‌پذیر می‌سازد. داده‌های مختلفی مانند تصاویر ماهواره‌ای، تحلیل آب‌وهوا، سوابق فعالیت‌های میدانی و داده‌های ماشین‌آلات کشاورزی را یکپارچه می‌کند.36 همچنین تحلیل تاریخی بهره‌وری مزرعه را برای حل مشکلات طولانی‌مدت و پیش‌بینی عملکرد محصول ارائه می‌دهد.36

**مشاوران کشاورزی:** اگرچه به عنوان یک مخاطب هدف جداگانه با ویژگی‌های خاص به تفصیل بیان نشده است، اما این پلتفرم ابزارها و بینش‌هایی را ارائه می‌دهد که برای مشاورانی که به کشاورزان و شرکت‌های کشاورزی مشاوره می‌دهند، ارزشمند است. تحلیل جامع داده‌ها، ویژگی‌های گزارش‌دهی و توانایی ردیابی چندین مزرعه برای کار آن‌ها مفید خواهد بود.36

**ویژگی‌های برنامه موبایل:** برنامه موبایل به کاربران امکان می‌دهد وظایف و گزارش‌های شناسایی را تنظیم کنند، اطلاعاتی در مورد عملکرد محصول و جزئیات محصول اضافه کنند، و گزارش‌های فوری در مورد تهدیدات مانند آلودگی آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را با عکس‌های پیوست شده تولید کنند.37

##### پلن‌های درآمدی و کسب‌وکار

**مدل قیمت‌گذاری سفارشی و اشتراک:**  EOS Crop Monitoringیک طرح قیمت‌گذاری سفارشی و یک دوره آزمایشی رایگان ارائه می‌دهد.55 مدل قیمت‌گذاری آن‌ها شامل یک دوره آزمایشی رایگان و برنامه‌های پولی مبتنی بر خدمات درخواستی کاربر است.

**راه‌حل‌های وایت‌لیبل:** یک مدل کسب‌وکار مهم، ارائه راه‌حل‌های وایت‌لیبل است که به کسب‌وکارها (مانند شرکت‌های فناوری اطلاعات و کشاورزی، ارائه‌دهندگان خدمات مخابراتی، بانک‌ها، بیمه‌گران، تعاونی‌های کشاورزی) امکان می‌دهد تا برنامه‌های موبایل و وب EOSDA Crop Monitoring را با برند خودشان راه‌اندازی کنند.11 این راه‌حل به عنوان راهی مقرون‌به‌صرفه و کارآمد برای راه‌اندازی یک سامانه نظارت بر محصول در بخش‌های منطقه‌ای و بازاری خاص ارائه می‌شود.38

**برنامه شریک:** راه‌حل وایت‌لیبل EOSDA مزایایی را از برنامه شریک EOSDA نیز به همراه دارد، از جمله گزینه‌های بیشتر برای افزودن ویژگی‌ها و ماژول‌های غنی از داده، آموزش جامع و پشتیبانی، و اشتراک سالانه رایگان برای 5000 هکتار برای آزمایش‌های مشتری و اثبات مفهوم.38

**قیمت‌گذاری وایت‌لیبل:** قیمت‌گذاری برای وایت‌لیبل بر اساس مدت و شرایط قرارداد با فروشنده است. دو قرارداد 12 ماهه وجود دارد: وایت‌لیبل ساده (60,000 دلار) و وایت‌لیبل پیشرفته (150,000 دلار).38

##### شکاف‌های عملکردی، محدودیت‌ها و بازخوردهای قابل توجه

**تشخیص مستقیم آفات و بیماری‌ها:** در حالی که این پلتفرم به تشخیص مشکلات و خطرات در مزارع کمک می‌کند و هشدارهای اولیه را برای تهدیداتی مانند بیماری‌ها و آفات ارائه می‌دهد، اطلاعات موجود جزئیات خاصی در مورد قابلیت‌های شناسایی مستقیم آفات و بیماری‌ها یا روش‌های خاص آن ارائه نمی‌دهد.14

**عدم ارائه توصیه‌های شیمیایی خاص:** اطلاعات بررسی شده، هیچ جزئیاتی در مورد ارائه توصیه‌های شیمیایی خاص برای درمان آفات یا بیماری‌ها توسط سامانه EOSDA Crop Monitoring ارائه نمی‌دهد.

**وابستگی به کیفیت داده‌های آماری برای پیش‌بینی عملکرد:** دقت پیش‌بینی عملکرد، اگرچه تا 95% ادعا می‌شود، اما می‌تواند از 85% تا 95% متغیر باشد و به کیفیت داده‌های آماری مورد استفاده بستگی دارد.14

**نیاز به تأیید زمینی:** اگرچه سامانه به شناسایی مناطق مشکل‌دار کمک می‌کند اما همچنان نیاز به بازرسی‌های میدانی برای تعیین علت دقیق انحرافات از هنجار و برنامه‌ریزی درمان‌های گیاهی وجود دارد.12 این نشان می‌دهد که داده‌های ماهواره‌ای به تنهایی برای تشخیص قطعی کافی نیستند.

#### Tend

#### مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی

مأموریت Tend، ایجاد انقلابی در مدیریت مزرعه با ابزارهایی است که عملیات را ساده کرده، بهره‌وری را افزایش داده و کشاورزی پایدار را تقویت می‌کنند.65 آن‌ها معتقدند که کشاورزی ستون فقرات آینده‌ای پایدار است و هدفشان تجهیز کشاورزان به ابزارهای پیشرفته‌ای است که کار آن‌ها را ساده کرده، کارایی را افزایش داده و شیوه‌های پایدار را ترویج می‌دهد.65

ارزش پیشنهادی Tend، ارائه یک پلتفرم جامع و یکپارچه برای برنامه‌ریزی محصول، مدیریت وظایف، ردیابی موجودی و مدیریت فروش است.41 این پلتفرم به کشاورزان کمک می‌کند تا سازماندهی شده بمانند، بهره‌وری را بهبود بخشند و کارایی را افزایش دهند.23 Tend بر سادگی و کاربرپسندی تأکید دارد، با این فلسفه که "کمتر، بیشتر است" و از ویژگی‌های غیرضروری و گردش کارهای پیچیده اجتناب می‌کند.65

##### قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها

**منابع داده و روش‌شناسی پردازش تصویر:**  Tendیک پلتفرم مدیریت مزرعه است که بر برنامه‌ریزی، ردیابی و مدیریت عملیات مزرعه تمرکز دارد. در حالی که به "داده‌های بلادرنگ" و "بینش‌های مبتنی بر داده" اشاره می‌کند 23، اطلاعات موجود به طور خاص به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های پهپادی یا سنسورهای IoT به عنوان منابع داده اصلی برای تحلیل‌های خود اشاره نمی‌کند. این سامانه بیشتر بر داده‌های ورودی دستی و خودکارسازی وظایف متمرکز است.66

**کاربردهای هوش مصنوعی/یادگیری ماشین و ادعاهای دقت:**  Tendاز هوش مصنوعی برای "قالب‌های رشد مبتنی بر هوش مصنوعی" در کتابخانه محصول خود استفاده می‌کند تا برنامه‌ریزی محصول را ساده کند.69 همچنین به "اعتبارات هوش مصنوعی" در پلن‌های قیمت‌گذاری خود اشاره می‌کند. 58

##### ویژگی‌ها و خدمات خاص

**کتابخانه محصول:** یک پایگاه داده از صدها محصول (مانند گل) با مشخصات رشد مهم از جمله پنجره‌های برداشت و نرخ عملکرد، که قابل شخصی‌سازی هستند.68

**برنامه‌ریزی بصری محصول:** به کاربران امکان می‌دهد برنامه‌های محصول را برای دستیابی به اهداف تعداد ساقه، درآمد یا مساحت کشت طراحی کنند و بینش‌های فوری در مورد استفاده از فضای بستر ارائه می‌دهد.68

**مدیریت وظایف خودکار:** وظایف را برای کل فصل، از کاشت تا برداشت، به طور خودکار تولید می‌کند و گردش کار حیاتی مانند حذف گل‌های پژمرده، مونتاژ دسته‌گل و مراقبت پس از برداشت را مدیریت می‌کند.68

**مدیریت موجودی:** موجودی محصول را با به‌روزرسانی‌های بلادرنگ که با برنامه محصول هماهنگ شده‌اند، ردیابی می‌کند.68

**سفارشات و تجارت الکترونیک:** به کاربران امکان می‌دهد سفارشات عمده‌فروشی، اشتراک‌ها و فروش بازار و خرده‌فروشی را از یک صفحه واحد مشاهده و به‌روزرسانی کنند.68

**تقویم‌های دسترسی:** تعداد ساقه برای هر رقم را به طور خودکار تخمین می‌زند تا برنامه‌های دسترسی دقیق ایجاد کند.68

**گزارش‌ها و تحلیل‌ها:** گزارش‌هایی در مورد هزینه‌های تولید برای هر محصول، از جمله نیروی کار و ورودی‌ها، برای یافتن سودآورترین محصولات و تحلیل روندها ارائه می‌دهد.68

**ردیابی آفات و بیماری‌ها:** امکان برنامه‌ریزی و ردیابی وظایف شناسایی آفات، و ثبت مشکلات و درمان‌ها را فراهم می‌کند.23

**آب‌وهوا:** به‌روزرسانی‌های آب‌وهوا را برای کمک به تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌ریزی محصول و وظایف ارائه می‌دهد.23

**حالت آفلاین:** امکان مدیریت وظایف و یادداشت‌ها در میدان را حتی بدون اتصال به اینترنت فراهم می‌کند.58

حوزه‌های تمرکز اصلی

**برنامه‌ریزی و مدیریت محصول:** تمرکز اصلی بر ساده‌سازی فرآیندهای تولید محصول، از کاشت تا برداشت، با ابزارهایی برای برنامه‌ریزی، زمان‌بندی وظایف و ردیابی ورودی‌ها است.23

**مدیریت وظایف:** متمرکز بر خودکارسازی، تخصیص و نظارت بر وظایف مزرعه مانند آبیاری، کوددهی و کنترل آفات.23

**مدیریت موجودی و فروش:** به طور یکپارچه برنامه‌ریزی محصول را به کاتالوگ محصول آماده برای فروش، مدیریت سفارشات و ردیابی موجودی متصل می‌کند.23

**مدیریت آبیاری:** امکان برنامه‌ریزی و ردیابی مصرف آب و اطمینان از دریافت نیازهای هر محصول را فراهم می‌کند.23

**مدیریت مواد مغذی:** ردیابی ورودی‌هایی مانند کودها را برای به حداکثر رساندن کارایی امکان‌پذیر می‌سازد.23

**تشخیص آفات و بیماری‌ها:** ابزارهایی برای برنامه‌ریزی وظایف شناسایی آفات و ثبت مشکلات و درمان‌ها برای جلوگیری از شیوع آینده ارائه می‌دهد.23

**تحلیل و گزارش‌دهی مالی:** بینش‌هایی را برای بهبود کارایی و سودآوری، از جمله مقایسه عملکرد پیش‌بینی‌شده با نتایج واقعی و نظارت بر هزینه‌ها، ارائه می‌دهد.23

##### جامعه هدف و دسترسی‌پذیری

Tend به طور خاص برای مزارع کوچک و متوسط و مزارع متنوع طراحی شده است.41 این سامانه برای کشاورزان، مدیران مزرعه، مشاوران کشاورزی، سازمان‌های کشاورزی پایدار و عملیات کشاورزی ارگانیک قابل استفاده است.41

**مزارع کوچک و متوسط:** این پلتفرم به طور خاص به نیازهای مزارع کوچک و متوسط می‌پردازد و ابزارهای جامع و کاربرپسندی را برای برنامه‌ریزی، ردیابی و مدیریت عملیات مزرعه ارائه می‌دهد.41 این امر به آن‌ها کمک می‌کند تا سازماندهی شده بمانند و بهره‌وری و کارایی را بهبود بخشند.67

**مزارع متنوع:** Tend به طور خاص برای مزارع متنوع ساخته شده است 57، که نشان‌دهنده توانایی آن در مدیریت چندین نوع محصول و عملیات به طور همزمان است.

##### پلن‌های درآمدی و کسب‌وکار

**مدل اشتراک طبقه‌بندی شده:**  Tendاز یک مدل اشتراک طبقه‌بندی شده استفاده می‌کند که شامل پلن‌های Standard، Pro، Ultimate و Enterprise است.58

**قیمت‌گذاری:**

**Standard :** 7 دلار در ماه (صورت‌حساب سالانه)، برای افراد و مزارع کوچک که فقط به اصول اولیه نیاز دارند. شامل 1 هکتار کشت در سال و 10,000 دلار حجم سفارش در سال.58

**Pro :** 34.30 دلار در ماه (صورت‌حساب سالانه)، برای مزارع کوچک و تیم‌هایی که به قابلیت‌های پیشرفته‌تر نیاز دارند. شامل 10 هکتار کشت در سال و 100,000 دلار حجم سفارش در سال.58

**Ultimate :** 104.30 دلار در ماه (صورت‌حساب سالانه)، برای سازمان‌های در حال رشد که به تمام امکانات نیاز دارند. شامل 30 هکتار کشت در سال و 500,000 دلار حجم سفارش در سال.58

**Enterprise :** شروع از 314 دلار در ماه، برای مزارعی که به ویژگی‌ها، مقیاس، گزارش‌دهی و پشتیبانی در سطح سازمانی نیاز دارند. شامل بیش از 30 هکتار کشت در سال و بیش از 500,000 دلار حجم سفارش در سال.58

**اعتبارات هوش مصنوعی:** پلن‌ها شامل اعتبارات هوش مصنوعی هستند (200 اعتبار برای Standard، 1000 برای Pro، 3000 برای Ultimate).58

**افزودنی‌ها:** امکان خرید هکتار اضافی کشت (9.99 دلار در ماه) و کاربران اضافی (4.99 دلار در ماه) وجود دارد.58

**مشاوره و آموزش:**  Tendخدمات مشاوره و آموزش شخصی‌سازی شده را با هزینه یک‌باره 250 دلار ارائه می‌دهد.58

**دوره آزمایشی رایگان:** یک دوره آزمایشی رایگان 14 روزه و تخفیف 25% برای سال اول با کد تبلیغاتی ارائه می‌دهد.57 همچنین یک ماه اول را با 1 دلار ارائه می‌کند.58

##### شکاف‌های عملکردی، محدودیت‌ها و بازخوردهای قابل توجه

**قابلیت‌های سنجش از دور محدود:** در مقایسه با سامانه‌هایی مانند Farmonaut یا EOS Crop Monitoring، Tend به نظر می‌رسد که کمتر بر تصاویر ماهواره‌ای یا پهپادی برای تحلیل‌های عمیق سلامت محصول، تشخیص بیماری یا پیش‌بینی عملکرد تکیه دارد. اگرچه به "نقشه‌برداری ماهواره‌ای مزرعه" اشاره شده است، اما جزئیات آن محدود است و به نظر می‌رسد تمرکز اصلی آن بر مدیریت عملیاتی مزرعه است.66

**عدم تشخیص مستقیم آفات/بیماری‌ها و توصیه‌های شیمیایی:**  Tendابزارهایی برای ردیابی و ثبت وظایف شناسایی آفات و ثبت مشکلات و درمان‌ها ارائه می‌دهد.23 با این حال، اطلاعات موجود به صراحت قابلیت آن را در*تشخیص* مستقیم نوع خاصی از آفت یا بیماری یا ارائه *توصیه‌های شیمیایی* خاص بر اساس تحلیل هوش مصنوعی مشخص نمی‌کند.

**وابستگی به ورودی داده‌ها:** از آنجا که Tend عمدتاً بر مدیریت عملیاتی و برنامه‌ریزی متمرکز است، دقت و جامعیت بینش‌های آن به شدت به کیفیت و کامل بودن داده‌های ورودی توسط کاربر (مانند سوابق کشت، ورودی‌ها، وظایف) بستگی دارد.

**محدودیت‌های هوش مصنوعی:** اگرچه Tend از هوش مصنوعی برای "قالب‌های رشد" و "اعتبارات هوش مصنوعی" استفاده می‌کند، اما جزئیات در مورد عمق تحلیل‌های هوش مصنوعی آن، به ویژه در مقایسه با پلتفرم‌های ماهواره‌ای که بر بینایی ماشین برای تشخیص دقیق الگوها در تصاویر تکیه دارند، کمتر است.58

#### One Soil

##### مأموریت، ارزش پیشنهادی و فلسفه اصلی

مأموریت OneSoil، تحول کشاورزی برای آینده‌ای پایدار است.72 آن‌ها یک شرکت محصولات دیجیتال هستند که پلتفرمی را ارائه می‌دهند تا به کشاورزان و شرکت‌های کشاورزی کمک کنند سودآورتر و پایدارتر باشند.72

ارزش پیشنهادی OneSoil، کمک به نظارت از راه دور بر محصولات، افزایش عملکرد و کاهش هزینه‌های بذر و کود است.73 آن‌ها این کار را با ترکیب دانش عمیق کشاورزی دقیق و تولید محصول (که از طریق سال‌ها آزمایش میدانی به دست آمده) با تصاویر ماهواره‌ای، یادگیری ماشین و میلیون‌ها هکتار داده زمینی اختصاصی انجام می‌دهند.72 OneSoil بر کاربرپسندی، دسترسی آسان و ارائه ابزارهای رایگان برای کشاورزان در سراسر جهان تأکید دارد.18

##### قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها

**پردازش تصویر:** شامل استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI برای ردیابی رشد محصول و یافتن مناطق مشکل‌دار 18 و همچنین تحلیل تصاویر در طول زمان برای غلبه بر محدودیت‌های ابری است.17

**کاربردهای هوش مصنوعی/یادگیری ماشین:**  OneSoilبر فناوری یادگیری ماشین، تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی و الگوریتم‌ها و توسعه‌های فنی خود تکیه دارد.18 آن‌ها از هوش مصنوعی برای تعریف مرزهای مزرعه، شناسایی محصولات و مراحل رشد آن‌ها در سراسر جهان استفاده می‌کنند.17 هوش مصنوعی همچنین برای پیش‌بینی دقیق آب‌وهوای محلی، پیش‌بینی بیماری‌های گیاهی و آفات، و اندازه‌گیری سایر شاخص‌های میدانی استفاده می‌شود.17

##### ویژگی‌ها و خدمات خاص

**برنامه موبایل** OneSoil Scouting**:** امکان شناسایی مشکلات در میدان، ایجاد یادداشت و عکس، مرتب‌سازی مزارع و رنگ‌آمیزی آن‌ها بر اساس انواع داده‌ها، و بررسی پیش‌بینی آب‌وهوا برای زمان مناسب سمپاشی.73 این برنامه به صورت آفلاین نیز کار می‌کند.18

**نقشه** OneSoil **:** اولین نقشه تعاملی جهان با مزارع و محصولات شناسایی شده توسط هوش مصنوعی.72

OneSoil Yield **:** یک پلتفرم کشاورزی با کمک هوش مصنوعی که به کشاورزان کمک می‌کند بهره‌وری را افزایش دهند، ضایعات را کاهش دهند و از محیط زیست محافظت کنند.72

**مدیریت تناوب زراعی:** برنامه‌ریزی تناوب زراعی را امکان‌پذیر می‌سازد.18

**حساب چندکاربره:** به مشاوران کشاورزی یا مدیران مزارع بزرگ امکان می‌دهد تا حساب‌های چندکاربره برای کار تیمی با همکاران و کارکنان خود تنظیم کنند.18

##### حوزه‌های تمرکز اصلی

**مدیریت آبیاری:** داده‌های سنسورها به برنامه‌ریزی کارآمدتر کار کشاورزی کمک می‌کند، مانند بهینه‌سازی برنامه آبیاری و فرکانس آن.17

**مدیریت مواد مغذی:** داده‌های سنسورها به تعیین زمان بهینه برای کاربرد کود کمک می‌کند.17

**پیش‌بینی عملکرد:** این سامانه به پیش‌بینی عملکرد محصول کمک می‌کند و به کشاورزان امکان می‌دهد مناطق دارای عملکرد پایین را شناسایی کنند.72

**تشخیص آفات و بیماری‌ها:** هوش مصنوعی برای پیش‌بینی بیماری‌های گیاهی و آفات استفاده می‌شود.17 برنامه موبایل به کاربران کمک می‌کند تا مشکلات محصول (مانند آفات، خوابیدگی، بیماری و سایر ناهنجاری‌ها) را قبل از تبدیل شدن به مشکل شناسایی و رفع کنند.18

**پیش‌بینی آب‌وهوا:** ارائه پیش‌بینی دقیق آب‌وهوای محلی به کاربران کمک می‌کند تا بهترین زمان برای سمپاشی را پیدا کنند.73

##### جامعه هدف و دسترسی‌پذیری

OneSoil یک پلتفرم کشاورزی دقیق است که به کشاورزان، کارشناسان کشاورزی، مشاوران، محققان، فروشندگان ماشین‌آلات و خدمات کشاورزی و شرکت‌های علاقه‌مند به داده‌های کشاورزی با کیفیت بالا خدمات می‌دهد.18

