مروری بر روش های غیر تماسی مبتنی بر تصویر به منظور ارزیابی و تخمین محصولات کشاورزی

فاطمه نصیری اردکانی[۱]*، محمودرضا گلزاریان[۲] و محمد حسین آق خانی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

f.nasiri.69@gmail.com

۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده: در این مقاله انواع روشهای تخمین محصولات کشاورزی که به کمک عکس انجام می‌گردد، مرور شده است. تصاویر مورد استفاده در این روشها شامل تصاویر ماهواره‌ای، زمینی و هوایی است. این تصاویر به کمک انواع سنجنده ،دوربین های دیجیتال و سایر وسایل تصویر برداری گرفته شده است. در هر روش پس از دریافت تصاویر از روش های مختلف پردازش تصویر به منظور شناسایی و استخراج اطلاعات محصولات استفاده می‌شود و سپس به کمک مقایسه این داده ها با داده های حقیقی محصول مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سرعت پردازش الگوریتمهای مورد استفاده به اندازه و سطح اطلاعات جزئی در هر نوع از تصاویر بستگی دارد. از اطلاعات استخراج شده از تصاویر و نتایج تجزیه و تحلیل تصاویر به منظور تخمین، ارزیابی، شناسایی محصولات و بیماریهای گیاه استفاده می‌شود. نمونه های ذکر شده در این مقاله از موثر بودن روشهای مبتنی بر تصویر در تخمین و ارزیابی محصولات کشاورزی و باغی حکایت دارد.

کلمات کلیدی: سامانه بینایی تخمین عملکرد، تصویربرداری، کشاورزی دقیق

مقدمه

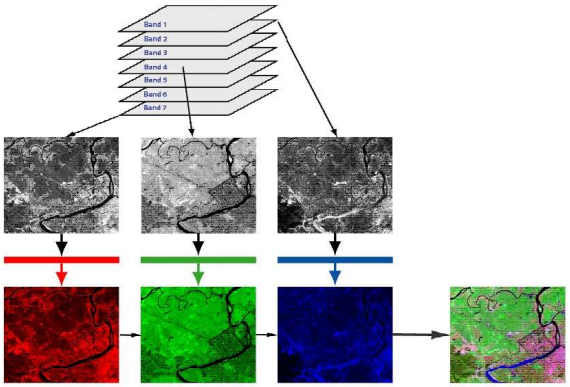
پیشرفت فناوری و اتوماسیون موجب بهبود فرآیندهای کشاورزی از جمله راندمان محصولات ، کاهش هزینه و تخمین دقیق تر میزان محصول می شود . فن آوری های بسیاری در کشاورزی برای ارزیابی محصول مورد بررسی قرارگرفته اند که از جمله آنها می توان به رباتیک، شبکه های عصبی، پردازش تصویر و سنجش از راه دور اشاره کرد.ارزیابی محصولات کشاورزی یک عملیات مهم برای تشخیص زود هنگام بیماری و طبقه بندی محصول است . ارزیابی محصولات را می توان به دو ارزیابی در میدان (قبل از برداشت) و دیگری ارزیابی پس از برداشت تقسیم بندی کرد. ارزیابی در میدان و در زمین زیر کشت می تواند به تشخیص بیماری، نحوه توزیع آلودگیها توسط حشرات و تنش آبی در مراحل اولیه رشد کمک کند. علاوه بر این این نوع ارزیابی می تواند برای پیش بینی عملکرد محصولات و درجه بندی میوه ها برای توافق با خریداران استفاده شود. این در حالی است که تمرکز ارزیابی پس از برداشت میوه به طور عمده در درجه بندی محصول و برآورد کیفیت محصولات است(Moonrinta *et al*. 2010)

همچنین پیشبینی عملکرد محصولات کشاورزی یک فاکتور مهم در مدیریت دقیق مزرعه است که می تواند راهنمایی موثر برای کشاورزان در ارائه قیمت محصول و مبنایی برای مدیریت بازار و متغیرهای آن باشد. برآورد اختصاصی عملکرد از هر یک از درختان در باغ مرکبات ، اطلاعات با ارزشی را تولید می کند که در نهایت به مدیریت دقیق باغ و تولید نقشه های دستورالعملی برای اعمال بصورت مکان خاص و درخت خاص می انجامد.(Annamalai and Lee, 2003). به طور مثال برآورد عملکرد محصول یک وظیفه مهم در مدیریت باغ سیب است . پیش بینی دقیق عملکرد محصول با استفاده از تصمیم گیری دقیق در تخمین حجم تنک کردن و تعداد نیروی کار مورد نیاز برای برداشت میوه باعث بهبود کیفیت میوه و کاهش هزینه های عملیاتی پس از برداشت می گردد. برآورد عملکرد محصول بر اساس داده های تاریخی، شرایط آب و هوایی، و شمارش دستی سیب توسط کارگران در نقاط متعدد نمونه برداری انجام می شود که این کار وقت گیر و سخت می‌باشد. از سوی دیگر حجم نمونه محدود است که معمولا به اندازه کافی برای منعکس کردن توزیع عملکرد محصولات در سراسر باغ نیست ، به خصوص در مواقعی که فضا و محصولات زیاد می باشد(Qi Wang *et al.* 2012) بنابراین شیوه هایی جهت تخمین باردهی یک باغ محصولاتی همچون سیب از روی قسمتی از باغ به نظر ضروری است. روشهای متفاوتی برای تخمین و ارزیابی محصولات زراعی و باغی وجود داردکه یکی از موثرترین روشها، کمک گرفتن از عکسها و آنالیز تصاویر گرفته شده از مزرعه و باغ است. این مقاله مروری است بر شیوه هایی تخمین و ارزیابی با کمک ۱) تصاویر ماهواره ای ۲) عکس های زمینی ۳) عکس های هوایی که تا کنون انجام گردیده است.

