



تشخیص میزان و محل آسیب آفت سن در مزارع گندم به روش ماشین بینایی بر پایه تصاویر

هوایی مادون قرمز

جلال برادران مطیع^{۱*}، محمد حسین سعیدی راد^۲

^۱گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: j.baradaran@um.ac.ir

چکیده

سن پس از ملخ یکی از پر خسارت ترین آفات گندم است و می تواند تا ۵۰ درصد موجب کاهش عملکرد شده و در صورت آلودگی بیش از ۲ درصد محصول گندم به سن، از نظر خوراکی غیر قابل مصرف می شود. بنابراین شناسایی کانون های تجمع سن، تشخیص میزان آلودگی مزارع به سن و محاسبه درصد سن زدگی محصول گندم می تواند در مدیریت تولید گندم مفید واقع شود. در این پژوهش مزارع گندم با هدف امکان سنجی پایش و شناسایی مناطق خسارت دیده توسط سن مادر با استفاده از یک پهپاد (کوآد کوپتر) به کمک دوربین مادون قرمز نزدیک، مورد ارزیابی قرار گرفت. پنج مزرعه گندم پاییزه آبی در استان خراسان رضوی که گزارش وجود سن در آنها دریافت شده بود به طور تصادفی انتخاب و در ماه های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد تصویربرداری شدند. تعداد ۷ شاخص پوشش گیاهی طیفی استخراج و بررسی شد. ویژگی های استخراج شده توسط روش جستجوی سلسله مراتبی روبه جلو، به طور جداگانه در هر مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت و مهمترین ویژگی انتخاب شد. همچنین به منظور تشخیص خوشه های سن زده در تصویر هر ماه از مدل هایی بر پایه روش ماشین بردار پشتیبان SVM با هسته RBF استفاده شد. میانگین دقت به کارگیری این روش ۹۷/۵ درصد بدست آمد. تصاویر مادون قرمز نزدیک قابلیت خوبی در تشخیص خوشه های سن زده از سالم داشت. با استفاده از ساختار های طبقه بند SVM کد نرم افزاری در محیط متلب تهیه شد که توانست در هر تصویر تعداد خوشه های سن زده و درصد سطح آسیب دیده را محاسبه و تخمینی از تعداد حشره سن مادر به دست آورد.

واژه های کلیدی: تصویربرداری هوایی، سن گندم، روش ماشین بردار پشتیبان، تصویر مادون قرمز، پردازش تصویر.

۱- مقدمه

گندم با ۷۷۱ میلیون تن تولید در سال ۲۰۲۱ مهمترین محصول کشاورزی در مقیاس جهانی است. همچنین این محصول در ایران با ۱۴ میلیون تن تولید بیش از ۷۰ درصد سهم تولید غلات در سال (۲۰۲۲) را به خود اختصاص داده است (FAOSTAT, 2022). عملکرد این محصول استراتژیک تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی قرار دارد. آفات و بیماری‌های گیاهی از علل اصلی خسارت و کاهش عملکرد گندم است (دهقان بنادکی، ۱۳۹۷). سن با نام علمی *Eurygaster integriceps* Put. (Het.: Scutelleridae)، یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده تولید غلات، به خصوص گندم و جو در اکثر نقاط ایران بویژه مناطق دیم‌خیز است (محیسنی، ۱۳۸۶) که می‌تواند تا ۵۰ درصد موجب کاهش عملکرد شود. هر سال برای کنترل این آفت بیش از یک و نیم میلیون هکتار از مزارع، سم پاشی می‌شود (عسگری، ۱۳۹۶). آلودگی بیش از ۲ درصد از محصول گندم به سن، آن را نظر خوراکی غیر قابل مصرف می‌کند. شناسایی کانون‌های تجمع سن، تشخیص میزان آلودگی مزارع به سن و محاسبه درصد سن زدگی محصول گندم می‌تواند در مدیریت تولید گندم از نظر اتخاذ تصمیمات به برای مبارزه و کنترل آفت و جلوگیری از اختلاط گندم آلوده با سالم، مفید واقع شود. همچنین شناسایی کانون‌های تجمع سن می‌تواند ضمن کاهش استفاده از سموم موجب تولید محصولی سالم تر شود.

سن بالغ حشره ای به طول ۱۲ تا ۱۳ میلی متر و به عرض ۶ میلی متر است. رنگ آن از زرد خاکستری تا قهوه ای مایل به سیاه تغییر می‌کند. دوره رشد حشره سن را به سه بخش سن مادر، پوره‌ها و سن بالغ می‌توان تقسیم کرد. سن مادر پس از زمستان گذرانی در کوهپایه‌ها و ورود به مزارع از برگ، ساقه و جوانه مرکزی گیاه گندم تغذیه می‌کند. سن در این مرحله باعث ضعف بوته‌ها، پیچیدگی و خشک شدن برگ‌ها و سفید شدن خوشه‌ها از محل تغذیه یا فرو بردن خرطوم سن می‌شود. بعد از ۷ تا ۱۴ روز، سن مادر جفت گیری کرده و هر حشره ماده حدود ۷۰ تا ۸۰ تخم در دسته‌های ۱۴ تایی زیر برگ‌ها می‌گذارد (نادریان، ۱۳۷۶). در این مرحله گیاه گندم به رنگ سبز بوده و خوشه‌های صدمه دیده به رنگ سفید یا زرد روشن تغییر حالت می‌دهند. در این مرحله به دلیل تعداد محدود حشره سن مادر میزان خسارت اندک و مبارزه شیمیایی حداکثر اثر بخشی را دارد.

تغذیه حشره سن از گیاه ضمن ایجاد اختلال در فرایند رشد آن، موجب تغییر ساختار رنگی و یا طول موج‌های ساطع شده از برگ‌ها و خوشه‌ها می‌شود. بنابراین امکان شناسایی نقاط آلوده به آفت از طریق تصویربرداری در دوره‌های زمانی مشخص به کمک روش پردازش تصاویر محصول وجود دارد. در مزارع وسیع گندم، امکان تهیه تصویر از محصول به کمک پهپاد^۱ در شرایط ارتفاع کم و قدرت تفکیک مکانی زیاد، میسر است (Garcia-Ruiz et al, 2013; Shanahan et al., 2001). شناسایی زود هنگام خوشه‌های صدمه دیده و تراکم آنها معادل با مکان‌های تجمع سن مادر در مزرعه می‌باشد. شناسایی سن مادر از دو جنبه قابل توجه است، اول اینکه در این مرحله خسارت به خوشه‌ها در حداقل مقدار ممکن است و دوم اینکه محل‌های تجمع سن مادر معادل با محل تخم ریزی و رشد پوره‌ها است. بنابراین، در صورت

^۱Sunn pest

^۲ پرنده‌ی هدایت‌پذیر از دور

شناسایی این کانون‌ها می‌تواند در زمان مناسب و پیش از گسترش آفت عملیات مبارزه شیمیایی را با حداکثر اثر بخشی برای کاهش میزان خسارت به محصول گندم به انجام رساند.

پژوهش‌های مختلفی بر روی کاربرد روش پردازش تصویر در شناسایی خصوصیات محصولات کشاورزی انجام شده و کاربردی بودن این روش اثبات شده است. فرض اساسی در کاربردهای سنجش از دور در کشاورزی این است که تفاوت در رشد محصول و شرایط خاک می‌تواند از طریق تغییرات در پاسخ طیفی یا رنگی شناسایی شوند (Warren *et al*, 2005). سامانه‌های سنجش از دور معمولاً شامل ماهواره، هواپیما، بالن و پهپاد هستند و انواع گوناگونی از حسگرها از قبیل حسگرهای نوری و مادون قرمز نزدیک و رادارها بر روی این سکوها، نصب می‌شوند. اطلاعات تشخیصی به دست آمده از تصاویر شامل: زیست توده^۲ شاخص سطح برگ^۴ (LAI)، بیماری‌ها و تنش آبی است که این اطلاعات می‌توانند در مدیریت محصول، پیش بینی عملکرد و کنترل آفات، سودمند باشند.