**دسترسی‌پذیری:** ابزارهای اصلی OneSoil برای هر دو پلتفرم وب و موبایل رایگان هستند، که موانع ورود را برای کشاورزان کاهش می‌دهد.18 این پلتفرم بر سادگی و کاربرپسندی تأکید دارد و برای استفاده نیازی به سرمایه‌گذاری اولیه در ماشین‌آلات گران‌قیمت یا نرم‌افزارهای پیچیده ندارد.18 برنامه موبایل آن حتی در مناطق بدون اتصال به اینترنت نیز به صورت آفلاین کار می‌کند.18

**مزارع کوچک و بزرگ:**  OneSoilبه طور صریح بیان می‌کند که ابزارهای آن‌ها، صرف نظر از اندازه مزرعه، کار را آسان‌تر می‌کنند.18 این شامل ابزارهایی برای پیشاهنگی میدان، نظارت بر پوشش گیاهی و آب‌وهوا، برنامه‌ریزی تناوب زراعی و موارد دیگر است.18

**حساب‌های چندکاربره:** برای کارشناسان کشاورزی یا مدیران مزارع بزرگ، امکان تنظیم حساب‌های چندکاربره برای کار تیمی با همکاران و کارکنان وجود دارد تا دسترسی به مزارع، یادداشت‌ها و سایر داده‌ها به اشتراک گذاشته شود.18

##### پلن‌های درآمدی و کسب‌وکار

**مدل فریمیوم** Freemium **:** ابزارهای اصلی OneSoil برای هر دو پلتفرم وب و موبایل رایگان هستند، که شامل نظارت بر پوشش گیاهی و آب‌وهوا، برنامه‌ریزی تناوب زراعی و موارد دیگر می‌شود.18

**مدل اشتراک برای** PRO **:** برای ابزارهای پیشرفته نسخه PRO، OneSoil Pro، نیاز به اشتراک است. قیمت آن به تعداد هکتار مورد استفاده و ویژگی‌های مورد نیاز کاربر بستگی دارد.18

**برنامه نمایندگی فروش:**  OneSoilبه دنبال نمایندگان فروش در مناطق مختلف است که شامل مشاوران کشاورزی، تولیدکنندگان ماشین‌آلات و شرکت‌های خدماتی می‌شود.18

##### شکاف‌های عملکردی، محدودیت‌ها و بازخوردهای قابل توجه

**وضوح تصاویر ماهواره‌ای:** منابع اصلی اطلاعات ماهواره‌ای OneSoil، تصاویر رایگان از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده و آژانس فضایی اروپا هستند که دارای محدودیت‌هایی در وضوح پایین و وابستگی به آب‌وهوای ابری هستند.17 اگرچه آن‌ها این مشکل را با استفاده از یادگیری ماشین و تحلیل تصاویر در دوره‌های زمانی طولانی‌تر و همچنین استفاده از داده‌های ماهواره راداری Sentinel-1 (که به آب‌وهوای ابری وابسته نیست) کاهش می‌دهند.17

**عدم تشخیص مستقیم آفات/بیماری‌ها و توصیه‌های شیمیایی:** در حالی که OneSoil از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی بیماری‌های گیاهی و آفات استفاده می‌کند و به کاربران امکان می‌دهد مشکلات محصول را شناسایی کنند، اطلاعات موجود به صراحت قابلیت آن را در *نام‌گذاری* بیماری‌ها یا آفات خاص، یا ارائه *توصیه‌های شیمیایی* خاص بر اساس تحلیل هوش مصنوعی مشخص نمی‌کند.

**تأخیر در تحلیل:** در گذشته، برخی از کاربران گزارش داده‌اند که تحلیل‌ها ممکن است تا 2 روز کاری طول بکشد.61 اگرچه این مربوط به Agremo است، اما می‌تواند نشان‌دهنده یک چالش کلی در پردازش داده‌های کشاورزی باشد که OneSoil نیز ممکن است با آن مواجه شود، به خصوص برای تحلیل‌های پیچیده‌تر.

**نیاز به تأیید زمینی:** مانند سایر سامانه‌های مبتنی بر سنجش از دور، OneSoil نیز از کاربران می‌خواهد که برای تأیید مشکلات شناسایی شده توسط برنامه، به میدان بروند.73

**محدودیت‌های داده‌های هوش مصنوعی:** تحقیقات نشان می‌دهد که مهارت‌های تحلیل هوش مصنوعی ممکن است به دلیل مجموعه داده‌های مغرضانه و تکه‌تکه که بر مزارع صنعتی بزرگ متمرکز هستند، محدود شوند.16

#### نتیجه‌گیری‌

##### قابلیت‌های عملکردی و فناوری‌ها

در زمینه رابط کاربری (UI)، سامانه‌های Tend و OneSoil به دلیل سادگی و شهودی بودن برجسته هستند. OneSoil نیز با ارائه ابزارهای اصلی به صورت رایگان و بدون تبلیغات ، موانع ورود را کاهش داده و تجربه کاربری آسانی را فراهم می‌آورد. Agremo نیز رابط کاربری آسانی را برای مبتدیان و متخصصان ارائه می‌دهد که به سهولت استفاده از آن کمک می‌کند. این سامانه‌ها با تمرکز بر طراحی کاربرمحور، به کشاورزان امکان می‌دهند تا بدون نیاز به دانش فنی عمیق، از قابلیت‌های پیشرفته بهره‌مند شوند.

در بخش دقت پردازش تصاویر و هوش مصنوعی، سامانه‌های Agremo، EOSDA Crop Monitoring و Cropin پیشرو هستند. Agremo ادعای دقت تا ۹۸٪ را برای تحلیل‌های خود دارد و از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و بینایی کامپیوتر برای شناسایی و کمی‌سازی الگوهای پیچیده در تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای استفاده می‌کند. فرآیند اعتبارسنجی دقیق و نظارت انسانی بر هوش مصنوعی، قابلیت اطمینان آن را افزایش می‌دهد. EOSDA Crop Monitoring ادعای دقت پیش‌بینی عملکرد تا ۹۵٪ را دارد و از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح طیفی بالا و الگوریتم‌های اختصاصی هوش مصنوعی برای تحلیل جامع استفاده می‌کند. Cropin نیز با ۲۲ مدل هوش مصنوعی و دقت‌های بالا در پیش‌بینی (مثلاً ۹۰٪ برای عملکرد کاکائو و ۸۷٪ برای سیستم هشدار زودهنگام بیماری) ، در این دسته قرار می‌گیرد. این شرکت‌ها با سرمایه‌گذاری قابل توجه در الگوریتم‌های پیشرفته و خطوط پردازش داده قوی، داده‌های خام را به بینش‌های عملی و قابل اعتماد تبدیل می‌کنند.

##### حوزه تمرکز

در زمینه **مدیریت آبیاری**، سامانه‌های Sat.Farmonaut، OneSoil عملکرد قوی از خود نشان می‌دهند. Sat.Farmonautبر بهینه‌سازی مصرف آب با نظارت بر رطوبت خاک و محصول از طریق ماهواره تمرکز دارد و هشدارهای آبیاری را ارائه می‌دهد. OneSoil از داده‌های حسگرها برای برنامه‌ریزی کارآمدتر آبیاری و تعیین زمان بهینه کاربرد کود استفاده می‌کند. Agremo نیز با تشخیص غرقابی و نقشه‌های ارتفاعی به بهینه‌سازی آبیاری کمک می‌کند این سامانه‌ها با بهره‌گیری از منابع داده‌ای متنوع و تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده، توصیه‌های دقیقی برای کاربرد آب ارائه می‌دهند.

در خصوص **تشخیص آفات و بیماری‌ها**، Cropin به دلیل قابلیت صریح خود در "تشخیص بیماری‌های خاص" با دقت بالا (مثلاً ۸۰٪ برای بیماری غلاف سیاه کاکائو) و ارائه "سیستم هشدار زودهنگام بیماری" ، پیشرو است. این سامانه با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی پیشرفته و نمودارهای دانش کشاورزی، توانایی تشخیص دقیق‌تری را توسعه داده است. در مقابل، سامانه‌هایی مانند

Agremo، Sat.Farmonaut، OneSoil و EOSDA Crop Monitoring بیشتر بر تشخیص زودهنگام ناهنجاری‌ها و ارائه هشدارهای اولیه برای مشکلات احتمالی تمرکز دارند ، اما معمولاً نام بیماری یا آفت خاص را مشخص نمی‌کنند یا توصیه‌های شیمیایی مستقیم ارائه نمی‌دهند. این رویکرد نشان‌دهنده تمرکز بر شناسایی مشکل است تا تجویز کامل، که اغلب به تخصص انسانی نیاز دارد.

##### جامعه هدف

در زمینه پوشش گسترده‌ترین طیف کاربران،Sat.Farmonaut وCropin عملکرد برجسته‌ای دارند. Sat.Farmonaut به طور فعال کشاورزان خرد و متوسط را هدف قرار می‌دهد، از جمله کسانی که به گوشی هوشمند دسترسی ندارند، و در عین حال به شرکت‌های بزرگ کشاورزی و مؤسسات دولتی نیز خدمات ارائه می‌دهد. Cropin نیز طیف بسیار گسترده‌ای از ذینفعان، از کشاورزان تا دولت‌ها، فرآوری‌کنندگان مواد غذایی و مؤسسات مالی را پوشش می‌دهد و راه‌حل‌های مقیاس‌پذیری را برای شرکت‌های بزرگ ارائه می‌کند. این سامانه‌ها با استراتژی‌های فراگیر خود، بیشترین دسترسی را به فناوری‌های کشاورزی هوشمند فراهم می‌آورند.

در بخش تمرکز تخصصی، Agremo عمدتاً بر کشاورزان حرفه‌ای، شرکت‌های بزرگ، مشاوران و ارائه‌دهندگان خدمات پهپادی تمرکز دارد و تحلیل‌های با دقت بالا را برای نیازهای تخصصی مانند آزمایش‌های میدانی و بیمه محصول ارائه می‌دهد.

Tend به طور خاص برای مزارع کوچک و متوسط و مزارع متنوع طراحی شده است و بر مدیریت جامع عملیاتی تمرکز دارد.

##### پلن‌های درآمدی و کسب و کار

در زمینه مدل‌های اشتراکی و انعطاف‌پذیری، OneSoil و Sat.Farmonaut انعطاف‌پذیری بالایی را در مدل‌های درآمدی خود ارائه می‌دهند. OneSoil از یک مدل "فریمیوم" استفاده می‌کند که ابزارهای اصلی را به صورت رایگان ارائه می‌دهد و برای قابلیت‌های پیشرفته‌تر نسخه PRO اشتراک دریافت می‌کند. Sat.Farmonaut نیز برنامه‌های اشتراکی طبقه‌بندی شده (Basic, Standard, Premium, Elite) را با گزینه‌های پرداخت ماهانه و سالانه ارائه می‌دهد که طیف وسیعی از کاربران را پوشش می‌دهد. Tendنیز برنامه‌های اشتراکی طبقه‌بندی شده‌ای را بر اساس هکتار و حجم سفارش ارائه می‌کند. این مدل‌ها با کاهش موانع ورود و امکان ارتقاء بر اساس نیاز، به پذیرش گسترده‌تر کمک می‌کنند.

در خصوص ویژگی‌های خاص کسب‌وکار، EOSDA Crop Monitoring با راه‌حل‌های "White Label" خود برجسته است که به کسب‌وکارها امکان می‌دهد پلتفرم را با برند خودشان عرضه کنند و یک مدل b2b قوی را ایجاد می‌کند.

Sat.Farmonaut از یک برنامه نمایندگی فروش قوی و تأمین مالی خودگردان بهره می‌برد که نشان‌دهنده یک استراتژی رشد چابک و مقیاس‌پذیر است.

Cropin بر راه‌حل‌های سازمانی با ارزش بالا تمرکز دارد و هزینه‌های سالانه قابل توجهی برای مجوزها دریافت می‌کند (مثلاً ۲۵۰,۰۰۰ دلار در سال برای Cropin Grow )، که مشتریان شرکتی بزرگ و دولت‌ها را هدف قرار می‌دهد.

Agremo نیز برنامه‌های سازمانی سفارشی با تخفیف، دسترسی API و گزینه‌های همکاری در برندسازی را ارائه می‌دهد. این سامانه‌ها با استراتژی‌های نوآورانه خود، فراتر از فروش مستقیم به کاربران نهایی عمل کرده و بر مشارکت‌های استراتژیک و قراردادهای سازمانی با ارزش بالا برای دستیابی به نفوذ در بازار و جریان‌های درآمدی پایدار تمرکز دارند.

#### منابع

1. Climate-smart farming: How satellites and data are helping farmers respond to uncertainty - The Hindu Business Line, accessed on July 28, 2025, <https://www.thehindubusinessline.com/economy/agri-business/climate-smart-farming-how-satellites-and-data-are-helping-farmers-respond-to-uncertainty/article69859544.ece>
2. Crop Monitoring: Technology That Transforms How We See Fields ..., accessed on July 28, 2025, <https://qaltivate.com/blog/crop-monitoring/>
3. Best Farm Management Software Solutions | SingleClic, accessed on July 28, 2025, <https://singleclic.com/sustainable-farm-management-software-transforming-agriculture-with-effective-solutions/>
4. Agremo: Field Analytics Software & Precision Agriculture, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/>
5. Why are Agremo analysis reports accurate and reliable? - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/documentation/why-are-agremo-analysis-reports-accurate-and-reliable/>
6. Radiometric Calibration and Corrections - GSP 216, accessed on July 28, 2025, <http://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/online/lesson7/radiometric.html>
7. Radiometric Correction of Satellite Images - MicroImages, accessed on July 28, 2025, <https://www.microimages.com/documentation/TechGuides/82RadiometricCorr.pdf>
8. AI-Powered Satellite Imagery For Precision Farming - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/ai-powered-satellite-imagery-boosts-precision-farming>
9. Fast Satellite Image Processing For Agriculture - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/remote-sensing/20-million-satellite-images-processed-fast-by-farmonaut>
10. Blogs - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/remote-sensing/empowering-colorblind-farmers-farmonauts-innovative-black-and-white-satellite-data-visualization/>
11. EOS Data Analytics - AWS Marketplace, accessed on July 28, 2025, <https://aws.amazon.com/marketplace/seller-profile?id=f6e1c353-3207-452e-b794-b350e3619493>
12. Precision Agriculture Technology, Benefits & Application, accessed on July 28, 2025, <https://eos.com/blog/precision-agriculture/>
13. Satellite Agriculture Monitoring 24/7 For Modern Agribusinesses🛰️, accessed on July 28, 2025, <https://eos.com/products/crop-monitoring/key-functions/satellite-monitoring/>
14. Crop Yield Estimation Using Remote Sensing By EOSDA, accessed on July 28, 2025, <https://eos.com/products/crop-monitoring/custom-solutions/yield-prediction/>
15. EOS Crop Monitoring - Features & Pricing (July 2025) - SaaSworthy, accessed on July 28, 2025, <https://www.saasworthy.com/product/eos-crop-monitoring>
16. Leveraging Machine Learning and AI Tools for Advanced Soil Sampling in Modern Agriculture - ResearchGate, accessed on July 28, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/389284599_Leveraging_Machine_Learning_and_AI_Tools_for_Advanced_Soil_Sampling_in_Modern_Agriculture>
17. How AI-based precision farming startup OneSoil collects data - Medium, accessed on July 28, 2025, <https://medium.com/onesoil/how-ai-based-precision-farming-startup-onesoil-collects-data-dc44a36b1452>
18. What is OneSoil?, accessed on July 28, 2025, <https://help.onesoil.ai/en/articles/5237693-what-is-onesoil>
19. Remote Sensing In Agriculture: Top Applications For 2025, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/remote-sensing/remote-sensing-in-agriculture-top-applications-for-2025>
20. Advanced Crop Modeling & Yield Forecasting With Satellites, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/revolutionizing-precision-agriculture-satellite-driven-crop-management-and-yield-prediction-with-advanced-remote-sensing-analytics>
21. Crop Monitoring App & Field Monitoring System Guide - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/blogs/farmonaut-web-app-tutorial/>
22. Challenges and opportunities in remote sensing-based crop monitoring: a review - Oxford Academic, accessed on July 28, 2025, <https://academic.oup.com/nsr/article/10/4/nwac290/6939854>
23. Crop Management Software, accessed on July 28, 2025, <https://www.tend.com/solutions/crop-management-software>
24. Farm Forecasting: Boost Yields With Weather & Crops Tech - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/boost-farm-yields-fast-with-weather-forecasting-tech>
25. Best Agriculture Software for Farmers: Selection of 2025 - EOS Data Analytics, accessed on July 28, 2025, <https://eos.com/blog/software-for-agriculture/>
26. Top 10 Crop Management Software Farmers Trust in 2025 - FJDynamics, accessed on July 28, 2025, <https://www.fjdynamics.com/blog/industry-insights-65/crop-management-software-557>
27. Crop State Audit - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/products/crop-state-audit/>
28. Https WWW - Agremo.com Wp-Content Uploads 2022 03 Crop-Monitoring | PDF - Scribd, accessed on July 28, 2025, <https://www.scribd.com/document/786885705/Https-Www-agremo-com-Wp-content-Uploads-2022-03-Crop-Monitoring>
29. Use Cases Archive - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/usecases/>
30. Smart Farming Revolution: Farmonaut's Global Impact, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/from-fields-to-frontiers-farmonauts-global-impact-on-smart-farming>
31. How Farmonaut is providing a bird's-eye view of farming | YourStory, accessed on July 28, 2025, <https://yourstory.com/2025/07/startup-farmonaut-providing-birds-eye-view-farming>
32. Maximize Farm ROI: The Ultimate Guide To Agricultural Marketing ROI, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/partner-with-us/maximizing-roi-a-guide-for-partnering-with-farmonaut>
33. Satellites In Agriculture: Precision & Imaging Insights - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/transforming-agriculture-how-farmonauts-satellite-imaging-revolutionizes-precision-farming-and-sustainability>
34. Boost Reselling Business & Maximize Profit With Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/partner-with-us/boost-agro-service-centre-growth-with-farmonaut-reseller>
35. Blogs - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/bridging-the-digital-divide-farmonauts-smartphone-free-satellite-advisory-revolutionizes-farming/>
36. Big Data In Agriculture: Analytics For Smart Farming Decisions, accessed on July 28, 2025, <https://eos.com/blog/big-data-in-agriculture/>
37. Crop Monitoring - Apps on Google Play, accessed on July 28, 2025, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eos.scouting>
38. EOSDA Crop Monitoring White Label - AWS Marketplace, accessed on July 28, 2025, <https://aws.amazon.com/marketplace/pp/prodview-xtl4ty73beki4>
39. The Farm Management Extension Audience of 2030 - Choices Magazine, accessed on July 28, 2025, <https://www.choicesmagazine.org/UserFiles/file/cmsarticle_687.pdf>
40. Farm Management Software Market Size, Share, Report Trends 2032 - MarketsandMarkets, accessed on July 28, 2025, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/farm-management-software-market-217016636.html>
41. Tend Reviews & Ratings 2025 - TrustRadius, accessed on July 28, 2025, <https://www.trustradius.com/products/tend/reviews>
42. Data driven Farm Management Software for all Farms | Agworld | Agworld, accessed on July 28, 2025, <https://www.agworld.com/us/>
43. Enterprises and Multiple User Accounts - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/documentation/enterprises-and-multiple-user-accounts/>
44. Precision farming software - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/products/>
45. Stand Count Analysis & Reporting - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/products/stand-count-analysis/>
46. Frequently asked questions - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/learn/faq/>
47. Agremo: Crop Monitoring - HSE-UAV, accessed on July 28, 2025, <https://hse-uav.com/products/agremo-crop-monitoring>
48. Agremo: Field Trials - HSE-UAV, accessed on July 28, 2025, <https://hse-uav.com/products/agremo-field-trials>
49. Agremo Crop Protection Software (1 Year) - D1 Store, accessed on July 28, 2025, <https://www.d1store.com.au/products/agremo-crop-protection-software>
50. Potato Farming: Advanced crop monitoring & smart spraying - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/usecases/potato-farming-advanced-crop-monitoring-smart-spraying/>
51. Agremo Advanced Package - Crop Monitoring Solutions - TJ Aerosense, accessed on July 28, 2025, <https://tjaerosense.com/products/agremo-advanced>
52. app.dealroom.co, accessed on July 28, 2025, <https://app.dealroom.co/companies/agremo#:~:text=Operating%20in%20the%20precision%20agriculture,assess%20risks%2C%20and%20optimize%20yields.>
53. Farmonaut Pricing, accessed on July 28, 2025, <https://sat.farmonaut.com/pricing.html>
54. Revolutionize Your Farm: Unlock the Power of Satellite-Driven ..., accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/revolutionize-your-farm-unlock-the-power-of-satellite-driven-agriculture-with-farmonaut/>
55. EOS Crop Monitoring Pricing: Detailed Cost & Plans & Alternatives, accessed on July 28, 2025, <https://www.spotsaas.com/product/eos-crop-monitoring/pricing>
56. Tend Connector - Farm management software for small-scale diversified farms | Shopify App Store, accessed on July 28, 2025, <https://apps.shopify.com/tend-connector>
57. Tend Smart Farm | Crop Management Tool - ActiveVista for Market-Farm & Garden, accessed on July 28, 2025, <https://www.activevista.com.au/tend/>
58. Pricing | Tend.com - Tend's farm management software, accessed on July 28, 2025, <https://www.tend.com/pricing>
59. FAST Tools - farmdoc, accessed on July 28, 2025, <https://farmdoc.illinois.edu/fast>
60. 9 Best Agriculture Apps & Software for 2025 | Farm Tools Guide, accessed on July 28, 2025, <https://www.localline.co/blog/agriculture-apps>
61. Has anyone ever used Agremo? : r/UAVmapping - Reddit, accessed on July 28, 2025, <https://www.reddit.com/r/UAVmapping/comments/91nqeh/has_anyone_ever_used_agremo/>
62. EOSDA Crop Monitoring – Your Smart Farming Assistant, accessed on July 28, 2025, <https://crop-monitoring.eos.com/>
63. EOSDA Crop Monitoring Reviews 2025: Details, Pricing, & Features ..., accessed on July 28, 2025, <https://www.g2.com/products/eosda-crop-monitoring/reviews>
64. Satellite Solutions For IT Companies & Developers - EOS Data ..., accessed on July 28, 2025, <https://eos.com/products/crop-monitoring/it-companies/>
65. About Us - Tend's farm management software, accessed on July 28, 2025, <https://www.tend.com/about-us>
66. A Local Line alternative that connects your sales to the rest of your business. - Tend's farm management software, accessed on July 28, 2025, <https://www.tend.com/resources/comparison/tend-local-line>
67. 15+ Best Software for Farmers (2025) - Local Line, accessed on July 28, 2025, <https://www.localline.co/blog/best-software-for-farmers>
68. Flower Farm Management | Tend.com, accessed on July 28, 2025, <https://www.tend.com/solutions/flower-farm-management>
69. Introducing Tend 2.0 – Revolutionizing Farm Management - YouTube, accessed on July 28, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=LnqJn0--u94>
70. From slugs to goats: the evolution of smart farming ... - eeNews Europe, accessed on July 28, 2025, <https://www.eenewseurope.com/en/from-slugs-to-goats-the-evolution-of-smart-farming/>
71. Small-Scale Farming in the United States: Challenges and Pathways to Enhanced Productivity and Profitability - MDPI, accessed on July 28, 2025, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/15/6752>
72. History and Mission - OneSoil, accessed on July 28, 2025, <https://onesoil.ai/en/about>
73. OneSoil | Free Farming App for Precision Agriculture, accessed on July 28, 2025, <https://onesoil.ai/>
74. Agremo: Field Analytics Software & Precision Agriculture, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com>
75. Agremo: Field Analytics Software & Precision Agriculture, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/>
76. Agremo: Field Analytics Software & Precision Agriculture, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/>
77. Crop-Monitoring.pdf - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/wp-content/uploads/2022/03/Crop-Monitoring.pdf>
78. Https WWW - Agremo.com Wp-Content Uploads 2022 03 Crop-Monitoring | PDF - Scribd, accessed on July 28, 2025, <https://www.scribd.com/document/786885705/Https-Www-agremo-com-Wp-content-Uploads-2022-03-Crop-Monitoring>
79. Getting Started with Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/documentation/getting-started-with-agremo/>
80. Precision farming software - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/products/>
81. Agremo: Field Trials - HSE-UAV, accessed on July 28, 2025, <https://hse-uav.com/products/agremo-field-trials>
82. Agremo: Crop Monitoring - HSE-UAV, accessed on July 28, 2025, <https://hse-uav.com/products/agremo-crop-monitoring>
83. Enterprises and Multiple User Accounts - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/documentation/enterprises-and-multiple-user-accounts/>
84. Crop Monitoring - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/products/crop-monitoring/>
85. Corn Yield Calculator - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/farming-tools/corn-yield-calculator/>
86. Precision Crop Growers - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/solutions/precision-grower/>
87. Ag Insurance Assessors - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/solutions/insurance-processor/>
88. Agremo Satellite User Manual, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/documentation/agremo-satellite-user-manual/>
89. How Agremo Analytics Works, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/how-agremo-analytics-works/>
90. Radiometric Calibration and Corrections - GSP 216, accessed on July 28, 2025, <http://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/online/lesson7/radiometric.html>
91. Real-time analysis User Guide - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/documentation/real-time-analysis-guide/>
92. Why are Agremo analysis reports accurate and reliable? - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/documentation/why-are-agremo-analysis-reports-accurate-and-reliable/>
93. Forestry Professionals - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/solutions/forest-manager/>
94. Has anyone ever used Agremo? : r/UAVmapping - Reddit, accessed on July 28, 2025, <https://www.reddit.com/r/UAVmapping/comments/91nqeh/has_anyone_ever_used_agremo/>
95. Agremo Advanced Package - Crop Monitoring Solutions - TJ Aerosense, accessed on July 28, 2025, <https://tjaerosense.com/products/agremo-advanced>
96. Potato Farming: Advanced crop monitoring & smart spraying - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/usecases/potato-farming-advanced-crop-monitoring-smart-spraying/>

