

بیماری‌های گیاهی یکی از چالش‌های اساسی در تولید پایدار محصولات کشاورزی هستند. گسترش سریع آفات و بیماری‌ها می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به امنیت غذایی، اقتصاد کشاورزان و محیط‌زیست وارد کند. تشخیص زودهنگام و دقیق بیماری‌های گیاهی به‌عنوان یک گام کلیدی برای مدیریت مؤثر و کاهش استفاده بی‌رویه از سموم شناخته می‌شود (Mahlein, 2016). در دهه اخیر، فناوری‌های نوین با تکیه بر پیشرفت‌های علم داده، سنجش از دور، حسگرهای زیستی و هوش مصنوعی، رویکردهای جدید و کارآمدی را برای شناسایی بیماری‌ها ارائه داده‌اند (Sankaran et al., 2010).

### 1. تصویربرداری طیفی و سنجش از دور

تصویربرداری چند طیفی<sup>۱</sup> و فرا طیفی<sup>۲</sup> از ابزارهای مهم در تشخیص غیرمخرب بیماری‌های گیاهی هستند. این فناوری‌ها با ثبت بازتاب نور در طول موج‌های مختلف از سطح برگ‌ها و تاج پوشش گیاه، الگوهای خاصی را نشان می‌دهند که می‌توانند نشانه‌های اولیه بیماری را آشکار سازند (Zhang et al., 2003). پهپادها<sup>۳</sup> و ماهواره‌ها نیز نقش مهمی در این حوزه دارند، آن‌ها با فراهم کردن تصاویر با وضوح بالا و پوشش وسیع، امکان

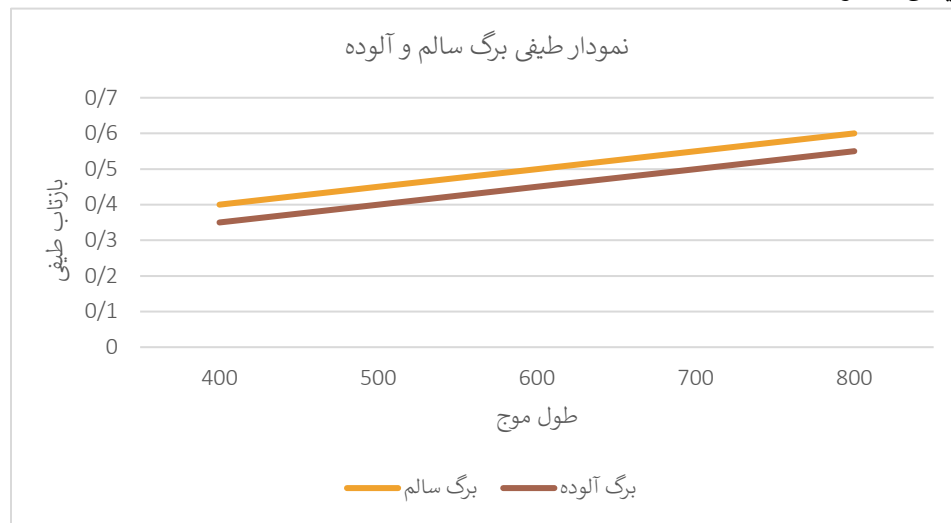
پایش مزارع در بازه‌های زمانی کوتاه را فراهم می‌کنند به‌عنوان مثال، کاهش بازتاب در طول موج‌های نزدیک به مادون قرمز ممکن است نشانگر کاهش کلروفیل یا آسیب به بافت‌های گیاهی باشد همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، الگوی بازتاب طیفی برگ‌های سالم و آلوده تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارد (Zhang et al., 2003). داده‌های حاصل از این تصاویر با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین پردازش شده و مناطق آلوده شناسایی می‌شوند (Mahlein, 2016).