به منظور دستیابی به خصوصیات گیاهی مرتبط با سلامت گیاه ابتدا به کمک دوربین‌های ابرطیفی (Uto *et al*, 2013)، چند طیفی (Primicerio *et al*, 2012)، مادون قرمز نزدیک (Elarb *et al*, 2015) و یا مرئی (Ballestros *et al*, 2014) از سطح برگ و یا کل گیاه تصویر برداری می‌شود. تصویربرداری می‌تواند از طریق سامانه‌های زمینی و یا از طریق تصاویر هوایی انجام شود. پس از تصویر برداری، تصاویر به کمک رایانه پردازش شده و با استخراج شاخص‌های مختلفی مانند NDVI، LAI تغییرات سلامت گیاهان در سطح مزرعه و یا باغ تعیین می‌شود. به عنوان نمونه می‌توان به ارتباط بین بیماری GDL^۵ و شاخص NDVI در باغات انگور (Di Gennaro *et al.*, 2016)، پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ اشاره کرد. در پایش اکثر بیماری‌های گیاهی به منظور دستیابی به بالاترین دقت، لازم است از تحلیل همزمان چند شاخص گیاهی استفاده کرد (Zarco-Tejada *et al*, 2013; Elarb *et al*, 2015).

با توجه به خسارت قابل توجه سالیانه حشره سن به مزارع گندم، سطح زیان اقتصادی سن مادر در مزارع دیم به‌طور متوسط ۱/۸ حشره در هر متر مربع برآورد شده که جهت آغاز عملیات مبارزه شیمیایی بکار می‌رود (محیسنی و همکاران، ۱۳۸۶). برای تصمیم‌گیری در خصوص اجرای برنامه مبارزه شیمیایی، تعیین تراکم سن در مزرعه اهمیت زیادی دارد و دستیابی به یک روش نمونه‌برداری و یا تخمین دقیق حشره در مزرعه می‌تواند مفید فایده باشد. در مزارع آلوده به آفت سن، به‌طور متوسط هر سن مادر موجب خشک‌شدن ۱۲/۲ سنبله می‌شود (بهرامی و همکاران، ۱۳۸۱). بنابراین می‌توان با شمارش تعداد سنبله‌های آسیب دیده، به‌طور غیر مستقیم برآورد مناسبی از تعداد حشره در واحد سطح را به دست آورد. لذا هدف از این پژوهش بررسی و امکان‌سنجی استفاده از روش تصویربرداری هوایی به وسیله پهپاد در شناسایی زود هنگام مناطق آلوده به سن مادر در مزارع گندم، شمارش تعداد سنبله‌های خشک شده و ارتباط آن با تعداد حشرات سن مادر است. از این رو، برای انجام این پژوهش از تصاویر طیف مادون قرمز نزدیک که به وسیله پهپاد تهیه شده بود، استفاده شد.

Biomass

^۴Leaf Area Index

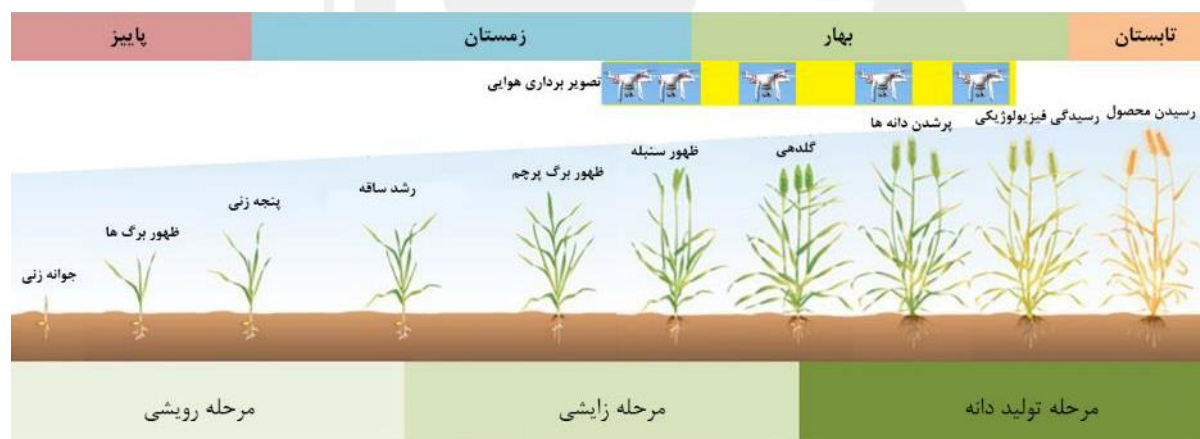
^۵Grapevine leaf stripe disease -GLDS

۲- مواد و روشها

فرایند تشخیص آسیب سن به گیاه گندم در دو مرحله تصویر برداری و پردازش تصاویر انجام شد. با توجه به خصوصیات مختلف آب و هوایی و تفاوت در رفتار طیفی گندم در طول دوره رشد به آسیب‌های ناشی از حشره سن، تصویر برداری در ۵ مزرعه گندم پاییزه در پنج ماه متوالی انجام شد. تصویر برداری با استفاده از پهپاد به وسیله دوربین مادون قرمز نزدیک، در ۵ مرحله بین ماه‌های فوریه تا ژوئن که از نظر فنولوژیکی مطابق با مراحل ظهور سنبله و ایجاد خوشه تا رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه گندم بود، انجام شد. این مراحل مطابق با ریزش حشرات سن مادر و مراحل رشد پوره‌ها می‌باشد (شکل ۱).

جدول ۱- مزارع گندم انتخاب شده برای پایش آفت سن و تصویربرداری هوایی

مختصات مرکز مزرعه UTM	فاصله زمانی پس از کاشت (ماه)	تاریخ تصویربرداری	Site code
36°13'11.1"N 59°38'58.0"E	۴	۲۰ اسفند	Feb. A1
36°13'25.4"N 58°49'55.5"E	۵	۴ فروردین	Mar. A2
35°34'15.0"N 59°23'27.8"E	۶	۲۵ فروردین	Apr. A3
36°27'53.1"N 59°27'13.7"E	۷	۱۲ اردیبهشت	May. A4
37°20'03.3"N 57°44'11.0"E	۸	۵ خرداد	Jun. A5



شکل ۱- تطابق مراحل فنولوژیکی گندم و عملیات تصویربرداری هوایی (انتهای زمستان تا اواسط بهار) (Huant et al., 2018)

۲-۱ تصویر برداری

تصویر برداری از مزارع با استفاده از پهپاد انجام شد. به دلیل آنکه تصویربرداری در طیف مرئی بازخورد کاملی از خصوصیات درونی گیاه در اختیار نمی‌گذارد و در اکثر موارد قابلیت‌های کمتری در تشخیص و تمایز گیاه سالم و آسیب دیده نسبت به دوربین‌های مادون قرمز نزدیک دارد، علاوه بر دوربین مرئی پهپاد از دوربین NIR مدل SURVEY2 ساخت شرکت MAPIR استفاده شد که قادر است تصاویر را در دو باند مادون قرمز نزدیک (۸۵۰ نانومتر) و قرمز (۶۶۰ نانومتر) با اندازه ۱۲ مگاپیکسل تهیه کند. این دوربین تنها ۴۷ گرم وزن دارد و به منظور

تصویر برداری هم زمان با دوربین مرئی، به کمک یک پایه اختصاصی بر روی پهپاد نصب شد. تصاویر مرئی توسط دوربین پهپاد ساخت شرکت DJI با ابعاد ۱۲ مگاپیکسل تهیه شد که جهت اعتبار سنجی تصاویر NIR و ساخت تصویر اورتوموزائیک مورد استفاده قرار گرفت.