### معرفی و بررسی محصولات مشابه داخلی

در ادامه ارزیابی جامع سامانه‌های کشاورزی هوشمند، این بخش به بررسی محصولات داخلی فعال در این حوزه می‌پردازد. سامانه‌های Fazayesh.SpaceOmid، Joutyar، Keshtyar، Tiznegar، SatPlat، Rahban و Jereeb به عنوان نمونه‌های موفق بومی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند که هر یک با رویکردی متفاوت به حل چالش‌های خاص کشاورزی ایران پرداخته‌اند. این بررسی با چهار معیار اصلی انجام می‌شود: قابلیت‌های فنی شامل دقت پردازش داده‌ها و پشتیبانی از هوش مصنوعی، حوزه‌های تخصصی تمرکز هر سامانه، جامعه هدف مورد نظر و مدل‌های درآمدی اتخاذ شده.

#### Fazayesh.SpaceOmid

سامانه فضایش، محصول شرکت امیدفضا، یک پلتفرم پایش کشاورزی است که بر پایه تصاویر ماهواره‌ای فعالیت می‌کند. این سامانه پایش سلامت انواع محصولات کشاورزی را به صورت برخط و رایگان با استفاده از جدیدترین تصاویر ماهواره‌ای ارائه می‌دهد.25 فرآیند کاربری آن ساده است: کاربر ابتدا محدوده زمین کشاورزی خود را مشخص و ثبت می‌کند، سپس شاخص ماهواره‌ای مورد نظر خود را انتخاب کرده و پس از چند ثانیه، وضعیت مزرعه با تناوب هفتگی مشخص می‌شود.25 این سرعت بالا در پردازش و ارائه نقشه‌ها (در حد چند ثانیه) یک مزیت عملیاتی مهم است که به تصمیم‌گیری‌های سریع‌تر در مزرعه کمک می‌کند و تجربه کاربری را بهبود می‌بخشد.25 همچنین، این سامانه قابلیت نمایش اطلاعات هواشناسی مزرعه و پیش‌بینی هفت روز آینده را نیز دارد.25

حوزه تمرکز فعلی فضایش نسبتاً محدود به پایش پایه سلامت محصول و ارائه اطلاعات هواشناسی مزرعه است.25 با این حال، این سامانه برنامه‌های توسعه آتی گسترده‌ای را اعلام کرده است که شامل تشخیص نوع محصول، سمپاشی پهپادی، آبیاری هوشمند و نهاده‌های کشاورزی می‌شود.25 این برنامه‌ها نشان‌دهنده تمایل به گسترش به حوزه‌های عملیاتی‌تر و تصمیم‌گیری‌های پیچیده‌تر، مانند مدیریت آبیاری و سمپاشی، است. قابلیت‌های فعلی فضایش در مقایسه با سامانه‌های جامع‌تر، نشان‌دهنده یک رویکرد مرحله‌ای در توسعه محصول است.

با توجه به ارائه خدمات "رایگان" و سادگی استفاده، می‌توان فرض کرد که کشاورزان خرد و متوسط نیز بخشی از جامعه هدف فضایش هستند.25 آمارهای اعلام شده توسط سامانه نشان می‌دهد که ۱۷۰۰۰ هکتار مزرعه و ۵۳۰۰ قطعه زمین در آن ثبت شده و ۱۰۰۰ حساب کاربری ایجاد شده است.25 این مدل کسب‌وکار به نظر می‌رسد بر پایه "فریمیوم" استوار است، که در آن خدمات پایه بدون هزینه ارائه شده و احتمالاً خدمات پیشرفته‌تر که در آینده عرضه خواهند شد (مانند سمپاشی پهپادی یا آبیاری هوشمند)، با هزینه عرضه خواهند شد.25 این مدل برای جذب سریع کاربران و ایجاد یک پایگاه داده بزرگ از مزارع مفید است، اما چالش اصلی در این مدل، چگونگی ترغیب کاربران به پرداخت برای قابلیت‌های آتی است که نیازمند ارائه ارزش افزوده قابل توجه در خدمات پولی است.

یکی از ویژگی‌های برجسته فضایش، ارائه شاخص‌های گیاهی ماهواره‌ای هر شش روز یکبار به صورت برخط و رایگان است.25 این سامانه همچنین اطلاعات هواشناسی مزرعه و پیش‌بینی هفت روز آینده را نمایش می‌دهد.25 قابلیت تعریف محدوده زمین توسط کاربر و دریافت نقشه وضعیت مزرعه در چند ثانیه، یک مزیت قابل توجه است که به تصمیم‌گیری سریع‌تر کمک می‌کند.25 با این حال، از شکاف‌های عملکردی آن می‌توان به عدم وجود قابلیت‌های پیشرفته عملیاتی در حال حاضر، عدم شفافیت در مدل درآمدی بلندمدت، عدم ذکر جزئیات دقت پردازش تصاویر و هوش مصنوعی، و عدم پشتیبانی از داده‌های پهپادی یا حسگرهای زمینی اشاره کرد.25

#### Joutyar

جوتیار خود را به عنوان "اولین سامانه جامع پایش ماهواره‌ای و هوایی کشاورزی کشور" معرفی می‌کند.28 این سامانه بر پایه آنالیز تصاویر ماهواره‌ای و هوش مصنوعی به کشاورزان کمک می‌کند تا بدون نیاز به حضور فیزیکی در مزرعه، وضعیت محصولات خود را از زمان کشت تا برداشت پایش و فعالیت‌های زراعی، سمپاشی و آبیاری را متناسب با نیازهای مختلف مزرعه مدیریت کنند.16 جوتیار قابلیت پایش ماهواره‌ای اراضی و پایش هوایی با پهپاد را ارائه می‌دهد و به تصاویر ماهواره‌ای با دوره بازگشت ۲ تا ۵ روزه دسترسی دارد که امکان نظارت مستمر را فراهم می‌کند.16 یک قابلیت فنی قابل توجه جوتیار، استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای افزایش رزولوشن تصاویر ماهواره‌ای از ۱۰ متر به ۲.۵ متر است که دقت تحلیل‌ها را در مقیاس مزرعه‌ای به طور چشمگیری افزایش می‌دهد و امکان شناسایی مشکلات در مقیاس کوچک‌تر را فراهم می‌کند.28 سامانه همچنین قادر به برآورد پارامترهای رشد و تراکم، کلروفیل، تنش آبی، نیتروژن، سطح برگ، تبخیر و تعرق و نیاز آبیاری است و برای ارائه وضعیت رشد و سلامت محصول در شرایط ابری و برآورد رطوبت خاک، از تصاویر راداری نیز استفاده می‌کند.28

جوتیار تمرکز قوی بر مدیریت آبیاری دارد و قابلیت‌هایی مانند پایش روزانه نیاز آبی، برنامه‌ریزی دقیق آبیاری مزارع و باغات (حتی به تفکیک هر درخت)، تعیین ساعت آبیاری بر مبنای نوع سیستم، ماشین حساب آبیاری، برآورد عمق آبیاری و تبخیر و تعرق روزانه را ارائه می‌دهد.16 این تمرکز جامع بر مدیریت آبیاری در سطح خرد، نشان‌دهنده پاسخگویی به چالش‌های کم‌آبی در ایران است و یک مزیت رقابتی مهم محسوب می‌شود.16 همچنین، این سامانه به تشخیص و هشدار بیماری و آفات محصول، هشدار تنش‌های محصول، برآورد سطح زیر کشت و تخمین میزان تولید محصول قبل از برداشت، و ارزیابی خسارت بلایای طبیعی می‌پردازد.16

جوتیار کشاورزان، کشت و صنعت‌ها و سازمان‌ها را به عنوان جامعه هدف خود قرار داده است و دارای قابلیت ایجاد سطوح دسترسی برای مدیران کشت و صنعت‌ها و ارائه داشبورد مدیریتی سازمان‌ها است.16 علاوه بر این، ارائه API سازمانی و کاداستر اراضی با پهپاد، نشان‌دهنده هدف‌گذاری بر روی مشتریان بزرگ و سازمانی (B2B و B2G) علاوه بر کشاورزان خرد است.16 جوتیار با مدل "رایگان شروع کنید" خدمات اولیه خود را ارائه می‌دهد و هزینه‌ها برای سرویس‌های پیش‌بینی وضعیت هوا و برآورد محصول می‌تواند بسته به نوع سرویس، میزان دقت، حجم داده‌ها، تعداد تصاویر و مدت زمان پیش‌بینی متفاوت باشد.16

از ویژگی‌های خاص جوتیار می‌توان به معرفی خود به عنوان "اولین سامانه جامع پایش ماهواره‌ای و هوایی کشاورزی کشور" 28، ارائه مشاوره تخصصی گیاه پزشکی و خاک‌شناسی به صورت آنلاین 28 و دسترسی آفلاین برای کاربران 27 اشاره کرد. با این حال، از شکاف‌های عملکردی آن می‌توان به عدم شفافیت در دقت عددی پیش‌بینی‌ها و نیاز به دسترسی به پهپاد یا خدمات پهپادی برای بهره‌مندی کامل از قابلیت‌های پایش هوایی اشاره کرد.16

#### Keshtyar

کشتیار به عنوان یک دستیار هوشمند برای زمین‌های کشاورزی معرفی شده است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور و در کنار دانش کشاورزی، راهکارهایی برای افزایش عملکرد و تولید محصولات کشاورزی ارائه می‌دهد.35 اصلی‌ترین کار کشتیار، نظارت ماهواره‌ای بر سلامت و رشد گیاه است و از هوش مصنوعی در پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌کند تا اطلاعات دقیق و قابل اعتمادی را در خصوص زمین کشاورزی و محصولات مختلف ارائه دهد.20 تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور هر ۲ تا ۵ روز یکبار به‌روزرسانی می‌شوند و دسترسی به تصاویر ۶ ماه اخیر نیز فراهم است.20 اطلاعات مفیدی که کشتیار ارائه می‌دهد شامل رطوبت موجود در گیاه، سطح پوشش گیاهی، تراکم گیاه و سلامت گیاه است.35 ادغام "دانش کشاورزی" با "تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور" نشان‌دهنده رویکردی جامع‌تر از صرفاً تحلیل داده‌های خام است که می‌تواند به توصیه‌های عملی‌تر و قابل فهم‌تر برای کشاورزان منجر شود.35

کشتیار بر نظارت بر سلامت و رشد گیاه و شناسایی مناطق دارای مشکل یا رشد غیرمعمول تمرکز دارد.29 این سامانه همچنین مدیریت فعالیت‌ها و نظارت یکپارچه بر تمام زمین‌های ثبت شده را امکان‌پذیر می‌سازد.20 یک حوزه تمرکز مهم دیگر، تأمین و طبقه‌بندی داده‌های کلان برای نیازهای استراتژیک سازمان‌های تجاری و نهادهای دولتی است که شامل قابلیت‌هایی مانند شناسایی تغییرات کاربری اراضی، تشخیص و تخمین تغییرات سطح اراضی کشاورزی، شناسایی تغییرات پوشش‌های گیاهی، و پیش‌بینی عملکرد بازار می‌شود.20 جامعه هدف کشتیار شامل کشاورزان (با قابلیت شناسایی مناطق مشکل‌دار بدون حضور فیزیکی) 35 و همچنین سازمان‌های تجاری و نهادهای دولتی (برای نیازهای استراتژیک و داده‌های کلان) است.20 قابلیت "غیر مخرب بودن" تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یک ویژگی مهم، برای کشاورزانی که نگران آسیب به زمین یا محصولات خود هستند، جذاب است و کشتیار این ویژگی را به عنوان یک مزیت کلیدی برجسته می‌کند.35

اطلاعات صریحی در مورد پلن‌های درآمدی و مدل کسب‌وکار کشتیار در منابع موجود نیست که این عدم شفافیت می‌تواند یک نقطه ضعف برای جذب سرمایه‌گذاران یا مشتریان جدید باشد.29 از ویژگی‌های خاص کشتیار می‌توان به نظارت ماهواره‌ای غیر مخرب بر سلامت و رشد گیاه 35 و قابلیت "پیش‌بینی عملکرد بازار" 20 اشاره کرد که فراتر از پیش‌بینی عملکرد مزرعه‌ای است.

با این حال، از شکاف‌های عملکردی آن می‌توان به عدم شفافیت در مدل درآمدی، عدم ذکر جزئیات دقت هوش مصنوعی/پردازش تصاویر، ابهام در هویت سامانه (وجود دو سامانه با نام "کشتیار" که یکی سنجش از دور و دیگری کشاورزی قراردادی زیر نظر وزارت جهاد کشاورزی است) 36 و عدم پشتیبانی از پهپاد یا IoT اشاره کرد که می‌تواند دقت و جزئیات تحلیل را در مقیاس خرد محدود کند.

#### Tiznegar

تیزنگر، با محصول اصلی خود یعنی "سامانه هوشمند مشاهدات ماهواره‌ای (سهم)"، یک پلتفرم پیشرفته برای پایش و تحلیل ماهواره‌ای در حوزه‌های مختلف، از جمله کشاورزی، ارائه می‌دهد.23 سامانه سهم تیزنگر، قابلیت پایش و تحلیل ماهواره‌ای سدها و منابع آبی کشور را فراهم می‌کند و فراتر از منابع آبی، در حوزه‌های گسترده‌ای مانند پایش خشکسالی، تشخیص آتش‌سوزی جنگل‌ها، تغییرات کاربری زمین، کیفیت هوا، لکه‌های نفتی در دریا، و ارزیابی پوشش گیاهی کشاورزی نیز قابل بهره‌برداری است.23 این توانایی در پوشش طیف وسیعی از کاربردهای غیرکشاورزی، نشان‌دهنده یک پلتفرم سنجش از دور عمومی و قدرتمند است که قابلیت انطباق با نیازهای مختلف را دارد.23 تیزنگر از سنجش از دور ماهواره‌ای، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی دقیق شرایط استفاده می‌کند و قادر است مناطق دارای تنش (مانند کم‌آبی، کمبود مواد مغذی، بیماری) را از طریق تغییرات غیرمعمول در تصاویر ماهواره‌ای شناسایی کند.19

حوزه تمرکز اصلی تیزنگر در ابتدا بر پایش و تحلیل ماهواره‌ای منابع آبی (سدها) بوده و سپس به کاربردهای کشاورزی گسترش یافته است.19 این کاربردهای کشاورزی شامل ارزیابی پوشش گیاهی، مدیریت آبیاری (شناسایی مناطق خشک و نیازمند آب)، تشخیص آفات و بیماری‌ها در مراحل اولیه، تغذیه دقیق (شناسایی مناطق با کمبود مواد مغذی)، پیش‌بینی عملکرد محصول، مدیریت خاک (شناسایی تغییرات ساختار خاک، فرسایش یا شوری) و پایش آب و هوا (دما، رطوبت، بارش) می‌شود.19 این تمرکز اولیه بر منابع آبی و سپس گسترش به کشاورزی، نشان‌دهنده رویکردی از بالا به پایین (Macro to Micro) در کاربرد سنجش از دور است که می‌تواند برای نهادهای دولتی و مدیریت منابع در سطح ملی جذاب باشد.23 جامعه هدف تیزنگر بیشتر به سمت نهادهای مدیریتی، عمرانی، زیست‌محیطی و پژوهشی در سطح کشور متمایل است.23 این رویکرد می‌تواند به قراردادهای بزرگ و بلندمدت منجر شود. با این حال، تیزنگر اطلاعات را به صورت ساده و قابل فهم از طریق داشبورد یا اپلیکیشن سهم در اختیار کشاورزان نیز قرار می‌دهد.19

تیزنگر با ارائه نسخه‌های اختصاصی و خدمات مشاوره‌ای به نهادها درآمدزایی می‌کند.23 مدل درآمدی آن به نظر می‌رسد بیشتر بر پایه قراردادهای سازمانی و خدمات مشاوره‌ای سفارشی (Custom Solutions) استوار است تا مدل‌های اشتراکی عمومی برای کشاورزان خرد.23 این مدل می‌تواند سودآوری بالایی داشته باشد، اما ممکن است مقیاس‌پذیری آن برای جذب انبوه کشاورزان محدود باشد. سیستم "سهم" به عنوان محصول اصلی تیزنگر، قابلیت پایش چندگانه (از سدها تا پوشش گیاهی کشاورزی) را ارائه می‌دهد و هشدارهای پیشگیرانه برای مشکلاتی مانند تنش خشکی، کمبود مواد مغذی یا شیوع بیماری‌ها در مراحل اولیه را فراهم می‌کند.19

از شکاف‌های عملکردی آن می‌توان به تمرکز کمتر بر کشاورزان خرد، عدم شفافیت در مدل درآمدی عمومی، عدم ذکر جزئیات دقت (اگرچه به "پیش‌بینی دقیق شرایط" اشاره شده) 19، و عدم پشتیبانی از داده‌های پهپادی یا IoT اشاره کرد.

