مدل‌سازی میزان رشد گیاه گوجه‌فرنگی با استفاده از تکنیک پردازش خصوصیات بافت تصویر

کیوان آصف‌پور وکیلیان، جعفر مساح، محمدعلی کیه بادرودی‌نژاد
گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

Keyvan.asefpour@ut.ac.ir

چکیده

امروزه استفاده از تکنیک هائی مانند ماشین بینائی و پردازش تصویر جایگاه مهمی در کشاورزی دقیق دارد . استخراج بردار ویژگی با استفاده از بافت تصویر، به عنوان یکی از ارکان علم پردازش تصویر به شمار می‌رود. آنتروپی و همگونی از خصوصیات مهم بافتی تصاویر هستند که به ترتیب به ص ورت شاخص یک دست بودن رنگ تصویر برگ ها و شاخص میزان توزیع سطح خاکستری برای یک پیکسل نسبت به پیکسل های مجاور تعریف می شوند. در این مقاله، نتایج حاصل از اندازه گیری بردار آنتروپی و همگونی بافت تصویر برگ گیاه گوجه فرنگی گلخانه‌ای در یک دوره آزمایش از طول مدت ر شد به وسیله یک سیستم پردازش تصویر رایانه‌ای ارائه شد. هدف از انجام این تحقیق، ارائه یک مدل برای تعیین دقیق میزان رشد گیاه گوجه - فرنگی با استفاده از سیستم ماشین بینائی بود. در بررسی برگ های نمونه که از گلخانه هیدروپونیک گوجه فرنگی دانشگاه تهران به آزمایشگاه منتقل گردید، مشاهده شد که مقدار هر دو شاخص آنتروپی و همگونی استخراج شده به میزان رشد گیاه بستگی دارد. نتایج نشان داد که برگهای مربوط به گیاهان با سن بیشتر، نسبت به برگهای مربوط به گیاهان با سن کمتر، دارای شاخص آنتروپی بیشتر و شاخص همگونی کمتر بودند . همچنین رابطه میان سن گیاه (بر حسب روز) و میزان این دو شاخص مدل‌سازی شد.

کلمات کلیدی: آنتروپی، خصوصیات بافتی تصویر، مدل‌سازی، میزان رشد گیاه گوجه‌فرنگی، همگونی.

مقدمه

پیشرفت تکنولوژی در حیطه پردازش تصویر، گستره وسیعی از کاربردهای ماشی بینائی را در کشاورزی دقی ق[1] گشوده است. توسعه نرم‌افزارهای حرفه‌ای باعث افزایش قابلیت کاربرد تکنیک پردازش تصویر برای بازرسی میوه‌ها و محصولات کشاورزی به ویژه در زمینه کنترل کیفیت و دسته بندی آنها شده‌است. استخراج بردار ویژگی با استفاده از خواص بافت تصویر [2]، به عنوان یکی از ارکان علم پردازش تصویر به شمار می رود. به طور کلی بافت تصاویر را می‌توان بصورت یک تابع از تغییرات مکانی شدت روشنایی پیکسل ها تعریف کرد. خصوصیات بافت، میزان تغییرات

[1] Precision Agriculture
[2] Image Textural Features

هر سطح مانند هموار، نرمی، زبری و منظم بودن رنگ‌های تشکیل‌دهنده آن را اندازه‌گیری می‌کنند. اغلب روش-های تحلیل بافت را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود:

- روش‌های آماری: اطلاعات مربوط به بافت که از خصوصیات آماری پیکسل‌ها استخراج می‌شود.
- روش‌های ساختاری: بافت بر اساس ترکیبی از ساختارهای اولیه که براساس قوانینی تعریف شده‌اند شناخته می‌شود.
- روش‌های تبدیلی: در این روش، تصویر به شکل جدیدی تبدیل می‌گردد؛ به طوری که بافت در این فضای جدید به آسانی قابل تشخیص باشد، مانند مدل‌های گابور [یعقوبی وایقان و شمس‌اللهی، 1381].