فرایند تصویربرداری شامل دو بخش یافتن محل‌های سن زده با بازدید زمینی و سپس تصویربرداری هوایی بود. کنترل پهپاد در وضعیت دستی انجام گرفت تا تصاویر به طور دقیق از محل‌های مورد نظر اخذ شود. **Error! Reference source not found.** به دلیل برخورداری از قدرت تفکیک بالاتر در مرحله امکان سنجی، ارتفاع پرواز ۵ متر انتخاب شد. سانکاران و همکاران (۲۰۱۵) نیز ارتفاع پرواز کم را پیشنهاد کرده اند (Sankaran et al., 2015). تعیین ارتفاع پهپاد از سطح زمین توسط حسگر بارومتر پهپاد انجام گرفت که نسبت به نقطه شروع پرواز در حاشیه مزرعه صفر شده بود.

تصویر برداری از مزارع در وضعیت جوی آفتابی، بین ساعت ۱۰ الی ۱۲ ظهر انجام شد. تصاویر خام تهیه شده توسط دوربین پس از انتقال به رایانه مورد تحلیل و پردازش در حیطه رنگ قرار گرفت. پردازش تصاویر شامل ۴ مرحله پیش پردازش، قطعه‌بندی تصویر، تعیین شاخص‌های پوشش گیاهی، طبقه‌بندی تصاویر بود. مراحل فرایند پردازش تصاویر مزرعه‌ای در محیط نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۷ انجام شد.

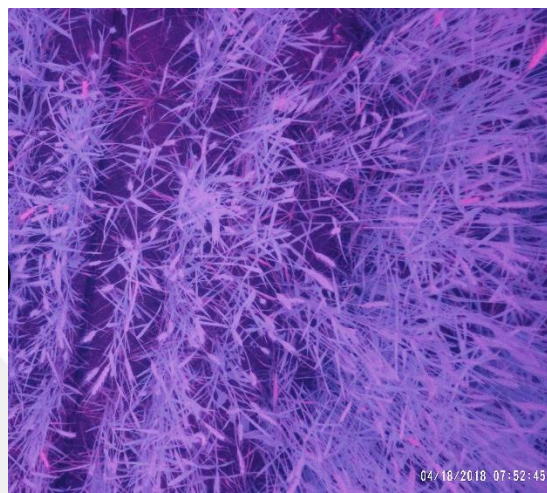
بر روی تصاویر از هر دو روش پیش پردازش محلی و پیش پردازش پیکسلی در جهت بهبود تصاویر و کاهش ایرادات ناخواسته استفاده شد. مهم ترین بخش پیش پردازش تصاویر NIR کالیبراسیون آنها بود. عملیات کالیبراسیون به منظور بهبود رنگ و تفاوت باندهای NIR و RED به کمک بسته نرم‌افزاری MAPIR CAMERA CONTROL که توسط شرکت سازنده دوربین در اختیار قرار گرفته بود انجام شد. این فرایند با اعمال ضرایب از پیش تعیین شده به تصاویر تغییرات ناخواسته بازتاب نور در تصاویر را حذف کرد. سپس بر روی تصاویر NIR پیش پردازش‌هایی از جمله بسط هیستوگرام به منظور بهبود کنتراست بر روی تصاویر انجام گرفت و هر تصویر به دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک تفکیک شد (شکل ۲).



شکل ۲- راست: تصویر NIR از بوته گندم سن زده، چپ: پس از پیش پردازش.

در مرحله بعد فرایند قطعه بندی روی تصاویر انجام شد. هدف از قطعه بندی تصویر، جداسازی شکل مورد نظر از زمینه و سایر شکل‌های دیگر موجود در تصویر است. تصاویر با دستور Color Thresholder در نرم‌افزار متلب به باندهای اساسی تفکیک و طوری ماسک گذاری

شد تا خوشه‌های سن زده از خوشه‌های سالم جدا شود. سپس ماسک به دست آمده برای استخراج پیکسل‌های مربوط به خوشه‌های سن زده به کار گرفته شد (شکل ۳). همچنین ماسک دیگری نیز برای حذف پس زمینه بر روی تصاویر اعمال شد. بدین ترتیب از هر تصویر دو دسته داده در اختیار قرار گرفت. دسته اول - مجموعه داده‌های خام از باندهای اصلی (قرمز و مادون قرمز برای تصاویر NIR) مربوط به خوشه‌های سن زده و دسته دوم - مجموعه داده‌های خام باندهای اصلی مربوط به سایر قسمت‌های گیاه و خوشه‌های سالم. این مجموعه داده‌ها به منظور محاسبه شاخص‌های تصویر در مرحله آموزش سیستم طبقه بند استفاده شد.



شکل ۳ - بخشی از تصویر هوایی NIR برداشت شده از مزرعه A2 و نواحی ماسک شده مربوط به خوشه‌های سن زده

به دلیل آنکه شکل خوشه‌های سن زده و سالم بسیار به هم شبیه است بنابراین، شاخص‌های شکلی کنار گذاشته شد و فرایند طبقه‌بندی براساس شاخص‌های رنگ در طیف‌های مادون قرمز نزدیک انجام شد. شاخص‌هایی مطابق جدول ۲ برای تمامی پیکسل‌ها محاسبه شد. هفت شاخص RED، NIR، NDVI، RVI، DVI، IPVI و F2 به منظور طبقه‌بندی و تفکیک خوشه‌های سن زده از سالم از تصاویر مادون قرمز در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌ها در تصاویر مرئی و NIR پس از حذف زمینه برای خوشه‌های سن زده و خوشه‌های سالم و برگ‌ها محاسبه شد. سپس داده‌های مربوط به خوشه‌های سالم و خوشه‌های سن زده به منظور استفاده در آموزش سیستم طبقه بند در دو گروه جداگانه قرار داده شد.

جدول ۲- شاخص‌های بررسی شده در تصاویر هوایی به منظور یافتن تمایز بین خوشه‌های سالم و سن زده

منبع	نحوه محاسبه	نام شاخص	نوع تصویر
Groll et al., 2007	بازتاب در باند قرمز	طیف RED	
Mohamed et al., 2018	بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک	طیف NIR	
Candigi et al., 2015	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	NDVI*	
Xue and Su, 2017	$RVI = \frac{RED}{NIR}$	RVI [†]	تصاویر مادون قرمز
Xue and Su, 2017	$DVI = NIR - RED$	DVI [‡]	نزدیک
Silleos et al., 2006	$F_1 = \frac{RED - NIR}{RED}$	IPVI	
Crippen, 1990	$F_2 = \frac{NIR}{RED + NIR}$	F2 [§]	

پس از محاسبه شاخص‌ها، نوبت به رتبه بندی آنها از نظر کارایی در فرایند جداسازی می‌رسد. هدف از مرحله رتبه بندی ویژگی، استنتاج مجموعه‌ای از مقادیر کمی بود که بتواند به طور بالقوه برای تمایز بین خوشه‌های سن زده و سالم به کار رود. به طور معمول، فرایند استخراج ویژگی منجر به مجموعه کوچکتری از ویژگی‌ها نسبت به ابعاد فضای اصلی می‌شود، همچنین رتبه بندی ویژگی‌ها در کاربردهایی که بامحدودیت حجم پردازش اطلاعات روبرو هستند می‌تواند اولویت انتخاب ویژگی‌ها را مشخص کند (Vani et al., 2017). "انتخاب متوالی رو به جلو ویژگی‌ها" به عنوان روش انتخاب و رتبه بندی شاخص‌ها در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت. در این روش در هر گام همه شاخص‌ها بررسی می‌شوند تا مشخص شود کدامیک بیشترین مشارکت را در تفکیک بین کلاس‌ها دارد. سپس آن شاخص انتخاب شده و دوباره ارزیابی با شاخص‌های باقیمانده انجام می‌شود. بدین ترتیب همه شاخص‌ها رتبه بندی می‌شوند. فرایند انتخاب ویژگی‌ها در محیط نرم افزار متلب به کمک تابع sequentialfs با K-fold ۵ به طور جداگانه برای هر ۵ مزرعه انجام شد.