تخمین و ارزیابی محصول با استفاده از تصاویر ماهواره ای:

تخمین و ارزیابی محصول در یک زمین زراعی یا باغی در گروه ارزیابی سطحی زمین با استفاده از عکسهای هوایی قرار می گیرد که بطور کلی به نام سنجش از دور[1] شناخته می شود. اساس کار سیستم های سنجش از راه دور ، دریافت بازتابش های اجسام مختلف که بصورت موج است ، می باشد این امواج توسط سنجنده هاکه االشعه الکترو مغناطیس منعکس شده از پدیده های مختلف یا سایر انرژی های ساطع شده را جمع آوری می کنند دریافت شده و بصورت های مختلف ضبط از جمله بصورت تصاویر ماهواره ای ضبط می شود. تصویر ماهواره ای از نظر ظاهری شبیه به تصاویر گرفته شده با دوربینهای دیجیتال در طیف مرئی است با این تفاوت که تصاویر ماهواره ای علاوه بر شدت روشنایی پیکسلهای تصویر دارای یکسری اطلاعات در مورد طول موجهای باز تابش شده از سطح اجسام است که توسط سنجنده ثبت شده و هر طول موج بصورت جداگانه ثبت می شود که به نام باند خوانده می شود. با تلفیق این باند ها می توان ناحیه هایی از تصویر که دارای طول موجهای خاصی هستند را نسبت به نواحی دیگر برجسته کرد. در بیشتر تحقیقات از تصاویر با ترکیبات باند های مختلف برای ایجاد یک تصویر رنگی که قسمتها و اجزای مختلف روی زمین از سایر قسمتها مجزا شده و به رنگهای متمایز در آن نمایش داده می شود استفاده می‌شود (شکل ۱).

[1] Remote sensing

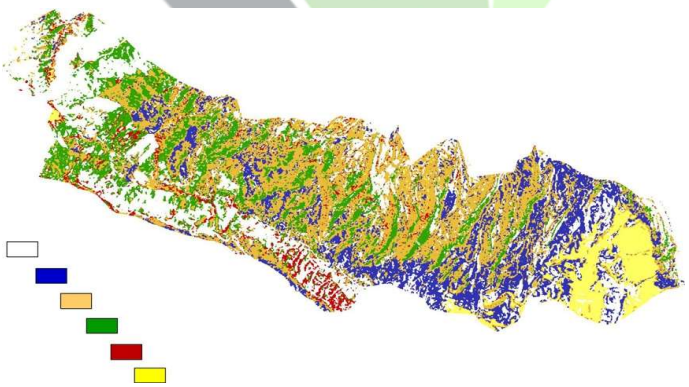


شکل **۱** .ترکیب باندهای مختلف برای ایجاد یک تصویر ماهواره ای رنگی از سطح زمین.

استفاده از عکس های ماهواره ای یک روش موثر برای تخمین سطح زیر کشت محسوب می شود و پژوهشگران زیادی از این قابلیت سنجش از دور برای شناسایی محصولات مختلف از جمله برنج، گندم، سویا، زیتون و سایر محصولات کشاورزی و باغی از روی تصاویر ماهواره ای استفاده کرده اند (Li *et al.* 2011) . با این حال، دقت تخمین منوط به کاهش خطاهای رایج این شیوه است که از جمله آنها می توان به بازپخش ضعیف طول موجها از سطوح قرار گرفته در بین موانع بلند، وجود ابر در موقع عکس برداری و یا تشخیص تالاب به عنوان شالیزار و بر عکس در موقع پردازش اشاره کرد. ضیائیان فیروزآبادی و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره ای رادارست دریافتی در سال ۱۹۹۸ و مقایسهٔ آن با تصاویر اپتیکی لندست برای تهیهٔ نقشه و تخمین سطح زیر کشت برنج در شهرستان ساری استفاده کردند .بعد از همسان سازیِ مختصاتیِ داده های موجود، ازروش های متفاوت پردازش تصویر ازجمله طبقه بندی تصاویر برمبنای روش حداکثر مشابهت[۲] (MLC) برای شناسایی و تمییز زمین های برنج کاری استفاده شد. مقایسهٔ نتایج به دست آمده با نقشه های کشت برنج موجود بیانگر آن است که فناوری های سنجش از دور،بسیار دقیقتر از روشهای سنتی کسب آمار و اطلاعات مکانی است. آن ها از این پژوهش نتیجه گرفتند که هرچند داده های سنجنده های اپتیکی توان زیادی در تولید نقشه های بهنگام دارند، اما وجود ابر موجب کاهش توانایی در استفاده از آن ها می شود و داده های راداری جایگزین مناسبی در مناطق با پوشش ابری به شمار می آیند و لذا تلفیق داده های اپتیکی و راداری می تواند کمک مؤثری در بهبود نقشه های تولید داشته باشد. آن ها بیان نمودند که نتایج حاصل از تصاویر تلفیقی رادار و اپتیک، هم از لحاظ فنی صحیح تر و کم خطاتر از استفاده از تصاویر اپتیک به تنهایی است و در مقایسه با بحث ها و برآوردهای کارشناسی که مبنایی توأم با اعمال نظر و سلایق دارند قابل اعتمادترست.هرچند در این پژوهش به طور مستقیم به هزینه و زمان لازم برای انجام چنین محاسباتی پرداخته نشده بود اما به دلیل عدم نیاز به مراجعهٔ مستمر به مزارع کشاورزی و انجام پرسش و پاسخ، باعث کاهش در هر دو مورد (هزینه و زمان) خواهد شد.(ضیائیان فیروزآبادی و همکاران،۱۳۸۸) یانگ و همکاران (۲۰۱۱) عکس های دریافتی از سنجنده SPOT 5با وضوح بالا برای شناسایی محصول را مورد ارزیابی قرار دادند. آن ها تصاویر دریافتی از سنجنده ۵ SPOT که در سال