---

<sup>1</sup> Multispectral

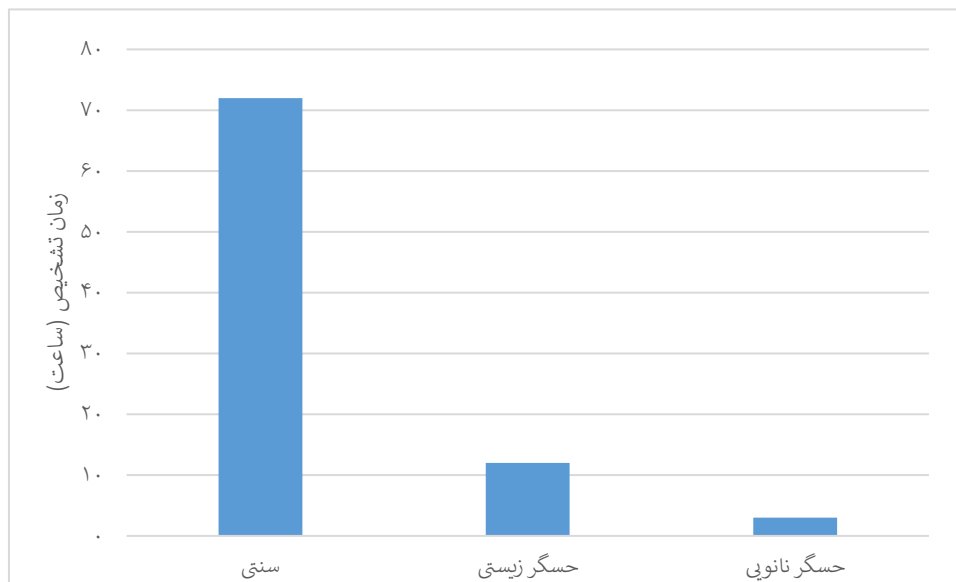
<sup>2</sup> Hyperspectral

<sup>3</sup> Unmanned Aerial Vehicle



نمودار ۱: مقایسه ای از بازتاب نور در طول موج های مختلف برای برگ های سالم و آلوده

بیوسنسورها ابزارهایی هستند که می‌توانند حضور پاتوژن‌ها (ویروس، باکتری، قارچ) را به صورت سریع و دقیق تشخیص دهند. این حسگرها با استفاده از ترکیبات زیستی (مانند آنزیم‌ها یا آنتی‌بادی‌ها) به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهند و در صورت تشخیص عامل بیماری‌زا، سیگنالی قابل خواندن ارسال می‌کنند (Pantelopoulous & Bourbakis, 2008). ترکیب بیوسنسورها با نانوفناوری موجب افزایش حساسیت و دقت آن‌ها شده است. به عنوان مثال، استفاده از نانوذرات طلا در ساختار حسگرها موجب شناسایی ویروس‌ها در مقادیر بسیار کم می‌شود. این ابزارها می‌توانند مستقیماً در مزرعه استفاده شوند و زمان تشخیص را از چند روز به چند دقیقه کاهش دهند (Sankaran et al., 2010). بر اساس نتایج ارائه شده در نمودار ۲، روش‌های مبتنی بر حسگرهای زیستی در مقایسه با روش‌های کلاسیک آزمایشگاهی، سریع‌ترین زمان پاسخ را دارند.



نمودار ۲: مقایسه زمان تقریبی مورد نیاز برای تشخیص بیماری در روش‌های مختلف

### ۳. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تشخیص بیماری‌ها

یکی از قدرتمندترین ابزارهای امروزی در حوزه تشخیص بیماری‌های گیاهی، یادگیری ماشین<sup>۴</sup> است. مدل‌های پیشرفته مانند شبکه‌های عصبی پیچیده (CNN) قابلیت شناسایی الگوهای بصری بیماری را از طریق تحلیل تصاویر برگ‌ها یا گیاهان دارند (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). الگوریتم‌های دیگری نظیر SVM<sup>۵</sup>، KNN<sup>۶</sup> نیز در ترکیب با داده‌های محیطی (دما، رطوبت، نور) برای پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری‌ها استفاده می‌شوند. این روش‌ها به کشاورزان کمک می‌کنند تا پیش از گسترش بیماری، اقدامات کنترلی لازم را انجام دهند (Sankaran et al., 2010).

### ۴. سیستم‌های هشدار سریع و اپلیکیشن‌های هوشمند

امروزه سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا با استفاده از حسگرهای متعدد، داده‌های زیست‌محیطی را به صورت لحظه‌ای جمع‌آوری و تحلیل می‌کنند. این سیستم‌ها در صورت مشاهده الگوهای مشکوک، هشدارهایی به اپلیکیشن‌های موبایل ارسال می‌کنند (Pantelopoulous & Bourbakis, 2008). اپلیکیشن‌های کشاورزی با قابلیت تشخیص تصویر، به کشاورزان این امکان را می‌دهند که تنها با گرفتن عکس از گیاه، نوع بیماری را تشخیص دهند. برخی از این سیستم‌ها حتی توصیه‌های درمانی و راهکارهای کنترل ارائه می‌دهند (Raza et al., 2015).

### ۵. چالش‌ها و آینده پژوهی

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر، موانعی نیز در مسیر گسترش این فناوری‌ها وجود دارد. هزینه‌های بالا، عدم دسترسی در مناطق روستایی، نیاز به آموزش کاربران، و مقاومت برخی کشاورزان به تغییر رویکردهای سنتی از جمله چالش‌های جدی هستند (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). با این حال، روند توسعه فناوری‌های قابل‌حمل، کم‌هزینه و کاربرپسند در حال افزایش است. پیش‌بینی می‌شود در آینده‌ای نزدیک، ادغام فناوری‌های نوین با کشاورزی دقیق منجر به ایجاد مزارع هوشمند شود که توانایی تشخیص، پیشگیری و مقابله با بیماری‌ها را به صورت خودکار دارند.

<sup>4</sup> Machine Learning

<sup>5</sup> Support Vector Machine

<sup>6</sup> K-Nearest Neighbors

## نتیجه‌گیری

فناوری‌های نوین در حال تغییر بنیادین در شیوه‌های سنتی مدیریت بیماری‌های گیاهی هستند. از تصویربرداری و سنجش از دور گرفته تا هوش مصنوعی و حسگرهای زیستی، همه در جهت افزایش دقت، سرعت و کارایی تشخیص حرکت کرده‌اند. تسهیل دسترسی به این فناوری‌ها، همراه با آموزش و پشتیبانی فنی، می‌تواند نقش مهمی در افزایش بهره‌وری کشاورزی و پایداری زیست‌محیطی داشته باشد.

## منابع

- 1- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90.
- 2- Mahlein, A. K. (2016). Plant disease detection by imaging sensors—parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant Disease*, 100(2), 241–251.
- 3- Pantelopoulos, A., & Bourbakis, N. G. (2008). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, 40(1), 1–12.
- 4- Raza, S. E. A., Prince, G., Clarkson, J. P., & Rajpoot, N. M. (2015). Automatic detection of diseased tomato plants using thermal and stereo visible light images. *PLoS ONE*, 10(4), e0123262.
- 5- Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R., & Davis, C. (2010). A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72(1), 1–13.
- 6- Zhang, M., Qin, Z., Liu, X., & Ustin, S. L. (2003). Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease using hyperspectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(4), 295–310.