در این پژوهش به منظور تفکیک خوشه‌های سن زده از سایر بخش‌های گیاه (خوشه‌های سالم و برگ‌ها) از طبقه بندی خطی ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد (Vani et al., 2017; Camargo and Smith, 2009). تصاویر به کمک نرم افزار MATLAB، با استفاده از ۸۰ درصد داده‌ها در مرحله آموزش به ازای هر کدام از مزارع یک ساختار جداگانه SVM ایجاد شد. سپس ساختار به دست آمده به کمک ۲۰ درصد باقی مانده داده‌ها مورد بررسی و اعتبار سنجی قرار گرفت. در روش SVM هسته مرکزی می‌تواند به شکل خطی، نمایی و یا شعاعی باشد. هسته شعاعی یا RBF بالاترین دقت را در مدل‌هایی که رابطه بین داده‌ها خطی نیست به دست می‌دهد، اما در مقایسه با دو هسته خطی و نمایی، بار محاسباتی بیشتری را به پردازشگر تحمیل می‌کند. در این پژوهش از هسته شعاعی RBF استفاده شد.

*Normalized difference vegetation index

†Ratio Vegetation Index

‡Difference Vegetation Index

§Infrared percentage vegetation index (IPVI)

¶Sequential Forward Feature Selection

¶¶Support Vector Mechine (SVM).

پس از حذف پس زمینه و قطعه‌بندی تصاویر، داده‌ها (طیف‌های اصلی پیکسل‌ها) در دو دسته خوشه‌های سن زده و سالم (خوشه سالم و برگ‌ها) قرار گرفتند و شاخص‌های مربوط به نواحی سن زده و نواحی سالم محاسبه شد. سپس، به کمک نرم افزار MATLAB کدی تهیه شد تا با دریافت تصاویر و همچنین تاریخ تصویر برداری (تعداد ماه پس از کاشت) ضمن تشخیص نقاط مرتبط با خوشه‌های سن زده با استفاده از طبقه بند SVM، درصد سطح آلوده به سن را نیز محاسبه می‌کند. از طرفی با توجه به مرتبط بودن تعداد خوشه‌های سن زده با تعداد حشرات سن در محل، تخمینی از تعداد حشره در واحد سطح نیز ارائه شد. در نتیجه با مقایسه تعداد حشره در هر ناحیه با حد زیان اقتصادی می‌توان در خصوص زمان و لزوم اقدام برای مبارزه شیمیایی برنامه ریزی کرد.

۳- نتایج و بحث

تصاویر هوایی تهیه شده از مزارع توسط نرم افزار متلب مورد پیش پردازش قرار گرفت و هفت شاخص برای تصاویر NIR محاسبه شد که میانگین شاخص‌های محاسبه شده در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۳- میانگین شاخص‌های محاسبه شده برای تصاویر مرئی و NIR برای خوشه‌های سن زده و سایر قسمت‌های گیاه (خوشه‌های سالم و برگ‌ها).

مزرعه (تاریخ تصویربرداری)	A1 (فوریه)	A2 (فوریه)	A3 (مارس)	A4 (آپریل)	A5 (می)
شاخص/باند	سن زده	سایر	سن زده	سایر	سن زده
RED	۱۲۰/۵	۷۹/۳	۹۴/۴	۷۳/۱۶	۹۸/۵
NIR	۱۳۴/۴	۱۲۰/۹	۱۰۲/۷	۱۰۷/۴	۱۱۱/۱
NDVI	۰/۰۶۷	۰/۲۰۹	۰/۰۴۹	۰/۱۹۵	۰/۰۶۶
RVI	۰/۸۸۱	۰/۶۵۷	۰/۹۲۱	۰/۶۷۴	۰/۸۷۹
DVI	۱۶/۲۷	۴۱/۲۸	۷/۹۸	۳۴/۵	۱۲/۵۸
IPVI	-۰/۱۵	-۰/۵۲	-۰/۱۰	-۰/۴۸	-۰/۱۴
F2	۰/۵۳۵	۰/۶۰۳	۰/۵۲۳	۰/۵۹۷	۰/۵۳۲

بررسی شاخص‌ها

با بررسی میزان بازتابش در باند قرمز تصاویر در هر پنج مزرعه تصویر برداری شده (شکل 4-a) به طور معنی داری مقادیر مربوط به خوشه‌های سن زده از خوشه‌های سالم کمتر است. همچنین افزایش اختلاف بین گندم سن زده و سالم در تصاویر اخذ شده در ماه‌های آپریل و می مشاهده می‌شود که بیانگر افزایش اثر آسیب ناشی از تغذیه حشره سن بر گیاه می‌باشد که منجر به خشک شدن کامل خوشه‌های سن زده شده است. آزمون t بر روی اختلاف میانگین بین داده‌های گندم سن زده و سالم در تمامی مراحل تصویربرداری انجام شد و در تمامی مزارع اختلاف دو گروه معنی‌دار بود. اما این موضوع در خصوص بازتابش در باند NIR نشان داد، میانگین مقادیر NIR بین گندم سن زده و سالم در

تمامی مزارع آزمایش به جز مزرعه A5 اختلاف چندانی با هم نداشته و آزمون t نیز عدم معنی داری اختلاف میانگینها را تایید کرد (شکل 4-b). تنها در مزرعه A5 و A4 این اختلاف معنی دار است. در این دو مزرعه حشره سن به بالغ شده است. گیاهان بیمار بازتاب کمتری در طیف مادون قرمز نزدیک دارند، اما از آنجا که ماهیت تاثیر حشره بالغ سن بر گندم متفاوت است، نتایج بدست آمده با نتیجه تحقیقات Genc و همکاران ۲۰۰۸ نیز مطابقت دارد (Genc et al., 2008).

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده یکی از پر کاربردترین شاخصها در پردازش تصاویر هوایی و ماهواره‌ای برای پایش پوشش گیاهی است (McKinnon et al., 2017; Adamsen et al., 1999). از آنجا که گیاهان سالم نسبت به گیاهان بیمار دارای بازتاب بیشتری در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک هستند، لذا مقادیر NDVI بالاتری دارند. (Govaerts & Verhulst, 2010). میانگین مقادیر NDVI گندم سن زده نسبت به گندم سالم در تمامی داده برداریها با اختلاف معنی داری کمتر است (4-c). در مزارع A1, A2, A3 طی ماههای فوریه و آوریل مقادیر میانگین NDVI تقریباً برابر بوده و همچنین اختلاف بین گندم سالم و سن زده ثابت است. این امر را می توان به دلیل تغییر وضعیت خوشه‌های سن زده از سبز به زرد روشن دانست که نشان دهنده آسیب دیدگی و کاهش فتوسنتز گیاه در اثر حمله حشره سن می باشد. در مزارع A4 و A5 که در ماههای می و ژوئن تصویربرداری شده‌اند به دلیل کاهش سبزیگی محصول گندم (مراحل انتهایی رشد گندم) مقادیر NDVI منفی بدست آمد و اگرچه اختلاف بین محصول سالم و سن زده کاهش پیدا کرده است اما همچنان میانگین NDVI خوشه‌های آسیب دیده پایین تر است. با توجه به شکل 4-d، مقادیر RVI گندم سن زده از سالم بیشتر است، خوشه‌های سن زده بازتاب بالاتری در باند RED و بازتاب کوچکتری در باند NIR داشتند و این موجب بالاتر بودن شاخص RVI شده است. اما به طور کلی اختلاف بین آنها کمتر از ۲۰ درصد است.