تاکنون بعضی از کاربردهای ماشین‌بینائی برای تعیین وضعیت گیاه بدون تماس فیزیکی مورد بررسی قرار گرفته اند. در یک مطالعه، از شبکه های عصبی مصنوعی [1] و مقسم های آماری برای تعیین کمبود مواد غذائی گیاه (آهن، روی و نیتروژن) با توجه به اندازه، رنگ و مشخصه های طیفی کاهو استفاده شد [Hetzroni *et al.*, 1994]. در یک مطالعه، از سیستم ماشین بینائی برای محصول ذرت استفاده شد و یک شاخص تفاضلی بهینه شده برای تعیین کمبود نیتروژن گیاه تعیین شد. گیاهانی که نیتروژن کمتری داشتند نسبت به گیاهان سالم افزایش مشابهی در بازتاب نور قرمز (0.7-0.75µm) داشتند، ولی در بازتاب نور مادون قرمز دارای تفاوتهائی بودند که از اختلاف اندازه تاج پوششی گیاهان سالم با گیاهان مبتلا به کمبود نیتروژن نتیجه می شد [Meyer *et al.*, 1992]. از مشخصه های نوری و ریخت شناسی برگهای کاهو برای تعیین کمبود مواد غذائی نیز استفاده شده است. این مطالعه نشان داد که بازتاب موج در بازه 72-415 nm می تواند برای عملیات ماشین بینائی مورد استفاده قرار گیرد [Ling *et al.*, 1996].

در یک تحقیق، با استفاده از سیستم ماشین بینائی، 21 مشخصه آماری را برای تعیین بافت میوه ها در نظر گرفت. هر بافت بر اساس ماتریس های توابع چگالی احتمال برای تعیین پارامترهای مختلف تعریف شد [Zheng *et al.*, 2006]. نتایج یک مطالعه نشان داد برای تشخیص سلامتی گیاهان با استفاده از تکنیک های ماشین‌بینائی و شبکه عصبی مصنوعی؛ سه پارامتر انرژی، کنتراست و همگونی جهت تعیین بافت تاج پوششی [2] گیاهان مفید است [Ushada *et al.*, 2007].

در یک مطالعه یک سیستم بر پایه ماشین بینائی طراحی کرد که برای تشخیص زودهنگام کمبود کلسیم در محیط کنترل شده برای کاهو مورد استفاده قرار گرفت . در این پژوهش، مقدار روشنائی تصویر به عنوان میزان انرژی تصویر در نظر گرفته‌شد. پنج پارامتر سطح تاج پوششی گیاه، آنتروپی (شاخص یک‌دست بودن رنگ برگ‌ها)، انرژی (شاخص تیرگی و یا روشنی سطح برگ)، همگونی (شاخص میزان توزیع سطح خاکستری برای یک پیکسل نسبت به پیکسلهای مجاور) و کنتراست (شاخص اختلاف شدت فروزندگی بین اجزا مختلف تصویر) برای تعیین وضعیت گیاه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از سیستم ماشین بینائی، تشخیص کمبود کلسیم مورد نیاز گیاه، یک روز سریعتر از تکنیک مشاهده توسط کشاورز صورت پذیرفت . این آزمایشات به وسیله انتقال گیاهان کنترل شده و تیمار شده از گلخانه به محفظه آزمایش انجام شد [Story *et al.*, 2010].

هدف از انجام این تحقیق، ارائه یک مدل برای تعیین دقیق م یزان رشد گیاه گوجه فرنگی به روش غیرتماسی و خودکار با استفاده از سیستم آزمایشگاهی ماشین بینائی رایانه ای بود. این روش، مقدمه ای بر شیوه نوین تعیین

[1] Artificial Neural Networks
[2] Canopy

میزان رشد گیاه موردنظر در طول مدت رشد در مقایسه با میزان رشد بهینه همان گیاه می باشد. در نتیجه می توان از وضعیت سلامت گیاه مطلع شد و در صورت لزوم نوبت های کوددهی و میزان کود را برای دستیابی به حداکثر بازده، اصلاح کرد.

مواد و روشها

شرایط گلخانه برای رشد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

سه ردیف کشت در منطقه تقریبی وسط گلخانه هیدروپونیک گوجه فرنگی انتخاب شد و از هر ردیف 20 گیاه به صورت تصادفی برای داده گیری در نظر گرفته شد. در طول مدت سه ماهه انجام آزمایش که یک ماه پس از مرحله دو برگی شدن گیاه آغاز گردید، هر پنج روز یکبار در ساعت 12 ظهر پنج برگ به صورت تصادفی از هر گیاه چیده شده و به آزمایشگاه منتقل شد . در مدت آزمایش، دما در 25 درجه سانتیگراد برای روز (14 ساعت) و 20 درجه سانتیگراد برای شب (10 ساعت) تنظیم شد.