[2] Maximum Likelihood

۲۰۰۶ در چهار باند طیفی (سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه) با پهنای باند ۱۰ متری گرفته شد بود و سطح فشرده ای از محصول را در جنوب تگزاس پوشش می داد را برای شناسایی محصولات مختلف بررسی کردند. دو عکس با اندازه پیکسل ۲۰متر و ۳۰متر نیز از تصویر اصلی برای شبیه سازی تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بزرگ تر ایجاد کردند. نتایج بدست آمده از طرح آنها نشان داد که شیوه حداکثر شباهت و شیوه ماشین بردار پشتیبانی SVM[3] بهتر از روش های طبقه بندی حداقل فاصله ، فاصله ماهالانوبیز [4]و نقشه زاویه طیفی (SAM)[5] هستند. در حالیکه نتیجه این دو روش تفاوت چندانی با هم ندارد.آنها از این پژوهش دریافتند که افزایش پیکسل از ۱۰ متر به ۳۰ متر اثر معنی داری بر دقت طبقه بندی برای شناسایی نوع محصول ندارد . برای شناسایی محصول استفاده از عکس هایی با پیکسلهایی با اندازه زمینی بزرگتر مقرون به صرفه تر است و از عکس هایی با وضوح بالا (پیکسلهایی با اندازه های کوچکتر روی زمین) برای کاربردهای کشاورزی دقیق علاوه بر شناسایی محصول می توان استفاده کرد. آنها همچنین عنوان کردند که گنجاندن باند SWIR درتصویر چند طیفی SPOT ۵ به طور قابل ملاحظه ای باعث بهبود نتایج طبقه بندی برای شناسایی محصول می شود.این نتیجه اهمیت باند SWIR برای شناسایی محصول را نشان می دهد (Yang, *et al.*, 2011). احمد پور و همکاران (۲۰۱۱) میزان کارآیی سه روش رایج طبقه بندی نظارت شده داده های ماهواره‌ای (روش حداقل فاصله از میانگین، روش متوازی السطوح و روش حداکثر احتمال) در تشخیص گروههای گیاهی منطقه ای از استان خراسان شمالی مقایسه کردند. انها ۱۴۳ نمونه از مناطقی که تا شعاع حداقل ۳۰ متری ترکیب همگنی را نشان میدادند جمع‌آوری و مختصات دستگاه GPS ثبت کردند. داده‌ها شامل تصاویر ماهواره های Landsat ETM+ و IRS LISS III بود و نتایج آنها نشان دادند که در بین روشهای بکار برده شده، روش حداکثر احتمال بیشترین و روش متوازی‌السطوح نیز کمترین میزان دقت را در طبقه بندی هر دو گروه داده های ماهواره ای دارد(احمد پور و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل**۲** .نقشه تهیه شده از گروه های گیاهی موجود در منطقه حفاظت شده گلول و سرانی (خراسان شمالی)

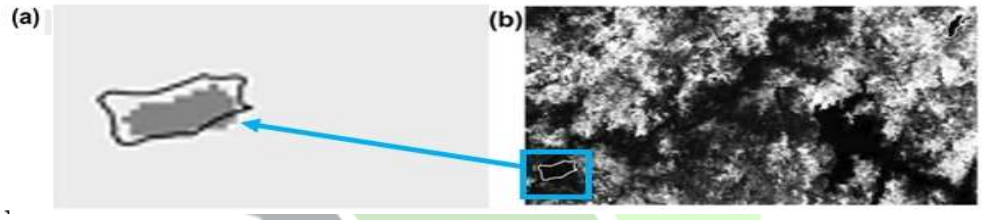
[3] Support Vector Machine

[4] Mahalanobis distance

[5] spectral angle mapper

بریدهکیتی و اورکامپ (۲۰۱۲) تصاویر چند زمانه ماهواره ای که با دستگاه طیف سنج تصویر برداری با وضوح ۵۰۰ متر (MODIS) از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷ گرفته شده بود را برای نقشه اکوسیستم های مختلف از شالیزارها جنوب شرقی آسیا (SEA) مورد استفاده قرار دادند. الگوریتم آن ها بر اساس پروفایل های زمانی قدرت پوشش گیاهی و / یا مقدار آب با استفاده از بازتاب سطح MODIS در دامنه ی نزدیک مادون قرمز قابل مشاهده بود. آن ها سطح محصول را ۴۲ ×۱۰۶ هکتار تخمین زدند که با مقادیر منتشر شده مطابقت داشت. آن ها بیان نمودند که بازده مدل به اکوسیستم های برنج وابسته است و روابط خطی خوب بین نتایج مدل(y) و آمار ملی (x) ذکر شده در استان برای شالیکاری نسبت به مناطق زیر کشت دیم مشاهده شد.

تصاویر ماهواره ای برای تخمین وسعت زمین غیر از مزارع و مراتع نیز کاربرد دارد به طور مثال کوئینتانو و همکاران (۲۰۱۱) از سنجش از راه دور برای تخمین مساحت جنگل های سوخته در مدیترانه استفاده کردند.شکل ۴. یک نمونه تصویر از منطقه ی مورد بررسی آنها را نشان می دهد. با توجه به اینکه سوختن این جنگل ها باعث از دست رفتن چوب آن ها و تولید کربن زیادی می شود و جو را آلوده می سازد اهمیت این روش برای مدیریت جنگل ها و پوشش گیاهی مشهود است(Quintano *et al.*, 2011) .



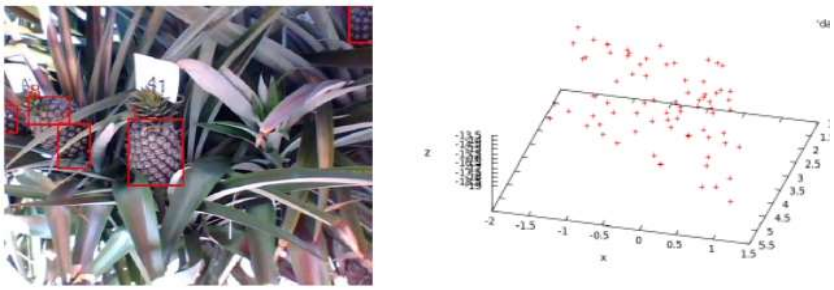
شکل **۳** (a) تخمین مساحت قسمت آتش سوزی در منطقه سالامانکا زامورا و (b) باند مادون قرمز نزدیک از همان منطقه

تخمین و ارزیابی محصول با استفاده از تصویر های زمینی

در این روش با استفاده از دوربین های دیجیتال یا دوربین های حرارتی محصولات کشاورزی تصویر برداری می‌شود و سپس از تکنیک های مختلف پردازش تصویر برای شناسایی محصول ، ارزیابی ، شمارش تعداد محصول و گاها برای شناسایی آفات و امراض گیاه استفاده می کنند. تصویربرداری زمینی بصورت دستی (توسط فرد) ،خودکار (با دوربین نصب شده به تراکتور در هنگام عبور از زمینی)یا توسط روش ارائه شده توسط وانگ و همکاران که اقدام به ساخت یک وسیله جهت حمل دوربین و حرکت در مزرعه کردند، انجام می‌شود. (شکل۴).