#### SatPlat

ست‌پلت یک شرکت دانش‌بنیان در حوزه کشاورزی هوشمند است که با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، زمین‌های کشاورزی را پایش می‌کند و هدف اصلی آن افزایش بهره‌وری محصول از طریق تولید بیشتر و کاهش هزینه‌ها است.37 ست‌پلت خدمات کاملاً خودکار را با استفاده از هوش مصنوعی برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و هوایی در جنبه‌های مختلف منابع طبیعی ارائه می‌دهد.37 این سامانه قادر به پایش هفتگی اراضی است که به کشاورزان کمک می‌کند تا با آگاهی از وضعیت مزرعه خود، اقدامات لازم را انجام دهند.37 قابلیت‌های آن شامل استخراج اطلاعات کاربردی مانند میزان رشد گیاه، سلامت و تراکم گیاه، محتوای آبی گیاه، محتوای کلروفیل و نیتروژن گیاه در کل مزرعه از طریق نقشه‌های کاربردی است.21 ست‌پلت همچنین قادر به محاسبه میزان تولید محصول به دو صورت پیش‌نگر و پس‌نگر است و توانایی ارائه هشدارهای اولیه برای بیماری‌های خاص مانند زنگ زرد گندم و بلاست برنج را دارد.17 این سامانه تا ۲۵۰ ترابایت تصویر پایش شده را پردازش کرده است که نشان‌دهنده مقیاس بالای عملیات و توانایی پردازشی آن است.17

ست‌پلت بر مدیریت و برنامه‌ریزی برای مراحل داشت، کاشت و برداشت تمرکز دارد.21 این سامانه با ارائه نقشه‌های شاخص‌های گیاهی، اطلاعات هواشناسی، برآورد عملکرد محصول، پیش‌آگاهی از آفات، نقشه‌های رطوبت خاک و نمودارهای سری زمانی، به کشاورزان در تصمیم‌گیری‌های بهینه کمک می‌کند.17 توانایی مقایسه رشد محصول با شرایط نرمال و استاندارد، به کشاورزان امکان مدیریت زراعی (آبیاری، کوددهی و سمپاشی) را در زمان مناسب می‌دهد.17 تمرکز بر ارائه هشدارهای اولیه برای بیماری‌های خاص (مانند زنگ زرد گندم) یک مزیت قابل توجه در تشخیص آفات و بیماری‌ها است.17

جامعه هدف ست‌پلت شامل کشاورزان، مدیران کشت و صنعت‌ها و مشاوران کشاورزی است.21 این سامانه برای کشاورزان، با کاهش مصرف آب و نهاده‌ها، به دنبال افزایش بهره‌وری است.21 برای مدیران کشت و صنعت‌ها، ست‌پلت امکان نظارت کامل بر جزئیات عملیات زراعی و اتخاذ تصمیمات دقیق‌تر را فراهم می‌کند.21 بازخوردهای مشتریان از کشت و صنعت‌های بزرگ (مانند دشت ناز، مؤید، بنیاد و خرم توس) نشان‌دهنده کاربرد و رضایت از ست‌پلت در مدیریت مزارع بزرگ است.17 این موضوع نشان می‌دهد که ست‌پلت برای عملیات کشاورزی در مقیاس وسیع، یک راه‌حل کارآمد ارائه می‌دهد.

اطلاعات صریحی در مورد پلن‌های درآمدی ست‌پلت در منابع موجود نیست.17 با این حال، عباراتی مانند "با ست‌پلت به مزرعه خود از همیشه نزدیک‌تر باش کاهش هزینه ها، در تمام مراحل کاشت با کشاورزی مدرن" 17 و "با کمترین هزینه هوشمند شو" 38 نشان‌دهنده تمرکز بر کاهش هزینه برای کشاورزان است که می‌تواند به مدل‌های اشتراکی یا پرداخت بر اساس میزان استفاده اشاره داشته باشد. ست‌پلت پایش مداوم پوشش سراسر ایران را فراهم می‌کند و با استفاده از نمودار سری زمانی، امکان بررسی و مقایسه سرعت رشد محصول در فصل زراعی جاری و فصول زراعی چند سال قبل را می‌دهد.17 از شکاف‌های عملکردی آن می‌توان به عدم شفافیت در مدل درآمدی، عدم ذکر جزئیات دقت هوش مصنوعی و عدم پشتیبانی از جمع‌آوری داده با پهپاد اشاره کرد.

#### Rahban

سامانه هوشمند باغداری رهبان به عنوان یک "دستیار بی خطا و خستگی ناپذیر" معرفی شده است که به صورت ۲۴/۷ و در تمام طول سال خدمت‌رسانی می‌کند و بر پایه فناوری‌های نوپدید در صنعت کشاورزی بنا شده است.22 رهبان از سنسورهای رطوبت برگ برای پیش‌بینی وقوع بیماری‌ها و اجرای اقدامات حفاظتی استفاده می‌کند.22 سامانه مدیریت، کنترل و نظارت آبیاری در باغداری هوشمند، فرآیند کوددهی و آب‌دهی را خودکار می‌کند و مصرف آب و کود را بهینه می‌سازد.22 این شامل کنترل روشن/خاموش و دور موتور، تنظیم فشار آب، کنترل شیرهای برقی، مدیریت سطح آب مخازن و کنترل تزریق کود می‌شود.22 این سامانه از اتصال سنسورها به عملگرها برای ارسال خودکار تصمیمات به سایر تجهیزات استفاده می‌کند، که مزرعه را به "یک دژ محکم خودکار" تبدیل می‌کند که هوشمندانه به تغییرات واکنش نشان می‌دهد.22 ماهواره‌ها نیز در خدمت باغداری هوشمند رهبان هستند و پایش دائمی شرایط خاک و درختان، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و وضعیت شاخص سبزینگی را فراهم می‌کنند.22 رهبان از اینترنت اشیاء (IoT) و هوش مصنوعی (AI) برای جمع‌آوری داده از منابع مختلف مانند دستگاه‌های IoT، مجموعه‌های حسگر، سیستم‌های سخت‌افزاری و ماهواره‌ها استفاده می‌کند و الگوریتم‌های AI اختصاصی توصیه‌های عملی را ارائه می‌دهند.24

رهبان تمرکز قوی بر باغداری هوشمند دارد و به طور خاص به مدیریت آفات، آبیاری هوشمند و اطلاع از وضعیت کنونی و آینده باغ می‌پردازد.22 این سامانه با طراحی و تولید ماشین‌آلات مدرن منطبق با شرایط اقلیمی و رقم و نژاد محصولات ایرانی، راهکارهای بومی ارائه می‌دهد.22 این تمرکز بر "باغداری" و "باغات" با ویژگی‌هایی مانند "برنامه آبیاری به تفکیک هر درخت" و "سنسور رطوبت برگ"، نشان‌دهنده تخصص در محصولات دائمی و باغبانی با ارزش بالا است.22 علاوه بر کشاورزی، رهبان بر دامداری هوشمند و آبزی‌پروری هوشمند نیز تمرکز دارد.24 جامعه هدف رهبان شامل کشاورزان، دامداران و پرورش‌دهندگان آبزیان است و ادعای "بزرگترین و مجهزترین سامانه مدیریت کشاورزی در ایران" 24 نشان‌دهنده هدف‌گذاری بر طیف وسیعی از کاربران، از کشاورزان خرد تا واحدهای بزرگ صنعتی، است.

اطلاعات صریحی در مورد پلن‌های درآمدی رهبان در منابع موجود نیست.24 با این حال، ادعاهایی مانند "افزایش تولید تا ۲۵٪ و کاهش هزینه‌های نهاده تا ۲۰٪" 24 نشان‌دهنده مدل مبتنی بر ارزش (Value-based pricing) است که در آن سودآوری و کاهش هزینه‌ها برای مشتری، پایه و اساس مدل درآمدی را تشکیل می‌دهد. رهبان به عنوان "اولین پلتفرم هوشمند کشاورزی و باغبانی مبتنی بر فناوری‌های نوپدید" معرفی شده است.39 این سامانه با کاهش قیمت تمام‌شده محصولات، کاهش آسیب به محیط زیست و آب‌های زیرزمینی، افزایش طول عمر درختان و بهبود کیفیت محصول (به دلیل مصرف کمتر سم) مزایای قابل توجهی ارائه می‌دهد.22 قابلیت‌های اتوماسیون پیشرفته، مانند اتصال سنسورها به عملگرها برای واکنش‌های هوشمندانه مزرعه، یک سطح بالاتر از اتوماسیون را نسبت به سامانه‌های صرفاً توصیه‌گر نشان می‌دهد.22 طراحی بومی و انطباق کامل با اقلیم و ارقام محصولات ایرانی، یک مزیت رقابتی مهم در بازار داخلی است.22

از شکاف‌های عملکردی آن می‌توان به عدم شفافیت در مدل درآمدی، عدم ذکر جزئیات دقت (اگرچه به "دستیار بی خطا" و "تصمیمات آگاهانه" اشاره شده) 22، نیاز به سخت‌افزار (سنسورها) برای بهره‌مندی کامل و تمرکز اصلی بر باغبانی اشاره کرد.

#### Jereeb

جریب یک استارتاپ کشاورزی است که با استفاده از نقشه‌های چندطیفی پهپادی و تجزیه و تحلیل داده‌های زمینی و ماهواره‌ای، وضعیت کشت و کار را به اطلاع کشاورز می‌رساند.18 ماموریت آن توانمندسازی کشاورزان با ابزار و دانش جامع برای تصمیم‌گیری آگاهانه و بهینه‌سازی شیوه‌های مدیریت باغ خود است.18 جریب فناوری پیشرفته پهپاد، تکنیک‌های سنجش از راه دور، تجزیه و تحلیل داده‌ها و راه‌حل‌های نرم‌افزاری کشاورزی خود را ترکیب می‌کند.18 این سامانه از پهپادهای مجهز به دوربین‌های RGB با وضوح بالا برای نقشه‌برداری و تولید نقشه‌های ارتوموزائیک با دقت سانتیمتر استفاده می‌کند.18 همچنین، از حسگرهای چندطیفی پیشرفته (با باندهای G - R - RE - NIR) برای ثبت تصاویر فراتر از طیف مرئی و تولید شاخص‌های گیاهی مانند NDVI استفاده می‌کند.18 تیم جریب، داده‌های RGB و چندطیفی را با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و تکنیک‌های یادگیری ماشینی پردازش و تفسیر می‌کند.18 این قابلیت‌ها به کشاورزان امکان می‌دهد تا سلامت محصول را ارزیابی کنند، الگوهای آبیاری را نظارت کنند، مناطق استرس‌زا یا بیماری را شناسایی کنند و رشد محصول را در طول زمان دنبال کنند.18

حوزه تمرکز جریب بر روی کشاورزی، به ویژه مدیریت باغ‌ها و مزارع است.18 این سامانه به طور خاص بر مدیریت باغ‌های پسته تمرکز دارد و "تقویم باغبانی" شامل دستورالعمل‌های یک ساله مخصوص باغات پسته را ارائه می‌دهد.26 این نشان‌دهنده یک تخصص قوی در حوزه باغبانی و محصولات خاص است. جریب به تشخیص زودهنگام آفات و بیماری‌ها، مدیریت مواد مغذی (بهینه‌سازی کاربرد کود) و بهینه‌سازی عملکرد کمک می‌کند.18 جامعه هدف اصلی جریب، کشاورزان هستند.18 این سامانه با ارائه اپلیکیشن برای تمام دستگاه‌های هوشمند (تلفن همراه، لپ‌تاپ و تبلت) و قابلیت دسترسی آفلاین به نقشه‌های ماهواره‌ای، به دنبال افزایش دسترسی‌پذیری برای کشاورزان در مناطق مختلف، حتی با محدودیت‌های اینترنتی، است.26 این رویکرد به ویژه برای کشاورزان خرد و متوسط که ممکن است به زیرساخت‌های پیشرفته دسترسی نداشته باشند، بسیار مفید است.

جریب امکان "شروع رایگان" استفاده از نرم‌افزار را از طریق وب‌سایت خود فراهم می‌کند.26 این نشان‌دهنده مدل کسب‌وکار فریمیوم است که در آن خدمات پایه به صورت رایگان ارائه شده و احتمالاً خدمات پیشرفته‌تر یا حجم داده بیشتر نیازمند اشتراک پولی خواهد بود. اطلاعات مربوط به پلن‌های درآمدی دقیق‌تر در منابع موجود نیست.18 جریب قابلیت دانلود نقشه‌های ماهواره‌ای و دسترسی به اطلاعات به صورت آفلاین را فراهم می‌کند که یک مزیت مهم برای کشاورزان در مناطق روستایی با دسترسی محدود به اینترنت است.26 این سامانه همچنین دارای "دانشنامه آفات، بیماری‌ها و کمبود عناصر" است که فراتر از صرفاً تشخیص، به آموزش و ارائه اطلاعات تکمیلی به کشاورزان می‌پردازد.26

از شکاف‌های عملکردی آن می‌توان به عدم شفافیت در مدل درآمدی، عدم ذکر دقت هوش مصنوعی/پردازش تصاویر، نیاز به داده‌های پهپادی برای بهره‌مندی کامل، و تمرکز بر باغات اشاره کرد.

#### مقایسه و تحلیل جامع سامانه‌های داخلی

بررسی سامانه‌های داخلی نشان می‌دهد که اکثر آن‌ها بر محوریت سنجش از دور ماهواره‌ای و استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای پردازش داده‌ها متمرکز هستند. این موضوع نشان‌دهنده یک روند تکنولوژیکی غالب در کشاورزی هوشمند ایران است و هر سامانه جدیدی باید بر این پایه بنا شود یا تمایز معناداری در این زمینه ایجاد کند.

**حوزه تمرکز اصلی:** همگرایی قابل توجهی در حوزه‌های تمرکز مشاهده می‌شود، به‌ویژه در مدیریت آبیاری و تشخیص آفات و بیماری‌ها. این همگرایی، نیاز مبرم بازار ایران به راه‌حل‌هایی برای صرفه‌جویی در آب و کنترل خسارات محصول را برجسته می‌سازد. سامانه‌هایی مانند جوتیار و رهبان با ارائه قابلیت‌های بسیار دقیق در مدیریت آبیاری (مانند تفکیک هر درخت یا اتوماسیون سنسور به عملگر) 16، در این زمینه تمایز ایجاد کرده‌اند. ست‌پلت نیز با هشدارهای آفات خاص برای بیماری‌های رایج، سطح بالاتری از جزئیات را در تشخیص آفات ارائه می‌دهد.17

**جامعه هدف و مدل‌های کسب‌وکار:** سامانه‌ها استراتژی‌های متفاوتی در هدف‌گذاری مشتری دارند. برخی مانند فضایش و جریب از مدل فریمیوم برای جذب کشاورزان خرد استفاده می‌کنند.25 در مقابل، تیزنگر بیشتر بر نهادهای دولتی و سازمان‌های بزرگ (B2G) تمرکز دارد.23 جوتیار، کشتیار و ست‌پلت سعی در پوشش هر دو گروه (کشاورزان و کشت و صنعت‌ها) دارند.16 این تنوع نشان‌دهنده وجود بخش‌های مختلف بازار است که هر سامانه با استراتژی خاصی به آن ورود کرده است. مدل‌های فریمیوم یا اشتراکی رایج هستند، که نشان‌دهنده تمایل بازار به دسترسی اولیه رایگان یا کم‌هزینه و سپس پرداخت برای قابلیت‌های پیشرفته‌تر است.

**ویژگی‌های متمایزکننده:** برخی سامانه‌ها ویژگی‌های خاصی برای متمایز شدن ارائه می‌دهند: جوتیار با افزایش رزولوشن تصاویر ماهواره‌ای با هوش مصنوعی 28، رهبان و جریب با تخصص در باغبانی 22، و جریب و جوتیار با قابلیت دسترسی آفلاین 27، خود را متمایز کرده‌اند. همچنین، جریب با ارائه "دانشنامه آفات، بیماری‌ها و کمبود عناصر" 26 و جوتیار با "مشاوره تخصصی گیاه پزشکی آنلاین" 28، لایه دانش انسانی را به تحلیل‌های داده‌محور اضافه می‌کنند. رهبان نیز با اتوماسیون پیشرفته (اتصال سنسورها به عملگرها) 22، سطح بالاتری از اتوماسیون را نشان می‌دهد.

**شکاف‌های عملکردی و معایب:** یک چالش مشترک در بررسی سامانه‌های داخلی، عدم شفافیت در ارائه معایب یا محدودیت‌ها در منابع عمومی آن‌ها است.16 این موضوع نیاز به استنتاج بر اساس مقایسه و شناسایی ویژگی‌های غایب دارد. شکاف‌های رایج شامل عدم شفافیت در مدل‌های درآمدی، عدم ارائه جزئیات دقیق دقت هوش مصنوعی و پردازش تصاویر، و عدم پوشش جامع داده‌های پهپادی یا IoT در برخی سامانه‌ها است. همچنین، نیاز به سخت‌افزار اضافی (مانند سنسورها یا پهپاد) در برخی موارد می‌تواند هزینه اولیه و پیچیدگی راه‌اندازی را برای برخی کاربران افزایش دهد.

#### نتیجه‌گیری

بررسی سامانه‌های هوشمند کشاورزی داخلی نشان می‌دهد که این بازار در ایران در حال رشد و توسعه است و بازیگران متعددی با رویکردهای متنوع در آن فعالیت می‌کنند. اکثر این سامانه‌ها بر پایه سنجش از دور ماهواره‌ای و استفاده از هوش مصنوعی بنا شده‌اند و به طور خاص بر چالش‌های حیاتی مانند کمبود آب و مدیریت آفات و بیماری‌ها تمرکز دارند. این همگرایی در حوزه‌های تمرکز، نشان‌دهنده نیازهای مبرم بازار و فرصت‌های رقابتی در ارائه راه‌حل‌های نوآورانه است.

##### نقاط قوت کلی سامانه‌های داخلی:

**پایه قوی در سنجش از دور و هوش مصنوعی:** اکثر سامانه‌ها از این فناوری‌ها به عنوان هسته اصلی خود استفاده می‌کنند که امکان تحلیل داده‌های پیچیده و ارائه بینش‌های ارزشمند را فراهم می‌آورد.

**تمرکز بر نیازهای بومی:** بسیاری از سامانه‌ها به طور خاص به چالش‌های اقلیمی و کشاورزی ایران (مانند کم‌آبی) پاسخ می‌دهند.

**مدل‌های دسترسی متنوع:** از مدل‌های فریمیوم برای جذب کشاورزان خرد تا راه‌حل‌های سازمانی برای کشت و صنعت‌ها، تنوع در مدل‌های دسترسی وجود دارد.