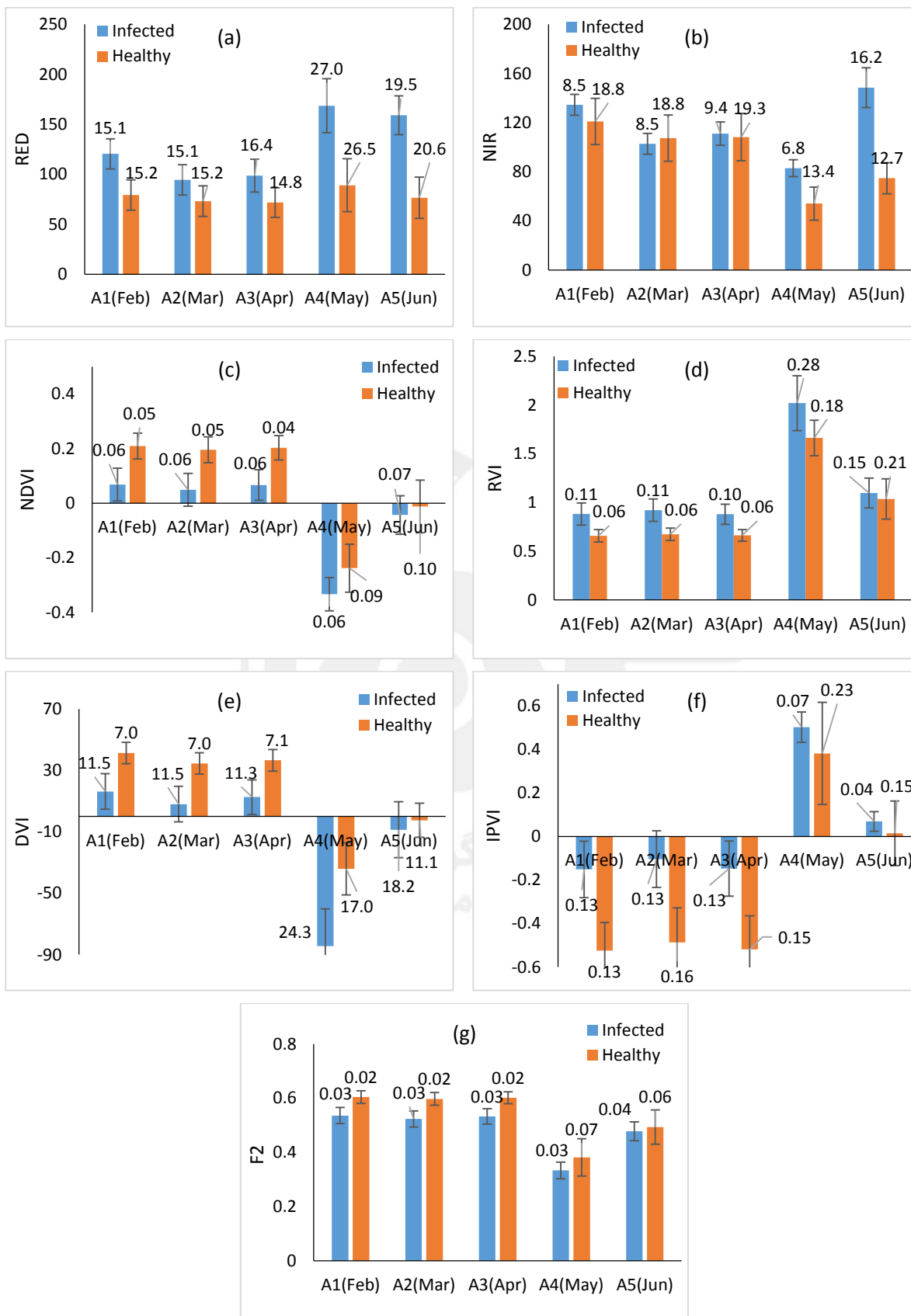
شاخص پوشش گیاهی تفاضلی DVI از تفاضل مقادیر بازتاب باند قرمز از باند مادون قرمز نزدیک به دست می آید. میانگین شاخص DVI برای محصول گندم سن زده در تمامی مزارع تصویربرداری شده کوچکتر از مقدار متناظر آن برای گندم سالم است (Error! Reference source not found. 4). خوشه‌های سالم مقادیر بزرگتری از باند قرمز را نسبت به خوشه‌های سن زده جذب می کنند، در نتیجه بازتاب باند قرمز کوچکتری دارند. بنابراین مقدار شاخص DVI (NIR-RED) خوشه‌های سالم بیشتر می باشد. در مزارع A4, A5 که تاریخ تصویربرداری با مراحل زرد شدن گیاه گندم مصادف شده بود، شاخص DVI منفی بدست آمد زیرا با تکمیل فرایند رشد محصول و تغییر ساختار سلولی از میزان بازتاب باند NIR کاسته شده است (Silva et al., 2004). این شاخص همچنان برای گندم سن زده کمتر از گندم سالم است. لذا استفاده از این شاخص می تواند به عنوان در تشخیص خوشه‌های سن زده مورد استفاده قرار گیرد.

شاخص IPVI برای مزارع A1, A2, A3 که در وضعیتی تصویربرداری شده اند که محصول گندم کاملاً سبز بوده است، مقدار منفی به خود گرفته است. همچنین میانگین IPVI برای گندم سالم با اختلاف زیادی کوچکتر از مقدار آن برای گندم سن زده است (4-f). بنابراین در چنین شرایطی توانایی این شاخص برای تفکیک خوشه‌های سن زده از سالم قابل توجه است. از طرفی در مزارع A4, A5 که در زمان تصویربرداری

محصول گندم در حال زرد شدن بوده است، شاخص IPVI مقدار مثبت به خود گرفته است اما همچنان IPVI برای گندم سالم کوچکتر از IPVI برای گندم سن زده بدست آمد. همچنین اختلاف میانگین IPVI برای خوشه‌های سن زده و سالم کاهش یافته است.

میانگین شاخص F2 که سهم انعکاس NIR را از کل انعکاس در باند قرمز و مادون قرمز نزدیک نشان می‌دهد، برای خوشه‌های سن زده و سالم در هر ۵ مزرعه آزمون بسیار نزدیک به هم بود و اختلاف آنها معنی‌دار نشد. با این وجود مقادیر F2 برای خوشه‌های سالم بیشتر از خوشه‌های سن زده بدست آمد که بیانگر سلامت گیاه به دلیل انعکاس بیشتر در باند مادون قرمز نزدیک است.

به‌طور کلی از بررسی شاخص‌های معرفی شده برای تصاویر باند قرمز و NIR این طور می‌توان نتیجه گرفت که بهترین وضعیت برای شناسایی و تفکیک خوشه‌های سن زده از سالم در مزارع گندم زمانی است که محصول تغییر رنگ نداده و اختلاف بازتاب در طیف NIR و قرمز برای محصول سالم و آسیب دیده قابل توجه باشد. همچنین این امر با هدف برنامه ریزی برای مبارزه شیمیایی نیز همخوانی دارد زیرا هرچه در مراحل اولیه مناطق سن زده شناسایی شوند، احتمال کسب نتیجه بهتر افزایش می‌یابد.



شکل ۴- تغییرات میانگین و انحراف معیار شاخص های محاسبه شده برای تصاویر NIR برای خوشه های سن زده و خوشه های سالم و برگ ها، the error bars indicate the standard deviations

ارزیابی سیستم طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان

به منظور طبقه‌بندی تصاویر به کمک روش SVM، کد محاسباتی در محیط متلب نوشته شد. کلاس‌های طبقه‌بندی نیز شامل دو گروه خوشه‌های سن‌زده و خوشه‌های سالم و برگ‌ها برای سیستم معرفی شد. در این بخش از هر گروه، ۲۰۰۰ مجموعه داده به صورت تصادفی از مجموعه کل داده‌های تصویر انتخاب شد. ۸۰ درصد داده‌های به دست آمده برای آموزش و ۲۰ درصد آن‌ها برای آزمون سیستم مورد استفاده قرار گرفت و دقت سیستم طبقه‌بندی محاسبه شد.