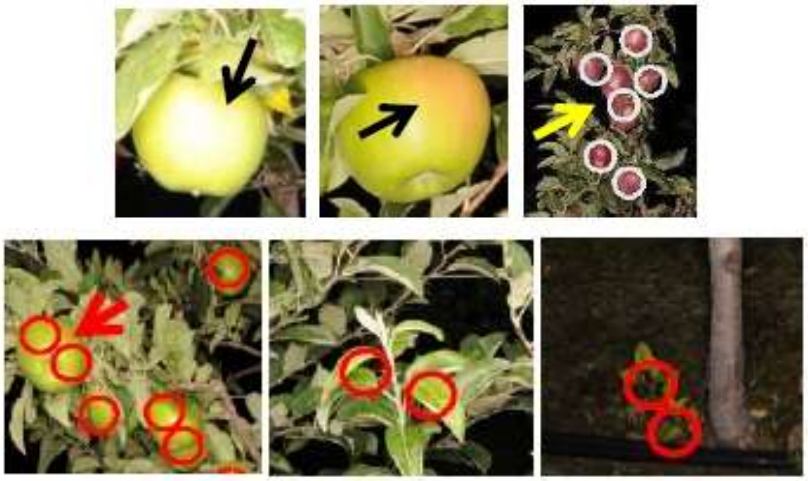
شکل **۴** . دستگاه ساخته شده توسط وانگ برای برآورد عملکرد محصول با سیستم سخت افزار و مختصات فریم

یکی از روشهایی بهبود کیفیت میوه ، کنترل و بازرسی خودکار میوه ها قبل از پایان رشد آن هاست که در برآورد نهایی میزان محصولات نیز کمک می کند. در این راستا مورینتا و همکاران(۲۰۱۰) پژوهشی انجام دادند تا با این روش یک نقشه ۳ بعدی از میوه های آناناس های روی درختان تهیه نمایند (شکل ۵ الف). هدف آن ها شناسایی میوه ، ردیابی، تهیه نقشه سه بعدی و در نهایت تخمین میزان محصول بود. آن ها بیان نمودند که نتایج رضایت بخش بوده است اما تحقیق بیشتری در زمینه روش بازسازی سه بعدی ، الگوریتم ردیابی برای افزایش دقت و صحت نتایج ضروری است. همچنین همزمان سازی تولید نقشه در زمان عکس برداری و تشخیص محل میوه، موقعیت دوربین با استفاده از داده های GPSدارای ابهاماتی است که نیاز به بررسی بیشتری دارد (شکل ۵ب) (Moonrinta *et al.*, 2010).



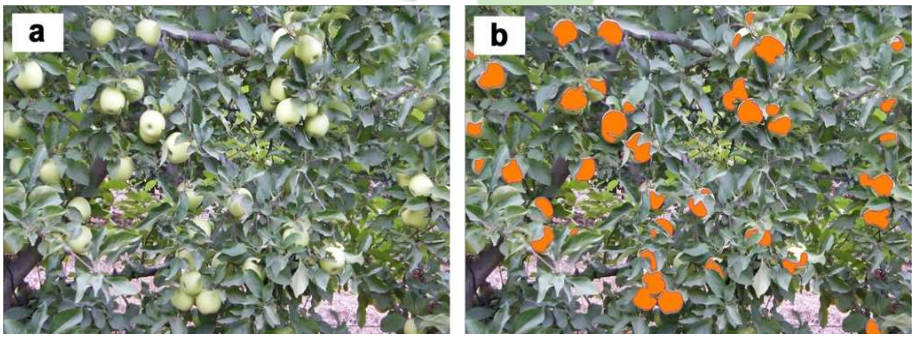
شکل۵ .سیستم شناسایی میوه های آناناس (الف) نقاط ۳ بعدی حاصل از ردیابی و (ب) نمونه ای از تصویر که در آن میوه ها شناسایی شده اند.

وانگ و همکاران(۲۰۱۲) نیز اقدام به ساخت یک وسیله جهت حمل دوربین و عکس برداری حین حرکت در مزرعه کردند. با کمک این وسیله در شب با نور مصنوعی برای کاهش بازتاب های نور طبیعی از ۶۷۰ درخت سیب سبز و ۴۸۰ سیب قرمز باغی در واشنگتن و از دو طرف درختان عکس برداری کردند. تعداد سیب هایی که شناسایی شده بود را مبنای برآورد محصول در نظر گرفته و در تخمین میزان محصول دو نوع خطای شناسایی گزارش شد: خطای عدم تشخیص و خطای تشخیص اشتباه. در این تحقیق، نرخ خطای گزارش شده برای سیب سبز ٪۳/۲- (خطای تشخیص اشتباه) و برای سیب قرمز ٪ ۱/۲ (خطای عدم تشخیص) گزارش شد. یکی از مشکلات بیان شده ، سیب هایی بود که توسط شاخ و برگ و یا توسط سایر سیب ها پوشیده شده بودند. آن ها با روش کالیبره کردن مقدار آن را تصحیح نمودند.بدین ترتیب که با استفاده از نمونه گیری و شمارش دستی تعداد سیب های نمایان و غیر نمایان ، ضریب تصحیحی در الگوریتم لحاظ کردند. خطاهای عدم تشخیص بالا بیشتر مربوط به سیب های قرار گرفته در معرض نور ، سیب های آفتاب سوخته و شاخه های که سیب زیادی دارند می شد و خطای تشخیص نادرست بیشتر برای سیب های نزدیک دوربین و برگ های جوانی با رنگ مشابه سیب ها و دانه های با رنگ سیب اتفاق می افتاد (شکل ۶) (Qi Wang *et al.*, 2012).



شکل۶ . خطای عدم تشخیص و تشخیص اشتباه – ردیف بالا: مواردی که سبب عدم شناسایی میوه توسط الگوریتم شده است. ردیف پایین: مواردی که سبب شناسایی کاذب الگوریتم شده است.