#### منابع

1. Smart farming | Digital Agriculture Solutions - TIS Grupa, accessed on July 29, 2025, <https://tis-grupa.com/en/smart-farming-digital-agriculture-solutions-tis-grupa/>
2. Iran's agricultural renaissance with smart farming - Press TV, accessed on July 29, 2025, <https://www.presstv.ir/Detail/2025/07/19/751477/Iran%E2%80%99s-agricultural-renaissance-with-smart-farming->
3. Iran's agricultural renaissance with smart farming, accessed on July 29, 2025, <https://borna.news/en/news/301/iran%E2%80%99s-agricultural-renaissance-with-smart-farming>
4. Leveraging Machine Learning and AI Tools for Advanced Soil Sampling in Modern Agriculture - ResearchGate, accessed on July 28, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/389284599_Leveraging_Machine_Learning_and_AI_Tools_for_Advanced_Soil_Sampling_in_Modern_Agriculture>
5. Farm Management Software Market Size, Share, Report Trends 2032 - MarketsandMarkets, accessed on July 28, 2025, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/farm-management-software-market-217016636.html>
6. آخرین اخبار - توسعه هوشمند - Vista, accessed on July 29, 2025, <https://vista.ir/t/3/%D8%AA%D9%88%D8%B3%D8%B9%D9%87+%D9%87%D9%88%D8%B4%D9%85%D9%86%D8%AF>
7. Agriculture Ministry aims to implement smart irrigation on 20000 hectares by Mar. 2026, accessed on July 29, 2025, <https://www.tehrantimes.com/news/516108/Agriculture-Ministry-aims-to-implement-smart-irrigation-on-20-000>
8. Crop Monitoring: Technology That Transforms How We See Fields ..., accessed on July 28, 2025, <https://qaltivate.com/blog/crop-monitoring/>
9. AI-Powered Satellite Imagery For Precision Farming - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/ai-powered-satellite-imagery-boosts-precision-farming>
10. Agremo: Field Analytics Software & Precision Agriculture, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/>
11. Why are Agremo analysis reports accurate and reliable? - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/documentation/why-are-agremo-analysis-reports-accurate-and-reliable/>
12. Forestry Professionals - Agremo, accessed on July 28, 2025, <https://www.agremo.com/solutions/forest-manager/>
13. Fast Satellite Image Processing For Agriculture - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/remote-sensing/20-million-satellite-images-processed-fast-by-farmonaut>
14. Crop Yield Estimation Using Remote Sensing By EOSDA, accessed on July 28, 2025, <https://eos.com/products/crop-monitoring/custom-solutions/yield-prediction/>
15. Maximizing Yield through Predictive Intelligence & Remote Sensing ..., accessed on July 28, 2025, <https://cropin.com/case_study/maximizing-yield-through-predictive-intelligence-remote-sensing-solutions/>
16. جوتیار - سامانه پایش ماهواره‌ای کشاورزی, accessed on July 29, 2025, <https://joutyar.ir/>
17. ست پلت | سامانه ای برای کشاورزی هوشمند, accessed on July 29, 2025, <https://satplat.com/>
18. جریب، نرم افزار کشاورزی ایرانی در سطح جهانی - خبرآنلاین, accessed on July 29, 2025, <https://www.khabaronline.ir/news/1768702/%D8%AC%D8%B1%DB%8C%D8%A8-%D9%86%D8%B1%D9%85-%D8%A7%D9%81%D8%B2%D8%A7%D8%B1-%DA%A9%D8%B4%D8%A7%D9%88%D8%B1%D8%B2%DB%8C-%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86%DB%8C-%D8%AF%D8%B1-%D8%B3%D8%B7%D8%AD-%D8%AC%D9%87%D8%A7%D9%86%DB%8C>
19. کشاورزی دقیق | تیزنگر %, accessed on July 29, 2025, <https://tiznegar.com/en/4278/%DA%A9%D8%B4%D8%A7%D9%88%D8%B1%D8%B2%DB%8C-%D8%AF%D9%82%DB%8C%D9%82/>
20. کشتیار: خانه, accessed on July 29, 2025, <https://keshtyaar.ir/>
21. خدمات - ست پلت | سامانه ای برای کشاورزی هوشمند, accessed on July 29, 2025, <https://satplat.com/%D8%AE%D8%AF%D9%85%D8%A7%D8%AA/>
22. سامانه باغداری هوشمند رهبان - هوش مصنوعی, accessed on July 29, 2025, <https://aictexpo.ir/product/%D8%B3%D8%A7%D9%85%D8%A7%D9%86%D9%87-%D8%A8%D8%A7%D8%BA%D8%AF%D8%A7%D8%B1%DB%8C-%D9%87%D9%88%D8%B4%D9%85%D9%86%D8%AF-%D8%B1%D9%87%D8%A8%D8%A7%D9%86/>
23. تصاویر ماهواره ای از وضعیت ۱۲ سد ایران؛ رشد منفی منابع آبی در ۸ سال - خبرگزاری مهر, accessed on July 29, 2025, <https://www.mehrnews.com/news/6545139/%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D9%88%DB%8C%D8%B1-%D9%85%D8%A7%D9%87%D9%88%D8%A7%D8%B1%D9%87-%D8%A7%DB%8C-%D8%A7%D8%B2-%D9%88%D8%B6%D8%B9%DB%8C%D8%AA-%DB%B1%DB%B2-%D8%B3%D8%AF-%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86-%D8%B1%D8%B4%D8%AF-%D9%85%D9%86%D9%81%DB%8C-%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%A8%D8%B9-%D8%A2%D8%A8%DB%8C-%D8%AF%D8%B1>
24. کشاورزی هوشمند: 50% افزایش تولید در 2 دوره کشت با پرتو تاپ رایان, accessed on July 29, 2025, <https://partotaprayan.ir/>
25. سامانه کشاورزی دقیق فضایش - SpaceOMID, accessed on July 29, 2025, <https://spaceomid.com/fazayesh>
26. جریب، نرم‌افزار کشاورزی هوشمند و مدیریت نوین باغداری - YouTube, accessed on July 29, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=NR_f0vjaY5I>
27. What is OneSoil?, accessed on July 28, 2025, <https://help.onesoil.ai/en/articles/5237693-what-is-onesoil>
28. طرح ها - جوتیار, accessed on July 29, 2025, <https://joutyar.ir/designs/>
29. کشتیار دستیار هوشمند کشاورزی - آپارات, accessed on July 29, 2025, <https://www.aparat.com/v/LoW0B>
30. Blogs - Farmonaut, accessed on July 28, 2025, <https://farmonaut.com/precision-farming/bridging-the-digital-divide-farmonauts-smartphone-free-satellite-advisory-revolutionizes-farming/>
31. The Farm Management Extension Audience of 2030 - Choices Magazine, accessed on July 28, 2025, <https://www.choicesmagazine.org/UserFiles/file/cmsarticle_687.pdf>
32. Small-Scale Farming in the United States: Challenges and Pathways to Enhanced Productivity and Profitability - MDPI, accessed on July 28, 2025, <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/15/6752>
33. Climate-smart farming: How satellites and data are helping farmers ..., accessed on July 28, 2025, <https://thehindubusinessline.com/economy/agri-business/climate-smart-farming-how-satellites-and-data-are-helping-farmers-respond-to-uncertainty/article69859544.ece>
34. AEC673/WC336: Identifying and Meeting the Needs of Extension's Target Audiences, accessed on July 28, 2025, <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/WC336>
35. مدیریت بهینه زمین کشاورزی با سامانه هوشمند کشتیار - باشگاه خبرنگاران جوان, accessed on July 29, 2025, <https://www.yjc.ir/fa/news/7672941/%D9%85%D8%AF%DB%8C%D8%B1%DB%8C%D8%AA-%D8%A8%D9%87%DB%8C%D9%86%D9%87-%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-%DA%A9%D8%B4%D8%A7%D9%88%D8%B1%D8%B2%DB%8C-%D8%A8%D8%A7-%D8%B3%D8%A7%D9%85%D8%A7%D9%86%D9%87-%D9%87%D9%88%D8%B4%D9%85%D9%86%D8%AF-%DA%A9%D8%B4%D8%AA%DB%8C%D8%A7%D8%B1>
36. سامانه هوشمند کشاورزی قراردادی, accessed on July 29, 2025, <https://cfis.ir/>
37. درباره ست پلت - ست پلت | سامانه ای برای کشاورزی هوشمند, accessed on July 29, 2025, <https://satplat.com/about-us/>
38. satplat - ست پلت, accessed on July 29, 2025, <https://satplat.com/en/>
39. ثبت نام سامانه کارشناس کشاورزی رهبان - پرتوتاپ رایان, accessed on July 29, 2025, <https://partotaprayan.ir/home/smart-solution/smart-agriculture/%D8%AB%D8%A8%D8%AA-%D9%86%D8%A7%D9%85-%D8%B1%D9%87%D8%A8%D8%A7%D9%86/>

## مزیت های رقابتی سامانه هدف

### مزیت‌های رقابتی نسبت به سامانه‌های خارجی

درحالی که سامانه‌هایی مانند Crop.Monitoring.EOS یا Agremo بر داده‌های جهانی تکیه دارند، این سامانه از داده‌های اختصاصی اقلیم ایران (شامل الگوهای بارشی، نوع خاک و شرایط آب‌وهوایی خاص مناطق مختلف کشور) بهره می‌برد. همچنین، پشتیبانی از محصولات استراتژیک ایران مانند پسته، زعفران و زرشک که در سامانه‌های خارجی کمتر دیده می‌شود، از دیگر نقاط قوت محسوب می‌شود. از نظر فناوری، سیستم ترکیب هوش مصنوعی با دانش بومی کشاورزان ایرانی را ارائه می‌دهد که دقت توصیه‌های عملیاتی را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.

### مزیت‌های رقابتی نسبت به سامانه‌های داخلی

در مقایسه با رقبای داخلی مانند Joutyar یا Keshtyar، سامانه هدف از معماری پیشرفته‌تر و مقیاس‌پذیر برخوردار است که امکان پردازش داده‌های حجیم با سرعت بالاتر را فراهم می‌کند. امکان بهبود رزولوشن تصاویر ماهواره ای که باعث دقت مکانی بالاتر و وضوح بیشتر تحلیل های بصری می شود نیز یکی از مهمترین مزیت های رقابتی این سامانه است. همچنین پوشش گسترده‌تر شاخص‌های گیاهی (شامل ۱۵ شاخص تخصصی در مقابل ۵-۷ شاخص در رقبا) و سیستم هشدار هوشمند پیشرفته که قادر به کاهش ریسک است، از مزیت‌های کلیدی محسوب می‌شوند. از نظر اقتصادی نیز مدل درآمدی انعطاف‌پذیر این سامانه (ترکیبی از اشتراک، فروش ماژول و درآمدهای تبلیغاتی هدفمند) نسبت به مدل‌های تک‌بعدی رقبا، پایداری مالی بیشتری را تضمین می‌کند.

#### مزیت‌های منحصربه‌فرد

* سامانه توصیه‌گر تطبیقی که با یادگیری مداوم از رفتار کاربران، پیشنهادهای شخصی‌سازی شده ارائه می‌دهد
* پلتفرم یکپارچه مزرعه تا بازار که امکان ردیابی کامل زنجیره ارزش را فراهم می‌کند.
* پشتیبانی چندزبانه (فارسی، انگلیسی) برای کاربران در مناطق مختلف
* رابط کاربری هوشمند با قابلیت تنظیم بر اساس نیاز کشاورز

این مزیت‌ها در کنار هزینه عملیاتی پایین‌تر نسبت به سامانه‌های خارجی (به دلیل حذف هزینه‌های انتقال ارز) و پشتیبانی محلی سریع، موقعیت رقابتی ممتازی برای سامانه هدف ایجاد می‌کند که می‌تواند سهم بازار قابل توجهی را در 3 بخش کشاورزان خرده‌پا و کشت‌وصنعت‌های بزرگ و مدیران کلان به خود اختصاص دهد.

# فصل پنجم پیشنهادات خلاقانه برای توسعه آتی سامانه کشاورزی مکانی هوشمند

## مقدمه

بخش کشاورزی در سراسر جهان با فشارهای فزاینده‌ای مواجه است که ناشی از رشد سریع جمعیت، پیامدهای غیرقابل انکار تغییرات اقلیمی و کمبود فزاینده منابع حیاتی مانند آب و زمین‌های قابل کشت است. این چالش‌ها، نیاز مبرم به افزایش تولید غذا را در کنار تضمین پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی برجسته می‌سازند (Keskes, 2025). روش‌های سنتی کشاورزی که اغلب متکی بر نیروی کار فشرده و ورودی‌های غیربهینه هستند، دیگر برای پاسخگویی به این تقاضاهای فزاینده و پیچیده کافی نیستند. این وضعیت، یک تغییر پارادایم به سمت نوآوری فناورانه را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. بنابراین کشاورزی جهانی در آستانه تحولی عمیق قرار دارد که توسط همگرایی بی‌سابقه فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT)، رباتیک و بلاک‌چین هدایت می‌شود (Marzougui & ELLEUCH, 2025). ایجاد اکوسیستم‌های کشاورزی خودمختار مبتنی بر هوش مصنوعی، پیاده‌سازی کشاورزی دوقلوی دیجیتال پیش‌بینی‌کننده و تجویزی، توسعه کشاورزی چرخشی و قابلیت ردیابی مبتنی بر بلاک‌چین، استقرار کشاورزی با محیط کنترل‌شده تطبیق‌پذیر با اقلیم و بهینه‌سازی‌شده از نظر منابع و معرفی مدیریت تغذیه و سلامت محصول فوق‌شخصی‌سازی‌ از جمله برنامه های آتی توسعه کشاورزی هوشمند معرفی شده اند. هر یک از این مفاهیم با بهره‌گیری از هم‌افزایی فناوری‌های نوظهور، پتانسیل بازتعریف شیوه‌های تولید غذا را دارند. با این حال، تحقق این پتانسیل مستلزم غلبه بر چالش‌هایی نظیر یکپارچه‌سازی داده‌ها، نیازهای زیرساختی، ملاحظات اقتصادی و اخلاقی و توسعه مهارت‌های نیروی کار است (Nautiyal et al., 2025). سرمایه‌گذاری استراتژیک ذینفعان و همکاری همه‌جانبه برای کشت آینده‌ای پایدار و پربار در کشاورزی جزو ملزومات تحقق برنامه های آتی می باشد. این بخش پیشنهادات خلاقانه‌ای را برای توسعه آتی سامانه‌ پیشنهادی ارائه می‌دهد که بر افزایش کارایی، پایداری، تاب‌آوری و سودآوری سامانه پیشنهادی تمرکز دارند.

## فناوری‌های کلیدی

این بخش به تفصیل، فناوری‌های بنیادی و در حال حاضر پیاده‌سازی شده را تشریح می‌کند که ستون فقرات کشاورزی مکانی هوشمند را تشکیل می‌دهند و مروری جامع بر قابلیت‌ها و تأثیرات کنونی آن‌ها ارائه می‌دهد.

### هوش مصنوعی (AI)

هوش مصنوعی به جزء لاینفک کشاورزی مدرن تبدیل شده‌اند و به کشاورزان امکان می‌دهند تا مجموعه داده‌های پیچیده را تجزیه و تحلیل کرده و تصمیمات آگاهانه‌تری بگیرند (Chen et al., 2020). این فناوری‌ در حال حاضر برای پیش‌بینی الگوهای آب و هوایی، تشخیص بیماری‌های گیاهی و حتی پیش‌بینی شیوع آفات با دقت قابل توجهی استفاده می‌شود(Mohan et al., 2025) . پلتفرم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، تصاویر ماهواره‌ای، شرایط خاک و داده‌های آب و هوایی را تجزیه و تحلیل می‌کنند تا استراتژی‌های کاشت را با دقت تقریباً کامل دیکته کنند. پهپادها و حسگرهای مجهز به هوش مصنوعی، کیفیت خاک، سلامت محصول و نیازهای آبیاری را به صورت لحظه‌ای نظارت می‌کنند. علاوه بر این، سامانه‌های هوش مصنوعی برای تخمین رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و عملکرد محصول به کار می‌روند که کاربرد خودکار و دقیق آب، کود، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها را تسهیل می‌کند. هوش مصنوعی همچنین کنترل کیفیت را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد، رشد گندم و رسیدگی گوجه‌فرنگی را به دقت ردیابی می‌کند و بیماری‌هایی مانند پوسیدگی سیاه سیب و حشرات آفت را با دقت بیش از ۹۰٪ شناسایی می‌کند.هوش مصنوعی اساساً کشاورزی را از اتکا به شهود به دقت داده‌محور تغییر می‌دهد که منجر به کاهش چشمگیر ضایعات و بهبود قابل توجه عملکرد می‌شود. این فناوری کشاورزان را قادر می‌سازد تا جنبه‌های تغییرپذیری فضایی در مزارع خود را که بر رشد و عملکرد تأثیر منفی می‌گذارند، شناسایی و به طور مؤثر با آن‌ها مقابله کنند.

هوش مصنوعی در حال حاضر کشاورزی را در "سه سطح اساسی: در سطح مزرعه، در سطح استراتژیک و در بخش تحقیقات" متحول می‌کند که نشان‌دهنده نفوذ فراگیر آن در کل زنجیره ارزش کشاورزی است (Kaushik, 2025). هوش مصنوعی دارای "قدرت محاسباتی فوق‌العاده‌ای" است و قادر به حل "مسائل پیچیده" و "به تدریج جایگزین کردن نیروی کار انسانی" است. نقش هوش مصنوعی در "تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده" و توانمندسازی "دقت در تصمیم‌گیری" نیز برجسته است. به عبارتی هوش مصنوعی صرفاً یک ابزار مکمل برای وظایف خاص نیست؛ بلکه به سرعت در حال تبدیل شدن به هسته هوشمندی است که اطلاعات را از حسگرهای اینترنت اشیا پردازش می‌کند، داده‌ها را از سنجش از دور تفسیر می‌کند و عملیات رباتیک را هدایت و بهینه می‌سازد.این توانایی هوش مصنوعی برای ارکستراسیون و بهینه‌سازی کل فرآیند کشاورزی، به دلیل دسترسی فزاینده به "حجم عظیمی از داده‌ها" و "حسگرها/دوربین‌های ارزان‌قیمت" ممکن شده است(Chen et al., 2020) . این دسترسی، توانایی یادگیری هوش مصنوعی، به ویژه یادگیری عمیق، را افزایش داده و به آن اجازه می‌دهد تا چالش‌های پیچیده‌تر کشاورزی را حل کند (Keskes, 2025).این تحول به این معناست که توسعه آینده باید به طور استراتژیک بر تقویت نقش مرکزی و ارکستراسیون هوش مصنوعی تمرکز کند و آن را قادر سازد تا به عنوان موتور اصلی تصمیم‌گیری و مدیریت خودمختار برای عملیات کشاورزی پیچیده‌تر و به هم پیوسته‌تر عمل کند. این امر فراتر از خودکارسازی وظایف فردی است و به سمت ایجاد یک سامانه کشاورزی خودبهینه و خودگردان پیش می‌رود.

### هوش مصنوعی پیشرفته و هوش مصنوعی مولد

هوش مصنوعی به طور چشمگیری فراتر از قابلیت‌های پیش‌بینی کنونی به سمت تکنیک‌های یادگیری عمیق پیچیده‌تر، از جمله شبکه‌های عصبی پیچشی، یادگیری ترانسفورمر و یادگیری متا، حرکت خواهد کرد که توانایی یادگیری بسیار قوی‌تری برای انجام وظایف حتی پیچیده‌تر در کشاورزی دقیق دارند(Chen et al., 2020) . هوش مصنوعی مولد نقش محوری ایفا خواهد کرد، نه تنها تجزیه و تحلیل بلکه *ایجاد* شبیه‌سازی‌های بسیار دقیق از سناریوهای مختلف کاشت، بهینه‌سازی عملکرد در عین به حداقل رساندن مصرف منابع و بهبود بیشتر فرآیندها با ترکیب مجموعه‌داده‌های پیچیده به بینش‌های لحظه‌ای و قابل اجرا. همچنین در تسریع تحقیق و توسعه با ایجاد مدل‌های پیش‌بینی‌کننده برای تاب‌آوری محصول، طراحی فرمولاسیون‌های بیولوژیکی بهینه و شبیه‌سازی استراتژی‌های سازگاری با اقلیم بسیار مهم خواهد بود. این تکامل، پیش‌بینی‌های بی‌سابقه دقیق، تصمیم‌گیری انطباقی بالا و کشف و ورود سریع‌تر راه‌حل‌های نوآورانه در فناوری کشاورزی را ممکن می‌سازد. هوش مصنوعی بینش‌های فوق‌العاده خاصی را در مورد محصولات مناسب برای یک سال و مکان معین، همراه با زمان‌های بهینه برای کاشت و برداشت، ارائه خواهد داد که به طور چشمگیری ضایعات ورودی را کاهش می‌دهد (Sai et al., 2025).

### اینترنت اشیا (IoT) و شبکه‌های حسگر

اینترنت اشیا در کشاورزی، حسگرها، پهپادها و ماشین‌آلات را به هم متصل می‌کند تا فرآیندهای از راه دور را خودکار کرده و بینش‌های لحظه‌ای در مورد عوامل حیاتی مانند سلامت خاک، الگوهای آب و هوایی و شرایط محصول ارائه دهد. حسگرهای هوشمند، از جمله حسگرهای رطوبت خاک، pH و تنش گیاهی، داده‌های لحظه‌ای را ارائه می‌دهند که تصمیم‌گیری آگاهانه را ممکن می‌سازد و مداخلات هدفمند مانند آبیاری بهینه، کوددهی و مدیریت آفات را تسهیل می‌کند (Jadhav et al., 2024). دستگاه‌های مجهز به اینترنت اشیا امکان تخصیص دقیق منابع و مداخلات به موقع را فراهم می‌کنند؛ به عنوان مثال، یک مانیتور تنش تاک مبتنی بر ابر در کالیفرنیا، عملکرد را ۲۶٪ افزایش داده و مصرف آب را ۱۶٪ کاهش داده است.اینترنت اشیا به عنوان ستون فقرات ضروری برای جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای عمل می‌کند و اطلاعات حیاتی را به سامانه‌های هوش مصنوعی/یادگیری ماشین برای بینش‌های عملی و فعال‌سازی اتوماسیون پیشرفته تحویل می دهد که در نهایت منجر به افزایش قابل توجه تولید و بهینه‌سازی مصرف منابع می‌شود (Marzougui & ELLEUCH, 2025).