آموزش سیستم برای داده‌های هر مزرعه جداگانه انجام شد و منجر به تولید ساختارهای طبقه‌بند^۳ SVM مجزا شد. با کمک ساختارهای طبقه‌بند به دست آمده، سایر تصاویر مزرعه نیز مورد طبقه‌بندی قرار گرفت. در کد نرم‌افزاری تهیه شده سیستم شمارش تعداد خوشه‌های سن‌زده نیز در نظر گرفته شد. در این سیستم نقاط شناسایی شده‌ای که بزرگتر از ۲۰ پیکسل (حدود ۲ سانتیمتر بر روی محصول) بود به عنوان یک خوشه سن‌زده در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج بهرامی و همکاران (۱۳۸۱) هر ۱۲/۲ خوشه آسیب دیده معادل با خسارت یک حشره سن برآورد شد. بنابراین بدین روش تخمینی از تعداد حشره سن در هر ناحیه تصویر به دست آمد. همچنین با محاسبه تعداد پیکسل‌هایی که به عنوان خوشه‌های سن‌زده شناسایی شده‌اند و محاسبه نسبت آن به کل پیکسل‌های تصویر، درصد آلودگی مزرعه محاسبه شد نتایج آن در ادامه آمده است.

در مرحله ایجاد ساختار طبقه‌بند^۴ به روش ماشین بردار پشتیبان، داده‌های مدل داتما با داده‌های پیش بینی شده مقایسه شد تا بهترین مدل با حداقل انحراف از داده‌های اصلی ایجاد شود. مدل SVM در هر مرحله با محاسبه اختلاف با مقادیر واقعی، با تصحیح خود سعی در کاهش و به صفر رساندن آن دارد.

از دیگر هدف‌های این مرحله دستیابی به بهترین هایپر پارامترها^۵ در مدل‌های جدا کننده داده‌ها مربوط به خوشه‌های سن‌زده و سالم بود. بهینه سازی مدل‌ها به طور خودکار توسط متلب به کمک تابع fitsvm در نرم‌افزار متلب از روش cross-validation و انتخاب ۵ K-fold انجام شد و بهترین مقدار برای هایپر پارامترهای گاما و C در مدل RBF (که منجر به انتخاب مقادیر Box-Constraints, Kernel scale می‌شود)^۶ در هسته‌ی طبقه‌بند SVM برای هر مزرعه انتخاب گردید.

جدول ۴ مقادیر C (Box-Constraint) و Kernel scale را برای مدل‌های به دست آمده نشان می‌دهد. هر چه مقدار C برای یک مدل بزرگتر باشد مزر باریک تری بین دو گروه داده (خوشه‌های سن‌زده و سالم) ایجاد می‌شود و داده‌های کمتری در مرحله آموزش جزء مرز محسوب می‌شوند، برعکس مقادیر کوچک C به مفهوم ایجاد یک مرز عریض بین دو گروه داده است که احتمال قرار گیری بخشی از داده‌ها درون

^۱SVM Classifying Structure

^۱SVM stucture

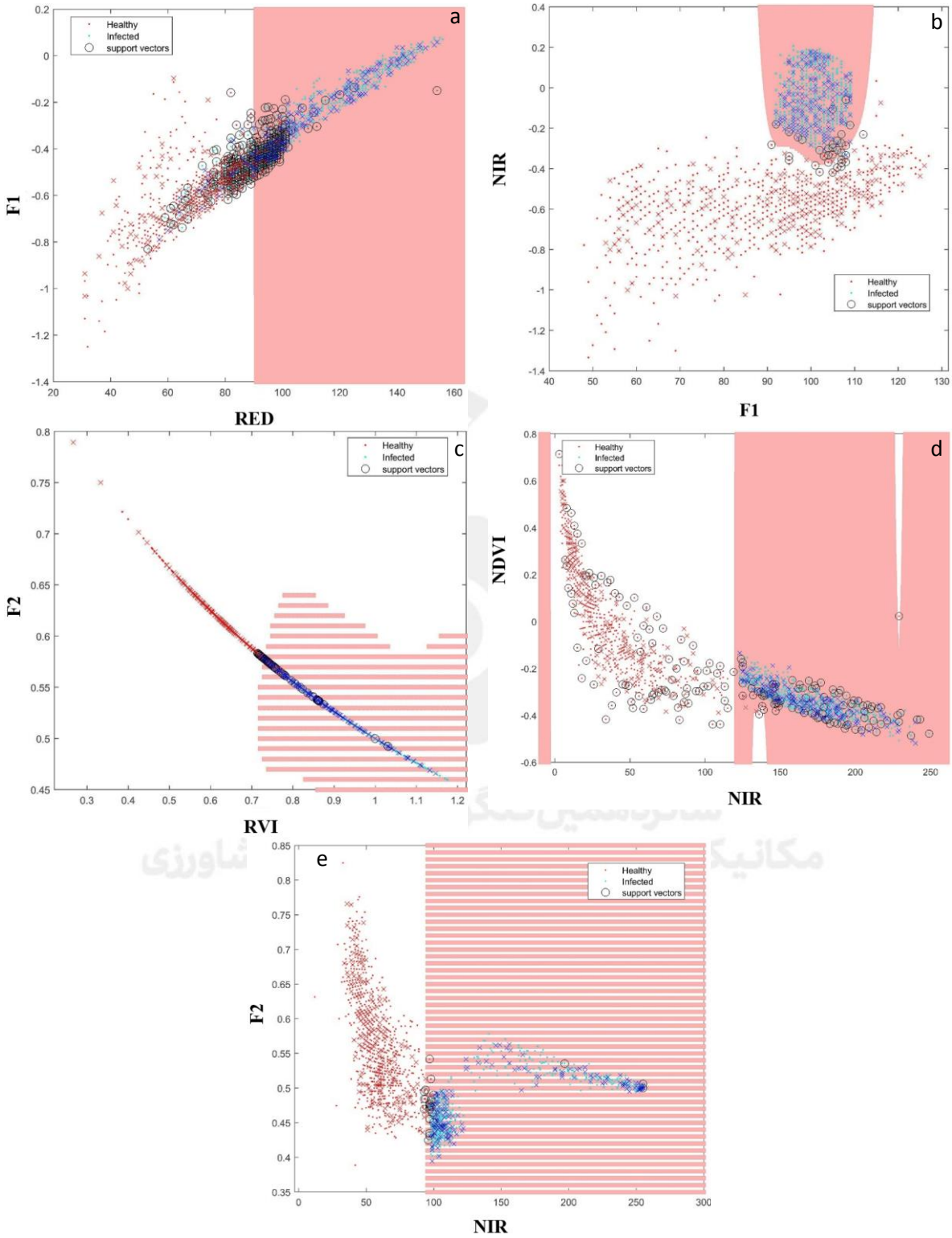
^{۱۵} Hyper Parameters: پارامترهای مرتبط با الگوریتم‌های تکرار پذیر که به منظور بهینه سازی مدل بکار گرفته می‌شوند.

^۱Box-Constraint =C, Kernel scale=1/sqrt(Gamma).

مرز وجود دارد. هر چند کیفیت طبقه‌بندی در مقادیر بزرگتر C بهتر خواهد بود اما احتمال محاسبه خطای بیشتر در مرحله آزمایش وجود خواهد داشت و دلیل آن قرار گرفتن تعدادی از داده‌های مرزی در دسته بندی اشتباه می‌باشد. این مطلب در مدل به‌دست آمده برای مزرعه A1 مشاهده شد. وجود علف‌های هرز شبیه گندم (جو وحشی) موجب بروز خطا در مدل شد. پارامتر Kernel scale که ارتباط معکوس با گاما دارد بیان کننده میزان تاثیر گذاری هر مشاهده بر خروجی مدل در مرحله آموزش است. بنابراین مقادیر کوچکتر Kernel scale مطلوب تر بوده و نشان دهنده ثبات بیشتر مدل است. مقادیر بدست آمده برای هایپر پارامترها در مدل‌های حاضر همگی در محدوده مطلوبی قرار داشته و منجر به دقت بالای سیستم طبقه‌بند شده‌اند. اما از جهت مقایسه به ترتیب مدل‌های A2، A3 و A4 بالاترین کیفیت را برای تشخیص خوشه‌های سن‌زده از سالم دارند. از طرفی مهمترین عامل در کیفیت مدل‌ها زمان تصویربرداری بود به طوری که انعکاس خوشه‌های سالم و سن‌زده در طیف مادون قرمز بالاترین مقدار را داشت. ابرصفحه‌های طبقه‌بند بین دو گروه سن‌زده و سالم به کمک مدل‌های SVM به‌دست آمده با احتساب دو شاخص برتر برای هر مزرعه در شکل نشان داده شده است.