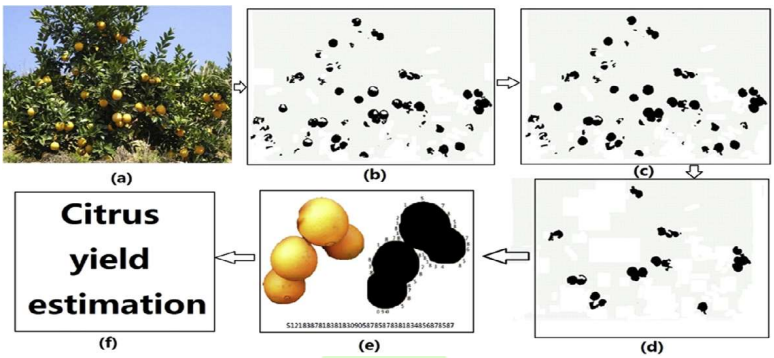
در پژوهش دیگری لینکر و همکاران (۲۰۱۲) الگوریتمی برای تخمین تعداد سیب درتصاویر رنگی که از باغات تحت نور طبیعی گرفته شده بود طراحی و سپس عملکرد باغ را برآورد نمودند. الگوریتم آنها شامل چهار مرحله اصلی بود. عملکرد الگوریتم روی دو مجموعه از تصاویر ضبط شده در دو حالت از دوربین و تحت شرایط مختلف نور بود. حالت اول دوربین در حالت تمام اتوماتیک تحت شرایط طبیعی نور بود که اگر چه این الگوریتم بیش از ۸۵٪ از سیب های قابل مشاهده در تصاویر را به درستی تشخیص داد ، اما نور مستقیم و اشباع نور و رنگ باعث ایجاد تعداد زیادی تشخیص مثبت کاذب شد. مجموعه داده دوم متشکل از تصاویر که در حالت دستی دوربین و نور با انعکاس کم (نزدیک تا غروب آفتاب) گرفته شد. برای چنین شرایطی شناسایی درست درتصاویر نزدیک به ۹۵٪ است در حالی که تشخیص مثبت کاذب نرخ کمتر از ۵٪ داشت. در شکل (۷) نمونه ای از تصویر درخت سیب قبل و بعد از پردازش تصویر و شناسایی سیب توسط الگوریتم نشان داده شده است.(Linker *et al.*, 2012).



شکل۷ به ترتیب ازچپ به راست تصویر اولیه وتصویر پردازش شده با سیب های شناسایی شده

به منظور تخمین عملکرد درختان باغ مرکبات با کمک یک دستگاه موبایل با سیستم عامل آندروید گنگ و همکاران(۲۰۱۳) پژوهشی را انجام دادند .آنها از یک الگوریتم پردازش تصویر مبتنی بر رنگ برای بخش بندی تصویر، کاهش نویز ، تولید تصویربااینری و در نهایت به کمک آستانه گیری و جداسازی میوه‌های تکی از تصویر و استفاده از کدهای زنجیره ای خطوط مرزی

میوه ها برای جداسازی میوه‌های خوشه ای تعداد میوه را برآورد کردند. الگوریتم را با ۴۰ نمونه از درخت مرکبات سنجیدند و دقت شناسایی ۹۰٪ را اعلام کردند.(Gong *et al.*, 2013).



شکل۸ .مراحل پردازش تصویری برای تخمین میزان محصول یک درخت پرتقال

علاوه بر کاربرد در تخمین محصولات باغی، استفاده از دوربینهای زمینی و پردازش تصویر در ارزیابی و تخمین محصولات زراعی نیز بتازگی توسط پژوهشگرانی شروع شده است (Sakamoto *et al.*, 2011; Chang *et al.*, 2011; Baret *et al.*, 2010) . ساکاموتو و همکاران(۲۰۱۲) از یک دوربین معمولی برای ارزیابی میزان محصول در مزرعه ذرت استفاده کردند. آن ها با کمک سیستمی که تحت عنوان سیستم ضبط فنولوژی محصول نامیده بودند (CPRS) تغییر رشد محصول را در طول فصل رشد مشاهده می کردند. سیستم تصویربرداری آنها متشکل از دو دوربین دیجیتال بود که از مزرعه ذرت در سال ۲۰۰۹ و سویا در سال ۲۰۱۰ هر ساعت روز و شب به طور مدام عکس های قابل مشاهده و مادون قرمز نزدیک می گرفت.

تخمین و ارزیابی محصول با استفاده از عکس های هوایی:

پردازش و تفسیر تصاویر هوایی به منظور بدست آوردن خصوصیات هندسی از تصویر از جمله اندازه گیریهای سطح مشخص را در برخی منابع به نام فتوگرامتری نیز می شناسند. تحقیقات بسیاری نیز اخیرا اخیرا در این راستا با استفاده از عکسهایی هوایی انجام شده است (Garcia-Ruiz *et al.*, 2012; Murakami *et al.*, 2012; Quintano *et al.*, 2011; Xiang and Tian, 2010; Oberthur *et al.*, 2007; Jensen *et al.*, 2007; MacArthur *et al.*, 2006).

عکس های هوایی توسط هواپیمای بدون سرنشین ، بالون و هلیکوپتر کوچک و غیره گرفته می شوند. ارتفاع عکس برداری هواپیماهای بدون سرنشین از سایر روشها بیشتر است که معمولا از تصاویر گرفته شده توسط آن ها در تخمین سطح زیر کشت محصول در مزارع بزرگ استفاده می گردد. اما تصاویر برداشت شده توسط بالون و هلیکوپتر نیز می تواند به اهداف مختلف از جمله شناسایی محصول و میزان گسترش آلودگی بیماریها و حشرات در یک سطح خاص از مزرعه استفاده شود.اهمیت شناسایی بیماری از جمله تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده می توان به پژوهش انجام شده توسط موراکامی و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد. این محققین با پردازش و تفسیر عکس های که توسط بالون گرفته شده بود میزان خوابیدگی گندم سیاه (Buckwheat) را ارزیابی کردند. با توجه به اینکه خوابیدگی گیاه یک عامل اصلی در تشخیص میزان عملکرد محصول و همچنین تعیین کیفیت

محصول است ، اهمیت ارزیابی آن مشخص است. در حال حاضر ارزیابی وجود خوابیدگی محصول به صورت بصری صورت می گردد که فاقد اعتبار و دقت می باشد. موراکامی و همکارانش یک روش کم هزینه را ارایه دادندکه در دو زمین که زیر کشت رقم مقاوم به خوابیدگی و رقم استاندارد بود ، مورد آزمایش قرار گرفت.تصاویر با استفاده از دوربین دیجیتالی که در زیربالون کوچکی با ارتفاع ۲.۲ متر و حجم ۰.۵۶ متر مکعب بود، از ارتفاع ۵۰ – ۱۵۰ متری سطح زمین گرفته شد. در شکل (۱۲) نمایی از بالون نمایش داده شده است. این محققین گزارش کردند این سیستم پتانسیل استفاده برای تحلیل رشد گیاه را به خوبی ارزیابی خوابیدگی گندم دارا می باشد و با استفاده از این سیستم سنج می توان در زمینه های دیگری از جمله ارزیابی خسارت تگرگ، برآورد منطقه بیماری و ارزیابی برای برنامه بیمه کشاورزی استفاده کرد(Murakami *et al.*, 2012).