حسگرهای آینده ارزان‌تر، فراگیرتر و قادر به ثبت داده‌ها با دقت و وضوح طیفی بسیار بالاتر خواهند شد،به طوری که فراتر از رطوبت و pH پایه به اندازه‌گیری جزئیات پیچیده‌ای مانند بافت خاک، تنش گیاه در سطح مولکولی، کمبود مواد مغذی، و حتی نظارت بر شرایط زیرساخت‌های زیرزمینی خواهند پرداخت. یکپارچگی اینترنت اشیا امکان نظارت بی‌درنگ از راه دور، تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده از طریق هوش مصنوعی/یادگیری ماشین پیشرفته و سامانه‌های کنترل کاملاً خودکار را فراهم می‌کند که تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده بسیار دقیق را برای شیوع بیماری‌ها و پیش‌بینی عملکرد ممکن می‌سازد.این امر پاسخگویی بی‌سابقه در زمان واقعی و توانایی تنظیم مداخلات با دقت بالا را فراهم می‌کند، به طوری که آب و کودها در "سطح مولکولی" اعمال می‌شوند.

### رباتیک و اتوماسیون

برداشت‌کننده‌های رباتیک به طور فزاینده‌ای برای جایگزینی نیروی کار دستی در مزارع به کار گرفته می‌شوند که کارایی را افزایش داده و وابستگی به نیروی کار انسانی را کاهش می‌دهد. ماشین‌آلات خودمختار، مانند تراکتورهای خودران ۸R جان دیر که مجهز به دید استریو و هوش مصنوعی هستند، در حال حاضر وظایفی مانند شخم زدن و کاشت را ساده می‌کنند.(Liu & Wu, 2014) سامانه‌های آبیاری خودکار و برداشت‌کننده‌های رباتیک نیاز به نیروی کار دستی را به طور چشمگیری کاهش می‌دهند. علاوه بر این، وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAVs) با دید مبتنی بر هوش مصنوعی، پاشش دقیق آفت‌کش‌ها و کودها را خودکار می‌کنند و کارایی را افزایش داده و در منابع صرفه‌جویی می‌کنند. رباتیک و اتوماسیون، کارایی بی‌سابقه‌ای را به ارمغان می‌آورند، هزینه‌های نیروی کار را به شدت کاهش می‌دهند، و عملیات دقیق و یکپارچه را ممکن می‌سازند که مزارع را به "کارخانه‌های مدرن" بسیار بهینه و تحت نظارت مداوم تبدیل می‌کنند.

رباتیک فراتر از اتوماسیون تک وظیفه‌ای به سمت عملیات‌های کاملاً خودمختار و مشارکتی پیش خواهد رفت که توسط سامانه‌های مرکزی هوش مصنوعی ارکستراسیون و به صورت پویا مدیریت می‌شوند، مانند ناوگان‌های هماهنگ تراکتورهای خودران، سامانه‌های آبیاری خودکار و برداشت‌کننده‌های رباتیک است که به صورت هماهنگ کار می‌کنند. یکپارچگی عمیق هوش مصنوعی با رباتیک، اجرای وظایف بسیار پیچیده، مانند کاربرد دقیق و با نرخ متغیر ورودی‌ها در سراسر مزارع را ممکن می‌سازد،که منجر به کاهش قابل توجه نیروی کار دستی، افزایش چشمگیر کارایی عملیاتی و عملیات کشاورزی مداوم و بهینه با حداقل نظارت انسانی خواهد شد. بنابراین مزارع به طور فزاینده‌ای شبیه کارخانه‌های مدرن کاملاً بهینه و تحت نظارت مداوم خواهند شد (Lowenberg-DeBoer et al., 2020).

### سنجش از دور

ماهواره‌های مجهز به سنجنده های پیشرفته، تصاویر با وضوح بالا را در طول موج‌های مختلف ، از جمله آن‌هایی که برای چشم انسان نامرئی هستند، ثبت می‌کنند. این قابلیت، دید جامعی را فراهم می‌کند که قبلاً غیرقابل دستیابی بود و به کشاورزان و متخصصان کشاورزی امکان می‌دهد صدها یا هزاران هکتار را به طور همزمان نظارت کنند. فناوری‌های سنجش از دور (RST) از این ماهواره‌ها و پهپادها برای کسب داده‌های حیاتی سلامت محصول، از جمله بینش‌هایی در مورد سطوح رطوبت و وضعیت مواد مغذی استفاده می‌کنند.**به طور کلی** سنجش از دور جزئیات و دقت بی‌سابقه‌ای را در تجزیه و تحلیل شرایط مزرعه ارائه می‌دهد، دید جامعی از مزرعه فراهم می‌کند و مدیریت محصول را به صورت داده‌محور و بسیار مؤثر ممکن می‌سازد. این فناوری امکان تشخیص زودهنگام مشکلات را فراهم می‌کند و نیاز به مشاهدات زمان‌بر در سطح زمین را از بین می‌برد.(Huang et al., 2018)

ماهواره‌های آینده وضوح مکانی بی‌سابقه‌ای را ارائه خواهند داد، با پیکسل‌هایی به دقت ۱x۱ متر، که بیش از ۴۰۴۶ نقطه داده در هر هکتار را فراهم می‌کنند. آن‌ها همچنین دارای تفکیک طیفی بسیار بهبود یافته‌ای خواهند بود (مثلاً ۳۸۴ طول موج در مقایسه با ۴-۷ طول موج فعلی)، که امکان مشاهده دقیق‌تر ماهیت بازتابی نور از خاک و گیاهان را فراهم می‌کند و اندازه‌گیری بهتر رنگ‌های مختلف و مناطق نامرئی برای چشم انسان را ممکن می‌سازد. فراوانی جمع‌آوری داده‌ها بسیار بیشتر خواهد شد، به طور بالقوه هر روز یا هر ۵-۷ روز، با تحویل در عرض ۲۴-۴۸ ساعت (Pascucci et al., 2020). پلتفرم‌های GIS حتی قدرتمندتر خواهند شد و لایه‌های داده‌ای متنوعیمانند نقشه‌های خاک با وضوح بالا، داده‌های زمین، شیب، جهت و سایر داده‌های سنجش از دوررا به طور یکپارچه ترکیب می‌کنند تا درک عمیق‌تر و چندبعدی از تغییرپذیری محصول و علل آن فراهم شود (Huang et al., 2018).همه های این ها بینش‌های فوق‌العاده دقیق و تقریباً لحظه‌ای را برای مداخلات فوق‌العاده دقیق، پیش‌بینی دقیق عملکرد و مدیریت استراتژیک زمین فراهم می‌کند و کشاورزان را قادر می‌سازد تا مسائلی مانند تنش و کمبود مواد مغذی را زودتر و مؤثرتر شناسایی و رسیدگی کنند.

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)

GIS ابزاری قدرتمند است که لایه‌های متعددی از اطلاعات مکانی مانند انواع خاک، سلامت محصول، الگوهای آب و هوایی، دسترسی به آب و کاربری زمین را با ابزارهای قدرتمند بصری‌سازی و تحلیل داده‌ها ترکیب می‌کند. این رویکرد به ذینفعان امکان می‌دهد تا روابط و الگوها را در سراسر مزارع خود تجسم کنند و از تصمیمات آگاهانه در مورد کاشت، آبیاری، مدیریت مواد مغذی، کنترل آفات و پایداری حمایت می‌کند. GIS به طور فعال برای نقشه‌برداری انواع خاک، نظارت بر سطوح رطوبت و برنامه‌ریزی زمان‌بندی آبیاری استفاده می‌شود. همچنین داده‌های تاریخی عملکرد محصول، عوامل محیطی و سوابق آب و هوایی را تجزیه و تحلیل می‌کند تا خروجی‌های آینده را مدل‌سازی و پیش‌بینی کند و مناطق با عملکرد بالا و مناطق مشکل‌ساز را در مزارع شناسایی کند.GIS به جزء لاینفک عملیات کشاورزی دقیق تبدیل شده است و داده‌های مکانی دانه‌بندی شده و قابلیت‌های تحلیلی قدرتمندی را فراهم می‌کند که برای دستیابی به کارایی، تاب‌آوری و پایداری بیشتر در کشاورزی ضروری است. پیش‌بینی می‌شود بیش از ۷۰٪ عملیات کشاورزی دقیق در سال ۲۰۲۵ به GIS برای نقشه‌برداری و تحلیل عملکرد متکی باشند.

### بلاک‌چین

فناوری بلاک‌چین یک سامانه دفتر کل شفاف، امن و تغییرناپذیر را در زنجیره‌های تأمین کشاورزی معرفی کرده است. این فناوری اساساً یک دفتر کل دیجیتال غیرمتمرکز را فراهم می‌کند که در آن تراکنش‌ها و داده‌ها به گونه‌ای ثبت می‌شوند که شفافیت و اعتماد را بین تمام طرف‌های درگیر تضمین می‌کند. این نوآوری، دید، قابلیت ردیابی و پاسخگویی لحظه‌ای را ارائه می‌دهد و دستکاری سوابق را عملاً غیرممکن می‌سازد (Wang et al., 2022). در حال حاضر برای مبارزه با مسائلی مانند تقلب در مواد غذایی با تأیید اصالت و منشأ محصولات استفاده می‌شود که اعتماد مصرف‌کننده را افزایش داده و اعتبار برند را حفظ می‌کند.بلاک‌چین مستقیماً به چالش‌های حیاتی مانند دید محدود، ناکارآمدی‌ها و نگرانی‌های ایمنی مواد غذایی که در زنجیره‌های تأمین کشاورزی سنتی رایج هستند، می‌پردازد. این فناوری فرآیندها را ساده می‌کند، نیاز به واسطه‌ها را کاهش می‌دهد و کاغذبازی را به حداقل می‌رساند که منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان تراکنش سریع‌تر می‌شود (Ellahi et al., 2023).

**بلاک چین** فراتر از کاربردهای کنونی آن در ردیابی و شفافیت پایه، به طور عمیق‌تری با GIS برای ردیابی مسیر محصول با ارجاع جغرافیایی و زمان‌بندی دقیق یکپارچه خواهد شد و سطح بی‌سابقه‌ای از جزئیات قابل تأیید را فراهم می‌کند. دفتر کل غیرمتمرکز و تغییرناپذیر آن به طور فزاینده‌ای بازارهای دیجیتال پیچیده را تسهیل می‌کند، قراردادهای هوشمند را برای تأمین مالی خودکار و بیمه فعال می‌سازد، و با کاهش تعداد واسطه‌ها، جبران عادلانه‌تری را برای کشاورزان تضمین می‌کند.این امر منجر به افزایش اعتماد در کل زنجیره تأمین، کاهش چشمگیر تقلب، ساده‌سازی لجستیک و بهبود عدالت اقتصادی خواهد شد که مستقیماً به نفع کشاورزان است و اعتماد مصرف‌کننده را افزایش می‌دهد (Ellahi et al., 2023).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| نام فناوری | عملکرد اصلی | کاربردهای کلیدی فعلی | مزایا/تأثیرات قابل اندازه‌گیری |
| **هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین (ML)** | تحلیل داده‌های پیچیده، پیش‌بینی، تصمیم‌گیری | پیش‌بینی آب و هوا، تشخیص بیماری/آفات، بهینه‌سازی کاشت، تخمین عملکرد، کنترل کیفیت 1 | کاهش ضایعات، بهبود عملکرد، دقت بالا (مثلاً ۹۰٪ در شناسایی آفات، ۹۹.۳۱٪ در تخمین رسیدگی گوجه‌فرنگی) 1 |
| **اینترنت اشیا (IoT) و شبکه‌های حسگر** | جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای، نظارت از راه دور، اتوماسیون | نظارت بر سلامت خاک، شرایط محصول، الگوهای آب و هوایی، آبیاری/کوددهی بهینه، مانیتورینگ تنش گیاه 2 | افزایش قابل توجه تولید، بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش ۱۵-۲۶٪ مصرف آب 2 |
| **رباتیک و اتوماسیون** | اجرای خودکار وظایف فیزیکی، کاهش نیروی کار | برداشت رباتیک، تراکتورهای خودران، سامانه‌های آبیاری خودکار، پاشش دقیق پهپادی 2 | افزایش کارایی، کاهش نیاز به نیروی کار دستی، عملیات مداوم و بهینه 3 |
| **سنجش از دور (ماهواره‌ها و پهپادها)** | جمع‌آوری تصاویر با وضوح بالا، نظارت از بالا | پایش سلامت محصول، تشخیص رطوبت/مواد مغذی، دید جامع مزرعه 2 | دقت بی‌سابقه در تجزیه و تحلیل، نظارت بر هزاران هکتار به طور همزمان 7 |
| **سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)** | ترکیب و تحلیل داده‌های مکانی، نقشه‌برداری | نقشه‌برداری خاک، مدیریت آب، پیش‌بینی عملکرد، برنامه‌ریزی کاربری زمین، مدیریت آفات 8 | تصمیم‌گیری آگاهانه، بهینه‌سازی مصرف آب، شناسایی مناطق مشکل‌ساز 8 |
| **بلاک‌چین در زنجیره‌های تأمین** | دفتر کل شفاف و تغییرناپذیر، ردیابی | ردیابی محصول از مزرعه تا چنگال، تأیید اصالت، افزایش اعتماد مصرف‌کننده 9 | افزایش شفافیت، کاهش تقلب در مواد غذایی، کاهش ضایعات (تا ۳۰٪) 1 |

جدول ۱) وضعیت کنونی و تأثیر فناوری‌های اصلی کشاورزی هوشمند

### همگرایی فناوری‌ها

قدرت واقعی و تحول‌آفرین کشاورزی هوشمند آینده در یکپارچگی هم‌افزای پیشرفت‌های فناورانه نهفته است. هوش مصنوعی به عنوان هوش مرکزی عمل خواهد کرد، حجم عظیمی از داده‌های لحظه‌ای را از حسگرهای اینترنت اشیای فوق یکپارچه و سنجش از دور با وضوح بالا پردازش می‌کند (Marzougui & ELLEUCH, 2025). سپس این هوش مصنوعی دستورالعمل‌های دقیقی را به ناوگان‌های رباتیک خودمختار ارسال می‌کند، که همه آن‌ها از طریق GIS پیشرفته مدیریت و بصری‌سازی می‌شوند. در نهایت بلاک‌چین ستون فقرات امن، شفاف و تغییرناپذیر را برای تمام داده‌ها و تراکنش‌های مالی در سراسر این اکوسیستم به هم پیوسته فراهم می‌کند. نتیجه یک اکوسیستم کشاورزی کاملاً به هم پیوسته، هوشمند، خودبهینه‌ساز و بسیار تاب‌آور خواهد بود که قادر به انطباق پویا و بهبود مستمر است. همگرایی رباتیک فوق خودکار و ناوگان‌های خودمختار، حسگرهای اینترنت اشیای نسل بعدی که داده‌های لحظه‌ای، دانه‌بندی شده و پیوسته را ارائه می‌دهند، سنجش از دور پیشرفته با وضوح بالا و ظهور دوقلوهای دیجیتال فراگیر، همگی به آینده‌ای اشاره دارند که در آن مزرعه دیگر صرفاً یک فضای فیزیکی نیست، بلکه یک "ارگانیسم دیجیتال زنده" پویا است. این موجودیت دیجیتال به طور مداوم از طریق همتای مجازی خود نظارت، شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل و کنترل می‌شود. کشاورزان به طور فزاینده‌ای عملیات را از راه دور از مکان‌های مرکزی و راحت مدیریت خواهند کرد و با یک نمایش جامع هولوگرافیک، از مزرعه خود تعامل خواهند داشت (Michailidis et al., 2024). این امر نشان‌دهنده تحولی عمیق در نقش کشاورز از یک کارگر دستی به یک مدیر سامانه پیشرفته، تحلیلگر داده و تصمیم‌گیرنده استراتژیک است. دسترسی به پوشش گسترده اینترنت یک توانمندساز حیاتی برای این مدیریت از راه دور و جریان داده‌های لحظه‌ای است که امکان عملکرد بی‌درنگ این "ارگانیسم دیجیتال" را فراهم می‌کند.این تحول، مستلزم سرمایه‌گذاری قابل توجهی در زیرساخت‌های دیجیتال قوی (به ویژه در مناطق روستایی) و نیروی کار بسیار ماهر است که قادر به کار، تفسیر و عیب‌یابی سامانه‌های پیچیده کشاورزی دیجیتال باشد، که به طور بالقوه منجر به ایجاد نقش‌های شغلی کاملاً جدید در بخش فناوری کشاورزی می‌شود (Sanders et al., 2022).

به طور کلی سامانه‌های کشاورزی هوشمند کنونی اغلب در تشخیص مسائل موجود و واکنش به آن‌ها مهارت دارند (مانند تشخیص بیماری؛ تحلیل لحظه‌ای خاک برای آبیاری). اما تکامل هوش مصنوعی (به ویژه هوش مصنوعی مولد برای شبیه‌سازی‌ها و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده و تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده)، حسگرهای نسل بعدی (قادر به تشخیص تنش گیاه و کمبود مواد مغذی در مراحل اولیه و ظریف‌تر)، و سنجش از دور (ارائه داده‌های سریع‌تر برای مداخلات به موقع) به آینده‌ای اشاره دارد که در آن سامانه‌ها می‌توانند مشکلات را *قبل از بروز* پیش‌بینی کنند یا اقدامات بهینه را بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌شده *تجویز* کنند. این تغییر پارادایم عمیق، به طور چشمگیری تلفات احتمالی را کاهش می‌دهد، استفاده از منابع را به میزان بی‌سابقه‌ای بهینه می‌کند، تاب‌آوری کلی مزرعه را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد و کشاورزی را به سمت یک مدل بسیار بهینه، پیش‌بینی‌کننده و خودتصحیح‌کننده سوق می‌دهد (Mohan et al., 2025).

## پیشنهادات خلاقانه برای توسعه آتی سامانه‌های کشاورزی مکانی هوشمند

این بخش مفاهیم نوآورانه و آینده‌نگر را با ترکیب و گسترش روندهای نوظهور شناسایی شده در بخش قبلی پیشنهاد می‌کند. هر پیشنهاد، مفهوم اصلی، زیربناهای فناورانه کلیدی مورد نیاز و مزایای تحول‌آفرین مورد انتظار خود را به تفصیل شرح می‌دهد.

### اکوسیستم‌های کشاورزی خودمختار مبتنی بر هوش مصنوعی (AIFE)

**مفهوم:** مزرعه‌ای کاملاً یکپارچه را تصور کنید که در آن هر جنبه عملیاتی، از آماده‌سازی اولیه خاک و کاشت دقیق تا نظارت مداوم بر محصول، کنترل هوشمند آفات و بیماری‌ها و برداشت خودکار، توسط ناوگانی از ربات‌ها و پهپادهای خودمختار با هماهنگی هوش مصنوعی اجرا می‌شود. یک پلتفرم مرکزی و پیچیده هوش مصنوعی که به طور عمیقی توسط قابلیت‌های هوش مصنوعی مولد تقویت شده است، به عنوان "مغز" مزرعه عمل می‌کند و تصمیمات بهینه را در زمان واقعی اتخاذ می‌کند و استراتژی‌ها را بر اساس ورودی‌های داده‌ای مداوم و شبیه‌سازی‌های پیش‌بینی‌کننده به صورت پویا تطبیق می‌دهد (Sai et al., 2025).

زیربناهای فناورانه:

* **هوش مصنوعی اصلی و هوش مصنوعی مولد:** برای برنامه‌ریزی پویا، تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده پیشرفته و انطباق لحظه‌ای با شرایط متغیر محیطی و محصول ضروری است. هوش مصنوعی مولد به طور خاص در شبیه‌سازی سناریوهای بی‌شمار "چه می‌شود اگر" برتری دارد و امکان شناسایی استراتژی‌های بهینه برای حداکثر کردن عملکرد در عین به حداقل رساندن مصرف منابع را فراهم می‌کند.
* **رباتیک و پهپادهای فوق خودکار:** شامل ناوگان متنوعی از ربات‌های زمینی تخصصی برای وظایفی مانند کاشت دقیق، وجین خودکار، پاشش بسیار هدفمند با نرخ متغیر ورودی‌ها و برداشت کارآمد. همچنین پهپادها برای نظارت هوایی، شناسایی سریع و تحویل دقیق و محلی ورودی‌ها به کار گرفته می‌شوند (Lowenberg-DeBoer et al., 2020).
* **اینترنت اشیای پیشرفته و حسگرها:** حسگرهای فراگیر و با دقت بالا در سراسر مزرعه برای نظارت لحظه‌ای بر پارامترهای حیاتی مانند شرایط خاک (رطوبت، pH، بافت و سطوح مواد مغذی)، سلامت تک تک گیاهان (تنش، کمبود مواد مغذی و رسیدگی)، و تغییرات ریزاقلیمی (Jadhav et al., 2024).
* **سنجش از دور با وضوح بالا و GIS:** یکپارچگی نسل بعدی تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی که تفکیک مکانی فوق‌العاده بالا (مانند پیکسل‌های ۱x۱ متری) و داده‌های طیفی بسیار دقیق را فراهم می‌کنند، به طور یکپارچه با GIS پیشرفته برای نقشه‌برداری دقیق مزرعه و تحلیل تغییرپذیری و نقشه‌های تجویزی خودکار (Huang et al., 2018).