جدول ۴- مقادیر هایپر پارامتر مدل‌های SVM برای تصاویر مادون قرمز نزدیک به همراه دو شاخصی که بالاترین تاثیر را بر مدل‌ها گذاشته اند.

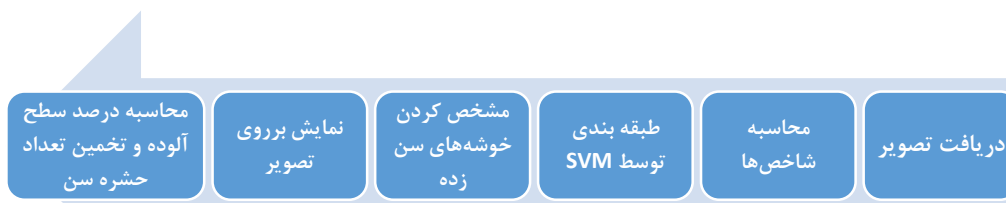
ردیف	نام مزرعه	Box-Constraint	Kernel scale	شاخص رتبه اول	شاخص رتبه دوم	دقت سیستم طبقه‌بند (درصد)
۱	A1	۳۶/۱۲	۱۳۵/۴۶	RED	IPVI	۸۹
۲	A2	۱۳/۸۷	۹/۷۷	IPVI	NIR	۹۹/۵
۳	A3	۳/۳۶	۲۲/۶	RVI	F2	۹۹
۴	A4	۳۲/۵۱	۲/۳۲	NIR	NDVI	۱۰۰
۵	A5	۹۲۵	۳۸/۲۳	NIR	F2	۹۹/۷



شکل ۵- نمونه ای از بهترین ابرصفحه های طبقه بند در فضای دو بعدی که برای نمایش نحوه جداسازی دو دسته داده مربوط به خوشه های سن زده و سالم نشان داده شده است. (A) مزرعه RED-NIR (B) مزرعه IPVI-NIR (C) مزرعه RVI-F2 (D) مزرعه NIR-NDVI (E) مزرعه NIR-F2

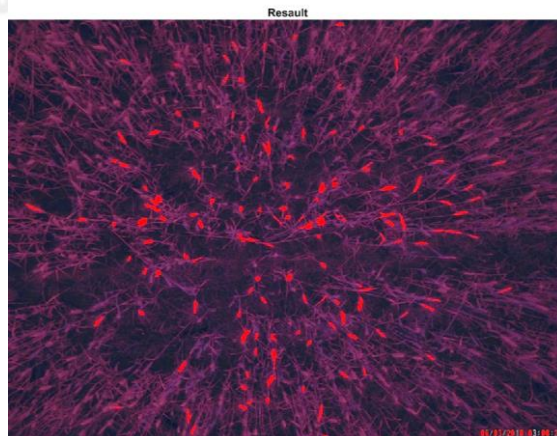
خروجی مدل‌های طبقه‌بند

کد های نوشته شده در محیط متلب که به منظور تشخیص سن گندم بر پایه مدل‌های SVM تهیه شده بود، با کمک تصاویر تهیه شده از مزارع مورد ارزیابی قرار گرفت تا توانایی آن در تشخیص خوشه‌های سن زده سنجیده شود. روند انجام محاسبات در کد نرم‌افزاری در شکل نشان داده شده است.



شکل ۶- روند نمای تشخیص خوشه‌های سن زده در تصاویر هوایی

این کدها قادرند پس از دریافت تصاویر، اقدام به حذف پس زمینه کرده و سپس کلیه شاخص‌های تعریف شده را محاسبه کند، سپس به کمک طبقه بندی SVM خوشه‌های سن زده شناسایی می‌شوند. در مرحله دوم خوشه‌های سن زده به رنگ قرمز بر روی تصویر نمایش داده می‌شود تا کاربر نسبت به موقعیت و حجم نقاط سن زده مطلع گردد. در پایان تعداد خوشه‌ها، درصد سطح آلوده و تعداد معادل حشره سن در منطقه آلوده محاسبه می‌گردد. به عنوان نمونه در شکل ۱۲ تصویر NIR از مزرعه A4 مورد تحلیل قرار گرفته است. در این تصویر ۹۳ ناحیه مرتبط با خوشه‌های سن زده تشخیص داده شده است که ۱/۱۵ درصد سطح را شامل می‌شود همچنین برآورد شده است که این نقاط تحت اثر ۷/۶ حشره سن بوده است.



شکل ۷- خروجی کد نرم‌افزاری SVM در محیط متلب برای بخشی از مزرعه شاهنامه. خوشه‌های سن زده با رنگ قرمز مشخص شده است.

مقایسه خروجی نرم افزار و نتایج به دست آمده از پایش میدانی در تصاویر بالا دقت بسیار خوب سیستم را برای تشخیص خوشه های سن زده نشان می دهد. یکی از عوامل خطا که در تصاویر مرئی بروز می کند وجود علف های هرز مشابه گندم مانند جو وحشی است که به اشتباه ممکن است خوشه سن زده تشخیص داده شوند، اما این مشکل در تصاویر NIR مشاهده نشد.

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر امکان تشخیص خوشه های سن زده گندم که تحت تاثیر حشره سن مادر قرار گرفته بودند به کمک سیستم تصویربرداری NIR در ۵ مزرعه مختلف و در تاریخ های تصویربرداری متفاوت، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد.

به منظور تفکیک بهتر خوشه های سن زده از سالم لازم است پهپاد در ارتفاع پایین (حدود ۵ تا ۱۰ متر) نسبت به گیاه و با رزولوشن بالا تصویربرداری کند تا تفکیک خوشه ها در نرم افزار به درستی انجام شود. در غیر این صورت تنها توده یا بخش های به هم پیوسته که دچار سن زدگی شده اند قابل تشخیص می باشد و امکان شمارش خوشه های سن زده وجود ندارد.

مطابق با نتایج بهترین زمان برای شناسایی سن مادر در مزرعه به دلیل الف) تفاوت بیشتر بازتاب خوشه های سالم و سن زده و ب) امکان از بین بردن پوره ها قبل از ایجاد خسارت، در ماه های فوریه تا آپریل است. به طور میانگین دقت تشخیص سیستم با استفاده از تصاویر مادون قرمز نزدیک ۹۷/۵ درصد بود. بنابراین استفاده از دوربین مادون قرمز نزدیک برای تشخیص سن گندم توصیه می شود.

سیستم تشخیص به خوبی توانست خوشه های سن زده را تشخیص داده، تعداد آنها را بشمارد، درصد سطح آلوده به سن را محاسبه کرده و تعداد حشره سن را تخمین بزند. زمان مورد نیاز برای پردازش هر تصویر هوایی اخذ شده در نرم افزار کمتر از ۱۰ ثانیه است. در مواردی که هدف آنالیز در حرکت (on the go) تصاویر باشد می توان با حداکثر از دست دادن ۲ تا ۳ درصد دقت سیستم تشخیص، پس از تعیین شاخص ها، تنها از دو شاخص برتر استفاده نمود و سرعت پردازش را افزایش داد. روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) با استفاده از هسته شعاعی RBF روش مناسبی برای تشخیص خوشه های گندم سن زده از گندم سالم است.