شکل**۹** . عکس هوایی (چشم انداز پروژه) از گندم سیاه که به ترتیب از سمت چپ به راست در ۲۹ ، ۴۲ و ۷۰ روز پس از کشت گرفته شده است. مستطیل قرمز تمایل گندم سیاه را در ۲۹ روز پس از کشت نشان می دهد.

از دیگر استفاده های از تصاویر هوایی برای نظارت بر محصولات کشاورزی و مدیریت منابع ژنتیک می توان پژوهش اوبرتور و همکاران (۲۰۰۷) را نام برد. این محققین عملیات نظارت بر رشد، گسترش و تخمین عملکرد را با استفاده از تکنولوژی عکس های هوایی کم ارتفاع بر مزارع لوبیا و موز انجام دادند. تصاویر برداشتی با استفاده از بالون یا بادکنکهای بزرگ بوده که طبق بیان آن ها امکان کالیبره کردن تصاویر به صورت خودکار و در طول عکس برداری وجود نداشت و به همین دلیل در نهایت آنالیز تصاویر با استفاده از تحلیل عکس ها و نتایج بصورت دیداری (توسط انسان) صورت گرفت. با کمک این اطلاعات این محققین توانستند عملکرد انواع لوبیا و پارامترهای مرتبط با رشد را برای کشتزار موز تخمین بزنند. یکی از عوامل مهم در عکس برداری توسط بالون سرعت باد است که تغییرات زیادی را اعمال می کند در پروژه آن ها هم اثر شدت باد بررسی شده و نتیجه گرفتند که عکس برداری در وزش باد با سرعت زیر ۱۵ کیلومتر بر ساعت کیفیت خوبی را داشته است(Oberthür *et al.*, 2007).

یکی دیگر از روش های تصویر برداری هوایی که به آن اشاره شد ، استفاده از بالگرد کوچک و یا بالگرد هایی تحت عنوان خودروی بدون سرنشین (UAV)[6] است. در تحقیقی، این روش برای تخمین میزان محصول در باغات مرکبات بکار رفته است که در آن با استفاده از یک بالگرد از درختان مرکبات عکس برداری شد و با کمک پردازش تصویر حجم محصول برآورد گردید. با توجه با اینکه امکان حرکت بین ردیف درختان وقت گیر و در گاهی از مواقع مشکل است، این روش ارزیابی یک روش جایگزین

[6]Unmanned Aerial Vehicle

بهینه می باشد (MacArthur *et al*., 2006). از دیگر تلاش هایی موفقی که در این زمینه صورت گرفت می توان به تحقیق زیانگ و تیان(۲۰۱۱) اشاره کرد. آن ها یک روش ارزان قیمت برای سنجش از راه دور با استفاده از تصویرهای ارسال شده از یک پهباد بدون سرنشین ارایه کردند. این پهپاد شامل یک ایستگاه زمینی و دیگری در حال کار(هوایی) بود که سیستم در حال کار از زیر ساخت های زمینی کاملا مستقل می باشد. سیستم در حال کار دارای دو جزء اصلی می باشد. یکی اجزای جهت یابی هوشمند و دیگری اجزای کنترل پرواز. از جمله اجزای سخت افزاری پهپاد می توان به بالگرد کنترل از راه دور، یک دوربین چند طیفی، واحد اندازه گیری حرکتی[۷] (IMU) ، کنترل کننده پرواز، روتر بی سیم و فرستنده های ویدیویی را نام برد.

این محققین سیستم پهپاد را برای ارزیابی عملکرد یک علف کش بر روی سطح فوقانی چمن مورد آزمایش قرار دادند.نتایج حاصل از ۳ عکس سنجش از راه دوری که ۴۰ روز پس از اعمال علف کش با پهپاد گرفته شده با ارزیابی زمینی مقایسه شده که تنها ۱.۵٪ تفاوت بین آنها وجود داشت که نشان از موفقیت آن ها در ارایه روش جدید و کم هزینه در سنجش از راه دور می باشد.در شکل (۱۴) نمونه ای از عکس های گرفته شده توسط پهپاد در سال ۲۰۰۷ نشان داده شده است.

شکل ۱۰ . عکس های گرفته شده با پهپاد برای ارزیابی علف کش در ۳ تاریخ که بترتیب نزدیک به دو هفته با هم اختلاف دارند، سمت چپ اولین تاریخ (۲ آگوست) است

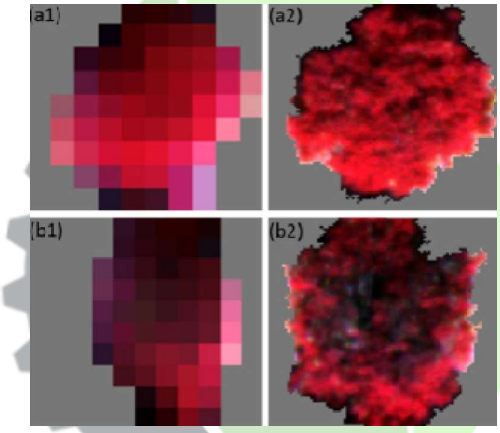
در تحقیقی دیگر، گارسیا رویز و همکاران (۲۰۱۲) دو بستر عکس برداری هوایی را برای شناسایی باغ سیب بیمار و آلوده آزمایش کردند. با توجه به اینکه (HLB) [۸]یا بیماری سبزشدن مرکبات (citrus greening disease) یکی از مهم ترین بیماری تاثیر گذار بر مرکبات باغ های فلوریدا و سایر نقاط جهان است اهمیت ارایه یک روش نوین ،کم هزینه و سریع برای شناسایی آن مشهود است. اولین گام مهم برای کنترل بیماری HLB، شناسایی و تشخیص درختان آلوده، به کمک پردازش تصویر در طیفهای مختلف رنگی (طیف سنجی یا اسپکتروسکپی) است. بطورکلی، ثابت شده است که طیف سنجی نتایج قابل اعتمادی را برای تشخیص زود هنگام بیماری و با حداقل زمان صرف شده برای این فرآیند را دارا است.