**مزایای مورد انتظار:** بیشینه کردن عملکرد با کارایی بی‌سابقه و حداقل ضایعات منابع (آب، کود، مواد شیمیایی). کاهش قابل توجه نیاز به نیروی کار دستی و افزایش چشمگیر کارایی عملیاتی. پایداری زیست‌محیطی بهبود یافته از طریق کاربرد دقیق، کاهش رواناب شیمیایی و بهینه‌سازی مصرف انرژی. پاسخ سریع و بسیار دقیق به شیوع بیماری‌ها و آفات و به حداقل رساندن تلفات احتمالی محصول (Asthana & Bhujade, 2025).

### کشاورزی دوقلوی دیجیتال پیش‌بینی‌کننده و تجویزی (PPDTF)

**مفهوم:** یک مزرعه با دقت به عنوان یک "دوقلوی دیجیتال" بازتولید می‌شود یعنی یک مدل مجازی پویا، لحظه‌ای، هولوگرافیک و کاملاً تعاملی. این دوقلوی دیجیتال به طور مداوم با جریان‌های عظیمی از داده‌ها از حسگرهای فیزیکی، سنجش از دور و عملکرد تاریخی مزرعه به‌روز می‌شود. این امر به کشاورزان، متخصصان کشاورزی و محققان امکان می‌دهد تا سناریوهای پیچیده "چه می‌شود اگر" را شبیه‌سازی کنند، نتایج مداخلات مختلف را به دقت پیش‌بینی کنند و اقدامات بهینه را *قبل از* اعمال آن‌ها در دنیای فیزیکی تجویز کنند. رابط‌های واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) ابزارهای مدیریتی بصری و قدرتمندی را فراهم می‌کنند.

زیربناهای فناورانه:

* **دوقلوهای دیجیتال (DTs):** فناوری اصلی برای ایجاد نمایش‌های هولوگرافیک لحظه‌ای و چند لایه از کل اکوسیستم مزرعه، از جمله خاک، محصولات، ماشین‌آلات و شرایط محیطی.
* **هوش مصنوعی پیشرفته و یادگیری ماشین:** قدرت‌بخشیدن به موتورهای تحلیلی پیش‌بینی‌کننده و شبیه‌سازی پیچیده درون دوقلوی دیجیتال که شامل پردازش مجموعه‌داده‌های عظیم برای پیش‌بینی عملکرد بسیار دقیق، مدل‌سازی پویای سلامت خاک و پیش‌بینی‌های آب و هوایی فوق‌محلی است.
* **اینترنت اشیای فوق یکپارچه و حسگرهای نسل بعدی:** فراهم کردن جریان مداوم، دانه‌بندی شده و لحظه‌ای داده‌های لازم برای همگام‌سازی کامل دوقلوی دیجیتال با وضعیت فیزیکی مزرعه شامل حسگرهای پیشرفته خاک (بافت، pH و رطوبت)، حسگرهای تنش گیاه و شاید حسگرهایی برای زیرساخت‌های زیرزمینی است.
* **سنجش از دور با وضوح بالا:** تأمین داده‌های هوایی جامع، از جمله تصاویر چندطیفی و حرارتی، برای غنی‌سازی لایه‌های بصری و تحلیلی دوقلوی دیجیتال با امکان نظارت بر مناطق وسیع و تحلیل دقیق.
* **واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR):** برای بصری‌سازی فراگیر و تعامل بصری با دوقلوی دیجیتال، امکان همکاری از راه دور بین متخصصان، دستورالعمل‌های وظیفه سفارشی‌شده برای پرسنل میدانیپ و توانایی "قدم زدن" و تجزیه و تحلیل شرایط مزرعه مجازی.

**مزایای مورد انتظار:** رسیدن به دقت بالا در تصمیم‌گیری با امکان آزمایش مجازی و بهینه‌سازی استراتژی‌ها. حل مشکلات به صورت فعال و کاهش جامع ریسک با پیش‌بینی چالش‌های احتمالی. تخصیص منابع بسیار بهینه و کاهش قابل توجه هزینه‌های عملیاتی. همکاری از راه دور بهبود یافته و مشاوره تخصصی و دموکراتیزه کردن دسترسی به دانش کشاورزی در سطح جهانی.

### کشاورزی چرخشی و قابلیت ردیابی مبتنی بر بلاک‌چین (BECAT)

**مفهوم:** یک سامانه جامع و شفاف که در آن فناوری بلاک‌چین نه تنها قابلیت ردیابی تغییرناپذیر و سرتاسری محصولات کشاورزی را از مبدأ دقیق آن در مزرعه تا میز مصرف‌کننده تضمین می‌کند، بلکه تمام جریان‌های منابع (آب، مواد مغذی، ضایعات آلی و انرژی) را در چارچوب کشاورزی واقعاً احیاکننده به دقت ردیابی می‌کند. قراردادهای هوشمند تراکنش‌ها را خودکار می‌کنند. انطباق با استانداردهای سخت‌گیرانه پایداری را تضمین می‌کنند و یک اقتصاد واقعاً چرخشی را ایجاد می‌کنند که شیوه‌های پایدار را پاداش می‌دهد (Ellahi et al., 2023).

**زیربناهای فناورانه:**

* **بلاک‌چین:** دفتر کل اصلی تغییرناپذیر و غیرمتمرکز برای ثبت شفاف و امن هر تراکنش، ورودی منبع و نقطه داده در سراسر زنجیره تأمین. به طور عمیق با GIS برای ردیابی مسیر محصول با ارجاع جغرافیایی و زمان‌بندی دقیق یکپارچه شده است و سطح بی‌سابقه‌ای از جزئیات قابل تأیید را فراهم می‌کند.
* **شیوه‌های کشاورزی احیاکننده:** روش‌شناسی اصلی کشاورزی متمرکز بر بازیابی خاک، افزایش تنوع زیستی و جذب کربن. این امر توسط اتوماسیون هوش مصنوعی برای نظارت لحظه‌ای بر خاک و راه‌حل‌های تغذیه‌ای و بیولوژیکی بسیار هدفمند حمایت می‌شود.
* **اینترنت اشیا و حسگرها:** در سراسر مزرعه و زنجیره تأمین برای ردیابی مصرف منابع (آب، انرژی و کودهای زیستی) و تولید ضایعات در هر مرحله به کار گرفته شده‌اند و داده‌ها را برای بهینه‌سازی چرخشی فراهم می‌کنند (Marzougui & ELLEUCH, 2025).
* **هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی منابع:** تجزیه و تحلیل مجموعه‌داده‌های عظیم از بلاک‌چین و اینترنت اشیا برای شناسایی ناکارآمدی‌ها در چرخه‌های منابع و پیشنهاد بهبودها برای چرخشی بودن.
* **بازارهای دیجیتال و قراردادهای هوشمند:** پلتفرم‌های مبتنی بر بلاک‌چین که کشاورزان را مستقیماً با مصرف‌کنندگان، پردازشگران و خرده‌فروشان متصل می‌کنند، واسطه‌ها را کاهش می‌دهند و تراکنش‌های خودکار و شفاف را ممکن می‌سازند که جبران عادلانه‌تری را برای کشاورزان تضمین می‌کند.

**مزایای مورد انتظار:** ایمنی غذایی بی‌سابقه و اعتماد مصرف‌کننده از طریق منشأ و مسیر قابل تأیید و گواهینامه‌های پایداری. کاهش قابل توجه ضایعات مواد غذایی به دلیل لجستیک ساده‌شده، شفافیت بهبود یافته و تطابق بهتر عرضه و تقاضا. افزایش عمیق پایداری زیست‌محیطی با ترویج استفاده چرخشی از منابع، کاهش ورودی‌های شیمیایی و تسریع شیوه‌های احیاکننده. بهبود دوام اقتصادی و تاب‌آوری برای کشاورزان از طریق دسترسی مستقیم به بازار، قیمت‌گذاری عادلانه و پاداش برای شیوه‌های پایدار.

### کشاورزی با محیط کنترل‌شده تطبیق‌پذیر با اقلیم و بهینه‌سازی‌شده از نظر منابع (CAROCEA)

**مفهوم:** مزارع عمودی بسیار پیشرفته یا سایر تأسیسات کشاورزی با محیط کنترل‌شده (CEA) که کاملاً با هوش مصنوعی پیچیده، شبکه‌های فراگیر اینترنت اشیا و منابع انرژی تجدیدپذیر اختصاصی یکپارچه شده‌اند (Kaushik, 2025). این سامانه‌ها برای کشت محصولات مقاوم به اقلیم با حداقل ورودی منابع طراحی شده‌اند و مستقل از شرایط آب و هوایی بیرونی عمل می‌کنند. آن‌ها به صورت پویا پارامترهای محیطی داخلی (طیف نور، دما، رطوبتو سطوح 2CO) را بر اساس پیش‌بینی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی از تقاضای جهانی، تأثیرات اقلیمی محلی و عملکرد محصول در زمان واقعی تنظیم می‌کنند و برای عملکرد و کارایی منابع بهینه می‌شوند.

**زیربناهای فناورانه:**

* **زیرساخت مزرعه عمودی/CEA:** سامانه‌های هیدروپونیک، آئروپونیک و سامانه‌های روشنایی LED پیشرفته که برای فراهم کردن شرایط رشد بهینه در محیط‌های چندلایه و با کنترل اقلیمی طراحی شده‌اند.
* **هوش مصنوعی پیشرفته و یادگیری ماشین:** هوش مرکزی برای کنترل دقیق ریزاقلیم، تحویل خودکار مواد مغذی، تشخیص زودهنگام بیماری‌ها و بهینه‌سازی مداوم عملکرد در محیط بسته (Kaushik, 2025). هوش مصنوعی همچنین تقاضای بازار را برای دیکته کردن چرخه‌های تولید و انتخاب محصول تجزیه و تحلیل می‌کند.
* **اینترنت اشیا و حسگرهای محیطی تخصصی:** یک شبکه متراکم از حسگرها برای نظارت لحظه‌ای بر هر متغیر محیطی (دما، رطوبت، 2CO، شدت نور و ترکیب محلول غذایی) و معیار گیاهی (نرخ رشد، شاخص‌های سلامت) در فضای کنترل‌شده.
* **محصولات مقاوم به اقلیم:** استفاده از ارقام محصولی که از نظر ژنتیکی بهینه شده‌اند و برای رشد در شرایط شدید (مانند مقاوم به خشکی و شوری) طراحی شده‌اند، با توسعه آن‌ها که احتمالاً توسط تحقیقات بیوتکنولوژی مبتنی بر هوش مصنوعی تسریع می‌شود.
* **یکپارچگی انرژی تجدیدپذیر:** پنل‌های خورشیدی اختصاصی در محل، توربین‌های بادی و سامانه‌های بیوگاز که کل تأسیسات را تأمین انرژی می‌کنند و وابستگی به سوخت‌های فسیلی را به شدت کاهش داده و ردپای کربن را به حداقل می‌رسانند.

**مزایای مورد انتظار:** تولید غذای پایدار و با عملکرد بالا در تمام طول سال، کاملاً مستقل از شرایط اقلیمی خارجی یا تغییرات فصلی. کاهش چشمگیر مصرف آب از طریق بازیافت پیشرفته و سامانه‌های حلقه بسته. حداقل ردپای زمینی و کاهش قابل توجه وابستگی به آفت‌کش‌ها/علف‌کش‌های سنتی به دلیل محیط‌های کنترل‌شده. افزایش امنیت غذایی منطقه‌ای با امکان تولید غذای محلی در جغرافیای متنوع، از جمله مناطق شهری یا مناطق با اقلیم چالش‌برانگیز.

### مدیریت تغذیه و سلامت محصول فوق‌شخصی‌سازی‌شده (HPCNHM)

**مفهوم:** این پیشنهاد فراتر از دقت در سطح مزرعه به مراقبت در سطح تک تک گیاهان می‌رود و هر گیاه را به عنوان یک موجودیت منحصر به فرد با نیازهای خاص خود در نظر می‌گیرد. میکرو ربات‌های مبتنی بر هوش مصنوعی یا دسته‌های پهپادی مجهز به حسگرهای پیشرفته و با وضوح بالا و میکرو اپلیکاتورها، مواد مغذی، آب، و بیودرمان‌ها را در سطح مولکولی و دقیقاً متناسب با نیازهای فیزیولوژیکی هر گیاه به صورت جداگانه ارائه می‌دهند و بیماری‌ها یا کمبودها را قبل از ظهور علائم قابل مشاهده تشخیص داده و از آن‌ها پیشگیری می‌کنند (Asthana & Bhujade, 2025).

**زیربناهای فناورانه:**

* **هوش مصنوعی و یادگیری عمیق:** برای تحلیل فوق‌العاده دقیق سلامت تک تک گیاهان، شناسایی کمبودهای خاص مواد مغذی، نشانگرهای زودهنگام بیماری، یا شاخص‌های تنش در سطح سلولی یا مولکولی. هوش مصنوعی همچنین در بهینه‌سازی تلاقی بذرها برای عملکرد و تاب‌آوری بهینه نقش دارد.
* **حسگرهای نسل بعدی گیاه و خاک:** حسگرهای بسیار حساس قادر به تشخیص تنش گیاه، سطوح مواد مغذی و حتی نشانه‌های پاتوژن خاص از طریق تحلیل طیفی یا نشانگرهای بیوشیمیایی. شامل حسگرهایی که می‌توانند "باندهای باریک‌تر از ۱۰۰ تا ۵ نانومتر" را برای مشاهده دقیق‌تر شرایط گیاه اندازه‌گیری کنند (Moorehead et al., 2012).
* **میکرو رباتیک و دسته‌های پهپادی خودمختار:** ناوگان‌هایی از میکرو ربات‌ها یا پهپادهای خودمختار و بسیار چابک مجهز به نازل‌ها و دستکاری‌کننده‌های دقیق برای کاربرد هدفمند و با نرخ متغیر ورودی‌ها در مقیاس تک تک گیاهان که می‌توانند بر اساس نقشه‌های تجویزی خودکار عمل کنند.
* **پیشرفت‌های بیوتکنولوژی:** توسعه مواد ورودی میکروبی جدید، کودهای زیستی و فرمولاسیون‌های بیولوژیکی بسیار هدفمند برای تغذیه و مبارزه با بیماری‌ها که توسط هوش مصنوعی تقویت شده‌اند.
* **سنجش از دور:** فراهم کردن داده‌ها برای شناسایی تک تک گیاهان و ارزیابی سلامت آن‌ها از پلتفرم‌های هوایی که با سامانه هوش مصنوعی تغذیه می‌شود.

**مزایای مورد انتظار:** بهینه‌سازی عملکرد بی‌سابقه با اطمینان از اینکه هر گیاه دقیقاً آنچه را که برای رسیدن به پتانسیل ژنتیکی کامل خود نیاز دارد، دریافت می‌کند. کاهش چشمگیر مصرف مواد شیمیایی و تأثیر زیست‌محیطی از طریق کاربرد بسیار محلی، به حداقل رساندن ضایعات و رواناب. کنترل سریع‌تر و دقیق‌تر آفات و بیماری‌ها، جلوگیری از شیوع گسترده و به حداقل رساندن تلفات محصول. بهبود کیفیت محصول، ارزش غذایی و یکنواختی.

جدول ۲- پیشنهادات خلاقانه برای سامانه‌های کشاورزی مکانی هوشمند آینده

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **نام پیشنهاد** | **مفهوم اصلی** | **فناوری‌های اصلی توانمندساز** | **مزایا/تأثیرات کلیدی** |
| **اکوسیستم‌های کشاورزی خودمختار مبتنی بر هوش مصنوعی (AIFE)** | مزرعه‌ای کاملاً خودکار و خودبهینه، با عملیات هماهنگ رباتیک و پهپادی تحت کنترل هوش مصنوعی مرکزی و هوش مصنوعی مولد. | هوش مصنوعی و هوش مصنوعی مولد، رباتیک و اتوماسیون فوق خودکار، اینترنت اشیا و حسگرهای پیشرفته، سنجش از دور با وضوح بالا و GIS | حداکثر کردن عملکرد، حداقل ضایعات، کاهش نیروی کار، پایداری زیست‌محیطی بالا، پاسخ سریع به آفات/بیماری‌ها |
| **کشاورزی دوقلوی دیجیتال پیش‌بینی‌کننده و تجویزی (PPDTF)** | مدل مجازی لحظه‌ای و تعاملی مزرعه برای شبیه‌سازی، پیش‌بینی، و تجویز مداخلات بهینه قبل از اجرای فیزیکی. | دوقلوهای دیجیتال، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین پیشرفته، اینترنت اشیا و حسگرهای نسل بعدی، سنجش از دور با وضوح بال، واقعیت افزوده و واقعیت مجازی | دقت بی‌سابقه در تصمیم‌گیری، حل مشکلات فعال، کاهش ریسک، بهینه‌سازی منابع، همکاری از راه دور |
| **کشاورزی چرخشی و قابلیت ردیابی مبتنی بر بلاک‌چین (BECAT)** | ردیابی سرتاسری محصول و منابع در یک چارچوب کشاورزی احیاکننده، با تراکنش‌های خودکار و تضمین پایداری. | بلاک‌چین، شیوه‌های کشاورزی احیاکننده، اینترنت اشیا و حسگرها، هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی منابع، بازارهای دیجیتال و قراردادهای هوشمند | ایمنی غذایی و اعتماد مصرف‌کننده بی‌نظیر، کاهش ضایعات غذا، پایداری زیست‌محیطی عمیق، دوام اقتصادی برای کشاورزان |
| **کشاورزی با محیط کنترل‌شده تطبیق‌پذیر با اقلیم و بهینه‌سازی‌شده از نظر منابع (CAROCEA)** | مزارع عمودی/CEA کاملاً یکپارچه با هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر برای تولید محصولات مقاوم به اقلیم با حداقل ورودی منابع. | زیرساخت مزرعه عمودی/CEA، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین پیشرفته، اینترنت اشیا و حسگرهای محیطی تخصصی، محصولات مقاوم به اقلیم، یکپارچگی انرژی تجدیدپذیر | تولید پایدار و با عملکرد بالا، کاهش چشمگیر مصرف آب، حداقل ردپای زمینی، افزایش امنیت غذایی منطقه‌ای |
| **مدیریت تغذیه و سلامت محصول فوق‌شخصی‌سازی‌شده (HPCNHM)** | مراقبت در سطح تک تک گیاهان با میکرو ربات‌ها/پهپادها برای ارائه مواد مغذی/درمان‌های مولکولی و پیشگیری از بیماری‌ها. | هوش مصنوعی و یادگیری عمیق، حسگرهای نسل بعدی گیاه و خاک، میکرو رباتیک و دسته‌های پهپادی خودمختار، پیشرفت‌های بیوتکنولوژی، سنجش از دور (وضوح فوق‌العاده بالا) | بهینه‌سازی عملکرد بی‌سابقه، کاهش چشمگیر مصرف مواد شیمیایی، کنترل سریع‌تر آفات/بیماری‌ها، بهبود کیفیت محصول |

## ملاحظات و چالش‌های پیاده‌سازی

این بخش به موانع عملی، الزامات استراتژیک، و چالش‌های بالقوه‌ای می‌پردازد که باید برای پذیرش موفق و مقیاس‌پذیری این سامانه‌های کشاورزی مکانی هوشمند پیشرفته، با دقت مورد توجه قرار گرفته و به صورت فعال مدیریت شوند.

### یکپارچه‌سازی و قابلیت به کارگیری داده‌ها

**چالش:** حجم، سرعت و تنوع عظیم داده‌های تولید شده از منابع بی‌شمار از جمله حسگرها و پلتفرم‌های متفاوت، ماشین‌آلات خودمختار و سنجش از دور که یک چالش قابل توجه را ارائه می‌دهد. بدون استانداردهای قوی برای تبادل داده‌ها و قابلیت به کار بستن بی‌درنگ، سیلوهای داده‌ای پابرجا خواهند ماند و مانع بهینه‌سازی جامع و عملکرد هم‌افزای این سامانه‌های پیچیده می‌شوند. این وضعیت می‌تواند منجر به ناتوانی در ترکیب اطلاعات حیاتی از منابع مختلف، مانند داده‌های خاک از حسگرها و تصاویر سلامت محصول از پهپادها، برای ایجاد یک دید عملیاتی کامل شود.

**ملاحظه:** نیاز مبرمی به توسعه و پذیرش گسترده پلتفرم‌های منبع باز، استانداردهای داده‌ای در سطح صنعت و چارچوب‌های مشارکتی وجود دارد تا از سیالیت و دسترسی داده‌ها در سراسر اکوسیستم کشاورزی اطمینان حاصل شود. این امر مستلزم همکاری بین تولیدکنندگان تجهیزات، توسعه‌دهندگان نرم‌افزار و سازمان‌های تحقیقاتی است.