منابع

- بهرامی ن، غ. رجبی م. رضاییگی و ک. کمالی. ۱۳۸۱. بررسی سطح زیان اقتصادی سن گندم در مزارع گندم دیم استان کرمانشاه، مجله آفات و بیماریهای گیاهی ۷۰(۲)، ۲۹-۴۴.
- عسگری ح. ۱۳۹۶. دستورالعمل کنترل زیستی سن گندم در مکان‌های زمستان گذران، مؤسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور - دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی، نشر آموزش کشاورزی.
- محیسنی ع، ا. سلیمان نژادیان، غ. رجبی، م. مصدق و ا. پیرهادی. ۱۳۸۶. نمونه گیری دنباله ای جمعیت سن مادر (*Eurygaster integriceps*) در مزارع گندم دیم شهرستان بروجرد، فصلنامه انجمن حشره شناسی ایران، ۲۷(۲)، ۴۳-۵۹.
- نادریان ح. و ع. مالمبر، ۱۳۷۶. سن گندم و روش‌های کنترل آن. نشریه ترویجی مدیریت آموزش و ترویج کشاورزی استان همدان.
- Adamsen F. G., P. J. Pinter, E. M. Barnes, R. L. LaMorte, G. W. Wall, S. W. Leavitt, and B. A. Kimball. 1999. Measuring wheat senescence with a digital camera." *Crop Science* 39(3): 719-724.
- Camargo A. and J.S. Smith. 2009. An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms. *Biosystems engineering*, 102(1):9-21.
- Crippen, R.E., 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote sensing of Environment*, 34(1):71-73.
- Di Gennaro S.F., E. Battiston, S. Di Marco, O. Facini, A. Matese, M. Nocentini, A. Palliotti, and L. Mugnai. 2016. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based remote sensing to monitor grapevine leaf stripe disease within a vineyard affected by esca complex. *Phytopathologia Mediterranea*, 55(2):262-275.
- El-Bouhssini M., Abdul Hai M., Trisi A. 2018. Integrated sunn pest management, online brochure, International center for agricultural research in dry areas, ICARDA, P.O. Box: 5466, Aleppo, Syria, www.icarda.org (accessed on July 2019).
- FAOSTAT, F., 2019. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data.QC> (accessed on January 2022).
- Garcia-Ruiz F, S. Sankaran, JM. Maja, WS. Lee, J. Rasmussen, R. Ehsani. 2013. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture* 91: 106-115.
- Genc, H., Genc, L., Turhan, H., Smith, S.E. and Nation, J.L., 2008. Vegetation indices as indicators of damage by the sunn pest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat. *African Journal of Biotechnology*, 7(2):173-180.
- Gomez C., R.A.V. Rossel and A.B. McBratney. 2008. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study. *Geoderma*, 146(3-4):403-411.
- Govaerts B. and N., Verhulst. 2010. The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management part A: concepts and case studies.
- Huant j., Flohr B., Riffkin P., Richards R. 2018. Wheat phenology and the drivers for yield in the high rainfall zone, La Trobe University, AgriBio Centre for Agribiosciences, 5 Ring Rd, Bundoora 3086. Grain Research and Developmen (<https://grdc.com.au>). (accessed on July 2018).
- McKinnon T. and P. Hoff. 2017. Comparing RGB-based vegetation indices with NDVI for agricultural drone imagery. Agribotix LLC, 3309 Airport Road, Boulder, CO 80301 USA.
- Mohamed, E.S., Saleh, A.M., Belal, A.B. and Gad, A., 2018. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1):1-14.
- Moin Namini S., A. Sahraghard and M. Amirmaafi. 2000. Sequential sampling of sunn pest in Varamin area. *Proceedings of the 14th Iranian Plant Protection Congress*, Vol. 1, Pests, 10.
- Primicerio J., S. F. Di Gennaro, E. Fiorillo, L. Genesio, E. Lugato, A. Matese, and F. P. Vaccari. 2012. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture* 13(4): 517-523.
- Sankaran S., L.R. Khot, C.Z. Espinoza, S. Jarolmasjed, V.R. Sathuvalli, G.J. Vandemark, P.N. Miklas, A.H. Carter, M.O. Pumphrey, N.R. Knowles and M.J. Pavek. 2015. Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. *European Journal of Agronomy*, 70:112-123.
- Shanahan, J.F., Schepers, J.S., Francis, D.D., Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., Tringe, J.M., Schlemmer, M.R. and Major, D.J., 2001. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agronomy Journal*, 93(3):583-589.
- Silleos N.G., Alexandridis T.K., Gitas I.Z. and Perakis K., 2006. Vegetation indices: advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto International*, 21(4):21-28.



- Silva, J.M.N., Cadima, J.F.C.L., Pereira, J.M.C. and Grégoire, J.M., 2004. Assessing the feasibility of a global model for multi-temporal burned area mapping using SPOT-VEGETATION data. *International Journal of Remote Sensing*, 25(22):4889-4913.
- Uto K., H. Seki, G. Saito and Y. Kosugi. 2013. Characterization of rice paddies by a UAV-mounted miniature hyperspectral sensor system." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 6(2): 851-860.
- Vani M., A. Sowmya and N. Jayamma. 2017. Brain Tumor Classification using Support Vector Machine, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*,4(7).
- Wang X., M. Wang, S. Wang and Y. Wu. 2015. Extraction of Vegetation Information from Visible Unmanned Aerial Vehicle Images. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 31 (5): 152–159.
- Warren, G., and G. Metternicht. 2005. Agricultural applications of high-resolution digital multispectral imagery: Evaluating within-field spatial variability of canola (*Brassica napus*) in Western Australia. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71:595–602
- Wu C., Z. Niu, Q. Tang, and W. Huang. 2008. Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agricultural and forest meteorology* 148(8): 1230-1241.
- Xiang H, L. Tian. 2011. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering* 108: 174-190.
- Xue J. and B. Su. 2017. Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017.
- Yang C.M., C.H. Cheng, R.K. Chen. 2007. Changes in spectral characteristics of rice canopy infested with brown planthopper and leafhopper. *Crop Science* 47: 329–335.
- Zarco-Tejada P.J., M.L. Guillén-Clement, R. Hernández-Clemente, A. Catalina, M.R. González, and P. Martín. 2013. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agricultural and forest meteorology*, 171:281-294.
- Zarco-Tejada P.J., V. González-Dugo, and JAJ Berni. 2012. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment* 117:322-337.



Determining the extent and location of Sunn-pest damage in wheat fields using machine vision method, based on NIR aerial images

Jalal Baradaran Motie^{*1}, Mohammad Hossein Saeidirad²

¹Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

²Department of Agricultural Engineering Research, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

*Corresponding author: j.baradaran@um.ac.ir

Abstract

Sunn-pest after locust is one of the most damaging wheat pests and can cause a yield reduction of up to 50%. Therefore, it may be useful for the management of wheat production to identify the foci of Sunn pests, determine the degree of infestation of fields with Sunn pests and calculate the percentage of the infected wheat crops. In this study, wheat fields were surveyed with the aim of monitoring and identifying areas infested by female pests using a drone (quadcopter) images with the help of a near-infrared camera. Five irrigated autumn wheat fields in Khorasan-Razavi province, where the presence of the Sunn pest was reported, were randomly selected and photographed in the months of February, March, April, May and June. Seven spectral vegetation indices were extracted and analysed. The features extracted by the hierarchical forward search method were analysed separately for each farm and the most important feature was selected. Also, in order to detect Sunn-pest infected clusters in the image of each month, models based on SVM support vector machine classifier with RBF kernel were used. The average accuracy of this method was 97.5%. Near-infrared images were well suited to distinguish infected from healthy clusters. Using SVM classification structures, a software code was created in the MATLAB environment to calculate the number of infected clusters and the percentage of damaged wheat in each image and obtain an estimate of the number of female insects.

Keywords: Aerial imaging, Sunn-pest, Support vector machine, Near-infrared image, Image processing.