در این پژوهش، محققین یک روش سنجش از دور کم هزینه جدید و مبتنی بر تصویربرداری هوایی با وضوح بالا با کمک UAV را برای تشخیصHLB ارایه دادند و نتایج بدست آمده توسط این شیوه را را آنچه از تصاویر گرفته شده ی هواپیمایی که مجهز

[7] Inertial measurement unit

[8] Huanglongbing

به دوربین طیف سنج بودمورد مقایسه قرار دادند. قدرت تفکیک مکانی[9] تصاویر هوایی گرفته شده توسط پهپاد و هواپیما نیز مورد مقایسه قرار گرفتند. اطلاعات چند طیفی به دست آمده توسط هواپیما، که از سطح زمین ۵۹۰ متر ارتفاع داشت، منطقه ای به مساحت ۳۹۰×۳۹۰ مترمربع را تحت پوشش قرار می داد. از سوی دیگر، تصاویر گرفته شده توسط پهپاد ناحیه ای با وسعت ۶۱×۷۶ مترمربع روی زمین را تحت پوشش قرار می داد. قدرت تفکیک فضایی در هواپیما بر اساس تصاویر طیفی در حدود ۰/۵ متر بر پیکسل بود، در حالی که تصاویر استخراج شده از دوربین چند طیفی UAV با وضوح بالا اندازه پیکسل در حدود ۵/۴۵ سانتی متر بر پیکسل را داشت که در شکل (۱۵) نشان داده شده است. تصاویر جدا شده درخت از تصاویری که هواپیما گرفته بود به طور متوسط از ۵۱ پیکسل تشکیل شده بود در حالی که هر درخت در تصویر گرفته شده با پهپاد متشکل از حدود ۴۸۴۹ پیکسل بود. این نشان می دهد که دوربین پهپاد تقریبا ۱۰۰ برابر پیکسل های بیشتری از منطقه مشابه ای از تاج درخت را ثبت می کند و در نتیجه جزئیات بیشتری را نسبت به دوربین هواپیما از تاج درخت، در اختیار سیستم سنجش قرار می دهد.



شکل **۱۱** . تصاویر بخش بندی شده با رنگ کاذب. (a) درخت سالم و (b) درخت آلوده HLB است. تصاویر A۱ و B۱ نشان دهنده تصاویرگرفته شده با هواپیما، در حالی که، تصاویر B۲و A۲ نمایندگی تصاویر گرفته شده با UAV است.

در بین روش های طبقه بندی، روش SVM با Kernel بطور کلی بهتر از SVM (خطی)، LDA و QDA بودند. بهترین طبقه بندی نتایج با دقت ۸۵٪ وشناسایی ۱۱٪ کاذب منفی مربوط به تصاویر هوایی گرفته شده با پهپاد است ، که نشان از تصویربرداری چند طیفی با وضوح بالا برای امکان تشخیص بیماری سبزی مرکبات است با توجه به در نظر گرفتن علایم مقیاس پایین تر (مثلا تا سطح شاخه) ، تصاویر گرفته شده با پهپاد در ارتفاعات کم می تواند تبدیل به یک ابزار قابل اعتماد برای تشخیص بیماری شود. محققین این پژوهش همچنین بیان نمودند که سیستم پیشنهادی با شکل ارایه شده توسط آن ها بیشتر برای مزارع کوچک مناسب است و الگوریتم پیشنهاد شده برای تشخیص بیماری برای کاربرد در باغ های بزرگ باید بهبود یابد(Garcia-Ruiz *et al.*, 2013).

[9] Spatial resolution

خلاصه و نتیجه گیری:

با توجه به محدود بودن اراضی زیر کشت برای افزایش محصولات ، تولید بیشتر در واحد سطح از جمله مواردی است که بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. روش های مختلفی برای افزایش بازده محصولات وجود دارد که از جمله آنها، بازرسی دقیق مزرعه ، کنترل آفات و بیماری ها ، نظارت بر مزرعه و غیره می باشد. بطور کلی، یکی از اقدامات اساسی برای تولید بیشتر محصولات استفاده بهینه از روش های نظارت بر مزرعه است. روش هایی که در عین بازده بالا،کم هزینه بوده و برای اجرا به زمان زیادی احتیاج نداشته باشد. دقت این روش ها و همچنین کارایی آسان آن جز مواردی است که باید به آن توجه ویژه داشت. با پیشرفت تکنولوژی و بهبود و توسعه ی روش های سنتی ، روش های نوینی ارایه گردیده که گاها به حضور فرد در مزرعه نیاز نیست و تمامی مراحل کار از راه دور انجام می شود. از دیگر دغدغه های کشاورزان علاوه بر تولید محصولات بیش تر که امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است می توان به تولید محصول با کیفیت اشاره کرد. در بازار های تجارت هر چه محصول با کیفیت تر باشد سود آوری بیشتری برای کشاورزان در پی خواهد داشت. که نظارت بر محصول هم یکی از راه های افزایش کیفیت میوه می باشد. علاوه بر آن تخمین اولیه حجم محصول و شناسایی درختان با بار زیاد و انجام عمل تنک به موقع باعث افزایش کیفیت محصول در زمان برداشت می شود و همچنین باعث کاهش هزینه ی انبار داری و حمل و نقل و غیره از طریق تخمین حجم آن می شود. در این مقاله، روش هایی که برای نظارت و تخمین تعداد و میزان محصولات پیشنهاد شده روش های مبتنی بر عکس است که از روش های فیزیکی و بصری (انسانی) دقت و بازده بیشتری را دارد. بسته به نوع محصول ، هدف سنجش و نوع شناسایی از عکس هایی متفاوتی که با روش هایی مختلف عکس برداری تهیه می شوند استفاده می شود و هر روش محدودیت های خاص خود را دارد. به طور مثال برای تخمین گندم از عکس های ماهواره ای استفاده می شود که بازده خوبی را داراست اما از جمله محدودیت های آن به عدم دسترسی آسان به عکس ها ماهواره ای همچنین به روز نبودن آن ها در کشور می توان اشاره کرد. عکس های هوایی هم می توانند به کمک بالون ، وسیله بدون سرنشین و هواپیما تهیه شود که در استفاده از هر کدام محدودیت هایی وجود دارد. از جمله وزش باد و هدایت دشوار در بالون ؛ همپوشانی داده ها و محدودیت زمان پرواز در UAV ها و عدم وضوح بالا تصاویر و کاهش قدرت تفکیک فضایی اشیا در تصاویر گرفته شده از طریق هواپیما را می توان نام برد. در عکس های زمینی هم عدم پوشش کامل محصول ، دشواری حرکت در بین ردیف های کشت قابل ذکر است. با این حال همه ی روش های موجود دارای بازده مناسب و قابل پیشرفتی را برای تخمین و ارزیابی میزان محصول در یک زمین یا باغ ارائه می دهند.