### الزامات زیرساختی (اتصال، قدرت پردازش، انرژی)

**چالش:** عملیات الگوریتم‌های هوش مصنوعی پیشرفته، پردازش داده‌های لحظه‌ای و عملیات‌های بسیار خودمختار، نیازمند اتصال اینترنت پرسرعت و قابل اعتماد است، به ویژه در مناطق روستایی دورافتاده. علاوه بر این، قدرت محاسباتی قابل توجه و یک منبع انرژی پایدار و قوی، پیش‌نیازهای غیرقابل مذاکره هستند. فقدان این زیرساخت‌ها می‌تواند به طور جدی قابلیت استقرار و بهره‌برداری از فناوری‌های پیشرفته را محدود کند.

**ملاحظه:** سرمایه‌گذاری استراتژیک در زیرساخت‌های پهنای باند روستایی از اهمیت بالایی برخوردار است. همزمان، باید بر توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی با مصرف انرژی بهینه و تضمین یکپارچگی گسترده منابع انرژی تجدیدپذیر در عملیات مزرعه برای تأمین انرژی پایدار این سامانه‌ها تمرکز شود.

### دوام اقتصادی و سرمایه‌گذاری

**چالش:** سرمایه‌گذاری اولیه بالا برای دستیابی و استقرار رباتیک پیشرفته، پلتفرم‌های هوش مصنوعی پیچیده و شبکه‌های حسگر گسترده می‌تواند مانع قابل توجهی برای بسیاری از کشاورزان، به ویژه خرده‌مالکان، باشد و پذیرش گسترده را محدود کند. حتی کشاورزی احیاکننده، که کمتر به فناوری وابسته است، نیازمند "سرمایه‌گذاری مالی" قابل توجهی است، که نشان‌دهنده موانع اقتصادی ذاتی در تغییر شیوه‌های کشاورزی است.

**ملاحظه:** توسعه مدل‌های تأمین مالی نوآورانه (مانند خدمات پرداخت به ازای استفاده، اجاره تجهیزات، مدل‌های مالکیت مشترک)، یارانه‌های دولتی قوی و مشارکت‌های استراتژیک عمومی خصوصی بسیار مهم است. نمایش‌های واضح و قانع‌کننده بازگشت سرمایه (ROI) نیز برای تشویق به پذیرش و جذب سرمایه خصوصی حیاتی است.

### شکاف مهارت‌ها و آموزش کشاورزان

**چالش:** تغییر بنیادی از شیوه‌های کشاورزی سنتی، که اغلب دستی هستند، به مدیریت و بهره‌برداری از سامانه‌های فناورانه پیچیده، مستلزم کسب مجموعه‌ای کاملاً جدید از مهارت‌ها در تحلیل داده‌ها، عملیات هوش مصنوعی، نگهداری رباتیک و سواد دیجیتال پیشرفته است. این امر به ویژه با توجه به کاهش نیروی کار و توانایی مدیریت عملیات از راه دور، که نقش کشاورز را از یک کارگر فیزیکی به یک مدیر سامانه فنی تغییر می‌دهد، برجسته می‌شود.

**ملاحظه:** برنامه‌های آموزشی جامع، ابتکارات آموزشی هدفمند و خدمات ترویجی کشاورزی گسترده برای تجهیز کشاورزان کنونی و نسل بعدی کارگران کشاورزی به مهارت‌های فنی، تحلیلی و مدیریتی ضروری است.

### ملاحظات نظارتی و اخلاقی

**چالش:** پیشرفت سریع این فناوری‌ها سؤالات حیاتی نظارتی و اخلاقی را مطرح می‌کند. این مسائل شامل حریم خصوصی و مالکیت داده‌ها، پیامدهای اخلاقی تصمیم‌گیری هوش مصنوعی (مانند سامانه‌های خودمختار که تصمیمات حیاتی محصول را می‌گیرند)، جابجایی احتمالی مشاغل به دلیل افزایش اتوماسیون و استفاده مسئولانه و عادلانه از بیوتکنولوژی است. عدم وجود چارچوب‌های نظارتی روشن می‌تواند عدم اطمینان ایجاد کرده و مانع نوآوری شود.

**ملاحظه:** توسعه فعال سیاست‌های قوی حاکمیت داده‌ها، دستورالعمل‌های اخلاقی روشن برای هوش مصنوعی در کشاورزی و چارچوب‌های نظارتی آینده‌نگر ضروری است. همچنین باید استراتژی‌هایی برای انتقال نیروی کار و بازآموزی برای رسیدگی به تأثیرات اجتماعی بالقوه توسعه یابد.

### مقیاس‌پذیری و سازگاری

**چالش:** برای تأثیرگذاری گسترده، راه‌حل‌ها باید ذاتاً مقیاس‌پذیر باشند و قادر به پیاده‌سازی مؤثر در عملیات‌های مختلف از مزارع کوچک خانوادگی تا کسب‌وکارهای بزرگ کشاورزی باشند. آن‌ها همچنین باید با تنوع گسترده شرایط اقلیمی، انواع خاک، ارقام محصول و شیوه‌های کشاورزی فرهنگی در مناطق مختلف سازگار باشند. یک راه‌حل که در یک منطقه کار می‌کند، ممکن است بدون تغییرات قابل توجه در منطقه دیگر کارایی نداشته باشد.

**ملاحظه:** طراحی ماژولار اجزای سامانه، توسعه راه‌حل‌های نرم‌افزاری قابل تنظیم و اجرای برنامه‌های آزمایشی منطقه‌ای برای آزمایش، اصلاح و تأیید فناوری‌ها در زمینه‌های مختلف قبل از استقرار گسترده، حیاتی است.

### مشاهدات کلیدی در مورد ملاحظات پیاده‌سازی

#### شکاف دیجیتال در کشاورزی

در حالی که داده‌ها مزایای پوشش گسترده اینترنت و نیاز به پذیرش گسترده فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین را برجسته می‌کنند، چالش اساسی این است که بخش قابل توجهی از مناطق کشاورزی روستایی در سراسر جهان هنوز فاقد زیرساخت‌های اینترنتی پرسرعت و قابل اعتماد لازم هستند. این امر یک "شکاف دیجیتال" آشکار ایجاد می‌کند که در آن راه‌حل‌های کشاورزی هوشمند پیشرفته، که به شدت به انتقال داده‌های لحظه‌ای، پردازش هوش مصنوعی مبتنی بر ابر و مدیریت از راه دور متکی هستند، برای بخش قابل توجهی از جامعه کشاورزی، به ویژه خرده‌مالکان، غیرقابل دسترس باقی می‌مانند. بدون این اتصال بنیادی، وعده کشاورزی مکانی هوشمند نمی‌تواند به طور کامل برای همه محقق شود. این وضعیت نشان می‌دهد که دولت‌ها، شرکت‌های مخابراتی و بازیگران صنعت کشاورزی باید سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال روستایی را به عنوان یک پیش‌نیاز اساسی برای پذیرش گسترده و عادلانه کشاورزی هوشمند در نظر بگیرند. این فقط یک مشکل فنی نیست؛ بلکه یک چالش توسعه اجتماعی-اقتصادی است که نیازمند رویکردی جامع است.

#### پذیرش اجتماعی

داده‌ها به صراحت بیان می‌کنند که هوش مصنوعی "به تدریج جایگزین نیروی کار انسانی می‌شود" و "کاهش نیروی کار" به عنوان یک مزیت مستقیم فناوری‌های کشاورزی هوشمند ذکر شده است. در حالی که این کارایی‌ها مطلوب هستند، به ناچار نگرانی‌های اجتماعی قابل توجهی را در مورد جابجایی مشاغل و نیاز به مهارت‌های جدید ایجاد می‌کنند. "پذیرش گسترده" به عنوان یک مانع کلیدی برای بلاک‌چین ذکر شده است، که نشان می‌دهد عوامل انسانی و سازمانی مانند اعتماد، تمایل به تغییر، و ارزش درک شده، به اندازه قابلیت‌های ذاتی فناوری مهم هستند. موفقیت نهایی و پایداری این سامانه‌های پیشرفته نه تنها به توانایی فنی آن‌ها، بلکه به تمایل و توانایی نیروی کار کشاورزی و جامعه گسترده‌تر برای انطباق، پذیرش و یکپارچه‌سازی آن‌ها بستگی دارد.

این وضعیت نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی استراتژیک برای آینده کشاورزی هوشمند باید فراتر از توسعه فناورانه گسترش یابد و شامل برنامه‌های قوی و فعال برای بازآموزی نیروی کار، ابتکارات آموزشی جامع و ایجاد آگاهانه مشاغل جدید مبتنی بر فناوری در کشاورزی باشد. این رویکرد جامع برای اطمینان از انتقال عادلانه برای نیروی کار، ترویج پذیرش گسترده اجتماعی و جلوگیری از اختلالات مهم اجتماعی-اقتصادی ضروری است.

## نتیجه‌گیری

مفاهیم نوآورانه پیشنهادی در این بخش، از اکوسیستم‌های کشاورزی خودمختار مبتنی بر هوش مصنوعی و کشاورزی دوقلوی دیجیتال پیش‌بینی‌کننده و تجویزی گرفته تا کشاورزی چرخشی و قابلیت ردیابی مبتنی بر بلاک‌چین، کشاورزی با محیط کنترل‌شده تطبیق‌پذیر با اقلیم و بهینه‌سازی‌شده از نظر منابع و مدیریت تغذیه و سلامت محصول فوق‌شخصی‌سازی‌شده، در مجموع نشان‌دهنده یک جهش تحول‌آفرین عمیق برای بخش کشاورزی هستند. پتانسیل هم‌افزای آن‌ها برای ایجاد یک سامانه غذایی جهانی هوشمندتر، کارآمدتر، و پایدارتر، غیرقابل انکار است.

کشاورزی مکانی هوشمند صرفاً یک بهبود تدریجی نیست، بلکه بازتعریف اساسی نحوه تولید، توزیع و مصرف غذا است. این رویکرد، وعده آینده‌ای را به ارمغان می‌آورد که با عملکرد بسیار بالاتر، کارایی بی‌سابقه در مصرف منابع، پایداری زیست‌محیطی بهبود یافته، و تاب‌آوری بیشتر در برابر چالش‌های فزاینده جهانی تغییرات اقلیمی و امنیت غذایی مشخص می‌شود. این تحول، کشاورزی را از یک فعالیت سنتی به یک صنعت با فناوری پیشرفته و داده‌محور تبدیل خواهد کرد.

برای تحقق کامل این پتانسیل عظیم، نیاز به همکاری عمیق بین تمام ذینفعان کلیدی وجود دارد: کشاورزان، کسب‌وکارهای کشاورزی، ارائه‌دهندگان فناوری، سیاست‌گذاران، محققان و مؤسسات مالی. سرمایه‌گذاری استراتژیک در تحقیق و توسعه، چارچوب‌های سیاستی حمایتی، توسعه زیرساخت‌های قوی (به ویژه اتصال روستایی) و توسعه فعال سرمایه انسانی، برای کشت آینده‌ای پایدار، پربار و عادلانه در کشاورزی ضروری است. در نتیجه سفر به سوی یک سامانه کشاورزی واقعاً هوشمند و مکانیزه نیازمند تلاشی هماهنگ، یکپارچه، و آینده‌نگرانه از سوی ذینفعان متعدد است.

## منابع

##### Keskes, M. (2025). Review of The Current State of Deep Learning Applications in Agriculture. Preprints. https://doi.org/10.20944/preprints202504.1290.v1

##### Marzougui, Fatma & ELLEUCH, Mohamed. (2025). Blockchain and IoT in Smart Agriculture: Analysis, Opportunities, Challenges, and Future Research Directions. Journal of Information Assurance and Security. 19. 104-119. 10.2478/ias-2024-0008.

##### Nautiyal, M., Joshi, S., Hussain, I., Rawat, H., Joshi, A., Saini, A., Kapoor, R., Verma, H., Nautiyal, A., Chikara, A., Ahmad, W., & Kumar, S. (2025). Revolutionizing agriculture: A comprehensive review on artificial intelligence applications in enhancing properties of agricultural produce. *Food chemistry: X*, *29*, 102748. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102748>

##### Chen, H., Lin, H., & Liu, Y. (2020). Artificial intelligence in precision agriculture: A review. *Journal of Agricultural Informatics*, *11*(2), 55-65.

##### Mohan, R. J., Rayanoothala, P. S., & Sree, R. P. (2025). Next-gen agriculture: integrating AI and XAI for precision crop yield predictions. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1451607.

##### Asthana, S., & Bhujade, R. K. (2025). AI-Driven Predictive Modeling for Crop Disease Detection. *International Journal of Environmental Sciences*, *11*(1), 54-64.

##### Kaushik, P. (2025). Artificial Intelligence in Agriculture: A Review of Transformative Applications and Future Directions. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202503.0335.v1>.

##### Sai, S., Kumar, S., Gaur, A., Goyal, S., Chamola, V., & Hussain, A. (2025). Unleashing the power of generative AI in agriculture 4.0 for smart and sustainable farming. *Cognitive Computation*, *17*(1), 63.

##### Jadhav, N., Premalatha, S., & Poongodi, P. (2024). Enhancing Crop Growth Efficiency through IoT-enabled Smart Farming System. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, *10*.

##### Moorehead, S. J., Wellington, C. K., Gilmore, B. J., & Vallespi, C. (2012, October). Automating orchards: A system of autonomous tractors for orchard maintenance. In *Proceedings of the IEEE international conference of intelligent robots and systems, workshop on agricultural robotics*.

##### Lowenberg-DeBoer, J., Huang, I. Y., Grigoriadis, V., & Blackmore, S. (2020). Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agriculture*, *21*(2), 278-299.

##### Huang, Y., Tao, Y. U., & HUANG, X. Z. (2018). Agricultural remote sensing big data: Management and applications. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(9), 1915-1931.

##### Pascucci, S., Pignatti, S., Casa, R., Darvishzadeh, R., & Huang, W. (2020). Special Issue “Hyperspectral Remote Sensing of Agriculture and Vegetation”. *Remote Sensing*, *12*(21), 3665. https://doi.org/10.3390/rs12213665

##### Ellahi, R. M., Wood, L. C., & Bekhit, A. E.-D. A. (2023). Blockchain-Based Frameworks for Food Traceability: A Systematic Review. *Foods*, *12*(16), 3026. https://doi.org/10.3390/foods12163026

##### Wang, L., Qi, C., Jiang, P., & Xiang, S. (2022). The impact of blockchain application on the qualification rate and circulation efficiency of agricultural products: A simulation analysis with agent-based modelling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(13), 7686.

##### Sanders, C. E., Gibson, K. E., & Lamm, A. J. (2022). Rural Broadband and Precision Agriculture: A Frame Analysis of United States Federal Policy Outreach under the Biden Administration. *Sustainability*, *14*(1), 460. https://doi.org/10.3390/su14010460.

# برنامه زمانی و بودجه‌ریزی توسعه سامانه کشاورزی مکانمند (افق ۱۸ ماهه)

این بخش، برنامه زمانی و بودجه‌ریزی پیشنهادی برای توسعه سامانه کشاورزی مکانمند را در سه فاز اصلی، طی یک افق ۱۸ ماهه، با تفکیک تخصص‌های مورد نیاز و برآورد نفر/ماه و ساعت کاری هر متخصص ارائه می‌دهد. این برنامه بر اساس نیازهای شناسایی شده برای توسعه آتی سامانه و با الهام از ساختار جدول زمانی موجود، تدوین شده است.

**تخصص‌های مورد نیاز:**

برای توسعه این سامانه، تخصص‌های زیر ضروری هستند:

* **مدیر پروژه:** مسئولیت کلی برنامه‌ریزی، هماهنگی، نظارت و مدیریت منابع پروژه.
* **متخصص داده (پایگاه داده):** مسئولیت جمع‌آوری، پاکسازی، تبدیل، یکپارچه‌سازی، مدیریت و نگهداری پایگاه‌های داده عظیم.
* **متخصص سنجش از دور و GIS:** مسئولیت پردازش تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی، استخراج شاخص‌های مکانی، تحلیل‌های جغرافیایی و نقشه‌برداری.
* **متخصص هوش مصنوعی و یادگیری ماشین:** مسئولیت توسعه و پیاده‌سازی مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، الگوریتم‌های یادگیری عمیق، هوش مصنوعی مولد و پردازش زبان طبیعی.
* **توسعه‌دهندهBack-end:** مسئولیت طراحی، توسعه و نگهداری زیرساخت‌های نرم‌افزاری و APIها.
* **توسعه‌دهندهFront-end:** مسئولیت طراحی، توسعه و نگهداری رابط‌های کاربری.
* **کارشناس کشاورزی/زراعت:** ارائه دانش تخصصی کشاورزی، اعتبارسنجی داده‌ها و مدل‌ها، و اطمینان از انطباق راهکارها با نیازهای عملیاتی کشاورزان.

برنامه زمانی و بودجه‌ریزی تفکیکی بر اساس فازها

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **فاز** | **فعالیت‌های اصلی** | **تخصص مورد نیاز** | **نفر/ماه** | **ساعت (۱نفر/ماه=۱۶۰ساعت)** |
| فاز ۱: داده و استخراج شاخص‌ها | جمع‌آوری داده‌های اولیه (مانند تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8/9 و Sentinel-2و استخراج شاخص‌های مرسوم کشاورزی، شاخص‌های بیوفیزیکال، پارامترهای خاک و پیاده‌سازی ابزارهای اولیه مدیریت داده و تصاویر | مدیر پروژه | 6 | 960 |
| داده (پایگاه داده) | 9 | 1440 |
| سنجش از دور و GIS | 12 | 1920 |
| هوش مصنوعی و یادگیری ماشین | 6 | 960 |
| توسعه‌دهنده Back-end | 6 | 960 |
| توسعه‌دهنده Front-end | 6 | 960 |
| کشاورزی | 3 | 480 |
| فاز ۲: داده‌های هواشناسی و طراحی | جمع‌آوری و یکپارچه‌سازی داده‌های هواشناسی شامل داده‌های گذشته و آینده و طراحی اولیه سامانه‌ | مدیر پروژه | 6 | 960 |
| داده (پایگاه داده) | 9 | 1440 |
| سنجش از دور و GIS | 6 | 960 |
| هوش مصنوعی و یادگیری ماشین | 12 | 1920 |
| توسعه‌دهنده Back-end | 6 | 960 |
| توسعه‌دهنده Front-end | 6 | 960 |
| کشاورزی | 3 | 480 |
| فاز ۳: شناسایی پیشرفته و سامانه‌های هوشمند | جمع‌آوری داده‌های پیشرفته، پیاده‌سازی سوپررزولوشن، شناسایی زمین‌های کشاورزی، شبیه‌سازی رشد و تفسیر خودکار وضعیت سلامت محصول، پیاده‌سازی و آزمایش اولیه سامانه‌ هوشمند | مدیر پروژه | 6 | 960 |
| داده (پایگاه داده) | 6 | 960 |
| سنجش از دور و GIS | 12 | 1920 |
| هوش مصنوعی و یادگیری ماشین | 18 | 2880 |
| توسعه‌دهنده Back-end | 6 | 960 |
| توسعه‌دهنده Front-end | 6 | 960 |
| کشاورزی | 3 | 480 |

خلاصه کل بودجه‌ریزی بر اساس تخصص (افق ۱۸ ماهه)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| تخصص | مجموع نفر/ماه | مجموع ساعت |
| مدیر پروژه | 18 | 2880 |
| داده (پایگاه داده) | 24 | 3840 |
| سنجش از دور و GIS | 30 | 4800 |
| هوش مصنوعی و یادگیری ماشین | 36 | 5760 |
| توسعه‌دهنده Back-end | 18 | 2880 |
| توسعه‌دهنده Front-end | 18 | 2880 |
| کشاورزی | 9 | 1440 |
| مجموع کل | **153** | **24480** |

برنامه زمانی مراحل توسعه سامانه کشاورزی مکانمند

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **فاز** | مراحل پروژه | **ماه** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** |
| **داده و استخراج شاخص‌ها** | بررسی وضعیت موجود داده ها | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شناسایی نواقص داده ای و رفع آن ها | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| آماده سازی، تبدیل و ورود داده ها به پایگاه داده |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| اجرای ابزارهای مدیریت کاربران |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| اجرای ابزارهای برداشت، ثبت، ویرایش و خروجی گرفتن از اطلاعات |  |  |  | X | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| اجرای ابزارهای مدیریت تصاویر ماهواره ای |  |  |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **داده‌های هواشناسی و طراحی** | اجرای ابزارهای جستجو، گزارش‌گیری، روند کاری و مدیریت سابقه |  |  |  |  |  |  | X | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| پیاده سازی ماژول های تخصصی موردنیاز سامانه (بخش 1) |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X |  |  |  |  |  |  |
| **شناسایی پیشرفته و سامانه‌های هوشمند** | پیاده سازی ماژول های تخصصی موردنیاز سامانه (بخش 2) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X |  |  |  |
| خطایابی و رفع ایرادات |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X |  |  |
| پیاده سازی بر روی سرویس دهنده |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X |  |
| راه اندازی نهایی و پشتیبانی |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X |