منابع:

۱. وزارت جهاد کشاورزی. ، موسسه پژوهشهای برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۱۳۸۵،مروری بر کاربرد تصاویر ماهواره ای، کارگاه منطقه بندی اکولوژیک کشاورزی،۱۷و۱۸ بهمن ماه ۱۳۸۵، قابل دسترس از آدرس:http://www.agri-peri.ir/

۲. ضیائیان فیروز آبادی پرویز، صیاد بیدهندی لیلا ، اسکندری نوده محمد . ۱۳۸۸. تهیه نقشه و تخمین سطح زیر کشت برنج در شهرستان ساری با استفاده از تصاویر ماهواره ای را دارست. پژوهش های جغرافیای طبیعی ۶۸: ۴۵-۵۸.

3. Baret F, de Solan B, Lopez-Lozano R, Ma K, Weiss M. 2010. GAI estimates of row crops from downward looking digital photos taken perpendicular to rows at 57.5° zenith angle: Theoretical considerations based on 3D architecture models and application to wheat crops. Agricultural and Forest Meteorology 150: 1393-1401.
4. Boschetti M, DS, RC, PAB, Crema A, Bocchi S. 2011. Estimation of rice production at regional scale with a Light Use Efficiency model and MODIS time series. Italian Journal of Remote Sensing 3: 63-81.
5. Bridhikitti A, Overcamp TJ. 2012. Estimation of Southeast Asian rice paddy areas with different ecosystems from moderate-resolution satellite imagery. Agriculture, Ecosystems & Environment 146: 113-120.
6. Chang YK, Zaman Q, Farooque AA, Schumann AW, Percival DC. 2012. An automated yield monitoring system II for commercial wild blueberry double-head harvester. Computers and Electronics in Agriculture 81: 97-103.
7. Garcia-Ruiz F, Sankaran S, Maja JM, Lee WS, Rasmussen J, Ehsani R. 2013. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. Computers and Electronics in Agriculture 91: 106-115.
8. Gong A, Yu J, He Y, Qiu Z. 2013. Citrus yield estimation based on images processed by an Android mobile phone. Bio systems Engineering 115: 162-170.
9. Herwitz SR, et al. 2004. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. Computers and Electronics in Agriculture 44: 49-61.
10. Jensen T, Apan A, Young F, Zeller L. 2007. Detecting the attributes of a wheat crop using digital imagery acquired from a low-altitude platform. Computers and Electronics in Agriculture 59: 66-77.

11. Li W-g, Li H, Zhao L-h. 2011. Estimating Rice Yield by HJ-1A Satellite Images. Rice Science 18: 142-147.

12. Linker R, Cohen O, Naor A. 2012. Determination of the number of green apples in RGB images recorded in orchards. Computers and Electronics in Agriculture 81: 45-57.

13. Moonrinta J, Chaivivatrakul S, Dailey MN, Ekpanyapong M. 2010. Fruit detection, tracking, and 3D reconstruction for crop mapping and yield estimation. Pages 1181-1186. Control Automation Robotics & Vision (ICARCV), 2010 11th International Conference on.

14. Murakami T, Yui M, Amaha K. 2012. Canopy height measurement by photogrammetric analysis of aerial images: Application to buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) lodging evaluation. Computers and Electronics in Agriculture 89: 70-75.

15. Oberthür T, Cock J, Andersson MS, Naranjo RN, Castañeda D, Blair M. 2007. Acquisition of low altitude digital imagery for local monitoring and management of genetic resources. Computers and Electronics in Agriculture 58: 60-77.

16. Qi Wang, Stephen Nuske, Marcel Bergerman, Singh S. 2012. Automated Crop Yield Estimation for Apple Orchards. Pages PP 745-758. Experimental Robotics, The 13th International Symposium on Experimental Robotics, vol. 88 Springer International Publishing.

17. Quintano C, Fernández-Manso A, Stein A, Bijker W. 2011. Estimation of area burned by forest fires in Mediterranean countries: A remote sensing data mining perspective. Forest Ecology and Management 262: 1597-1607.

18. Sakamoto T, Gitelson AA, Nguy-Robertson AL, Arkebauer TJ, Wardlow BD, Suyker AE, Verma SB, Shibayama M. 2012. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. Agricultural and Forest Meteorology 154–155: 113-126.

19. Xiang H, Tian L. 2011. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). Biosystems Engineering 108: 174-190.–. 2011. Method for automatic

georeferencing aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform. Biosystems Engineering 108: 104-113.

20. Yang C, Everitt JH, Murden D. 2011. Evaluating high resolution SPOT 5 satellite imagery for crop identification. Computers and Electronics in Agriculture 75: 347-354.

21. Annamalai P., Lee W S. 2003.Citrus yield mapping system using machine vision. ASAE Paper No. 031002. St. Joseph, MI, USA ASAE.

22. Yan, S., Hao, L. and Huynen, JR. 1998. Radarsat Data for Operational Rice Monitoring and It's Potential for Yield Estimation, p.2-10.

A review of non-contact image-based methods for the estimation and evaluation of crop and fruit yields

1- MSc Student, Department of Engineering mechanics of Agricultural Machinery, Ferdowsi University of Mashhad, f.nasiri.69@gmail.com

2,3- Assistant Professor, Department of Engineering mechanics of Agricultural Machinery, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract: In this paper several image-based methods for estimating and evaluating crop were reviewed. Images are taken by satellites, the cameras mounted on ground-based structures and aerial vehicles. These images are processed to identify crop regions and to extract information ab the yield. The processed data are compared with the real data in order to evaluate the methods. The speed of post-processing algorithms depends on the size and the level of details shown in each type of image. The image-based methods for yield estimation have proven to be effective for many cases including those outlined in this paper.

Keywords: vision system, yield estimation, imaging, precision agriculture