ثبت تصاویر از برگ‌ها

در هر نوبت داده گیری، 300 برگ گیاه به آزمایشگاه منتقل شد . آزمایشگاه شامل یک اتاقک کاملا تاریک بود و تصاویر از برگ ها به وسیله یک عدد دوربین رنگی CCD (Canon, Powershot, G12, Japan) گرفته و ثبت شدند. برای نورپردازی نیز از ماژول نوری شامل 200 عدد LED سفید مهتابی با زاویه دید 70 درجه استفاده شد. ماژول نوری در پشت دوربین و رو به سطح برگ قرار داده شد . فاصله لنز دوربین با برگهای گوجه فرنگی به اندازه 3±25 سانتیمتر در نظر گرفته شد.

از هر برگ دو تصویر در یک زمان و از یک موقعیت گرفته شد . همچنین دو تصویر دیگر نیز از سطح دیگر برگ گرفته شد. سپس میانگین تصاویر از نظر مقدار رنگ RGB به کمک برنامه نوشته شده در نرم‌افزار MathWorks MATLAB R2010b محاسبه شده و به صو رت یک عکس اصلی برای پردازش آماده شد . در نتیجه تصاویر ثبت شده با دوربین دیجیتالی دارای کیفیت مناسب و کمترین تاثیر نویزها بودند.

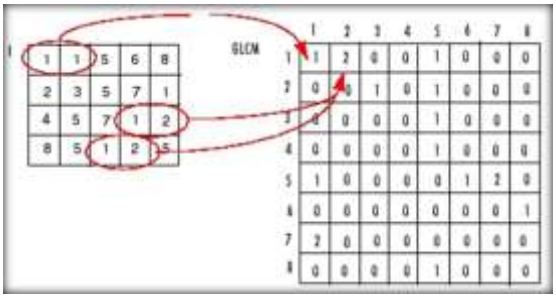
پردازش تصویر و ایجاد الگوی مناسب برای تحلیل

تصاویر ثبت شده به کامپیوتر منتقل شد و به وسیله برنامه نوشته شده در نرم افزار MATLAB Image Processing Toolbox پردازش شد. از تصویر موجود، منطقه مورد نیاز که شامل برگ های گیاه گوجه‌فرنگی بود، به روش تفکیک کردن[1] از پس‌زمینه استخراج شد. برای تفکیک کردن تصویر، رنگ سبز به عنوان نماینده مرز گیاه با محیط تعریف شد و نواحی خارج از این مرز به رنگ سفید در نظر گرفته شدند. تصویر به دست آمده به غیر از نقاطی که سفید در نظر گرفته شده‌اند، برای محاسبه خصوصیات رنگی گیاه در نظر گرفته شدند.

خصوصیات رنگی گیاه شامل موارد زیر بود : قرمز- سبز- آبی (RGB)، رنگ- درجه اشباع- تشعشع(HSL) و روشنائی تصویر[2]. سپس ماتریس پیشامد مشترک سطح خاکستری[3] برای تعیین همبستگی ارزش پیکسل های

[1] Image Segmentation
[2] Brightness
[3] Grey Level Co-occurance Matrix

تشکیل دهنده بافت مورد استفاده قرار گرفت (شکل 1) [Jain *et al.*, 1995] . از آنجا که بافت تصویر نسبت به راستای انتخابی مستقل است، چهار ماتریس مختلف برای زوایای 0، 45، 90 و 135 درجه محاسبه شد . هر ماتریس بر اساس توابع چگالی احتمال برای تعیین پارامترهای مختلف بافت در نظر گرفته شد.



شکل (1): نحوه تشکیل ماتریس GLCM از روی ماتریس خصوصیات رنگی RGB

با بررسی بافت گیاه می توان به چگونگی رشد گیاه و سالم بودن آن پی برد . پارامترهای تشخیص بافت، عبارتند بودند از آنتروپی و همگونی:

$$Entropy = -\sum_{i}\sum_{j} p_d(i,j)\log p_d(i,j)$$

$$Homogeneity = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{\{p_{(1,0)}(i,j)\}}{\{1+(i-j)^2\}}$$

که در این روابط؛ d، فاصله بین دو سلول همسایه تفکیک شده؛ q، زاویه بین دو سلول همسایه؛ $p_{(1,0)}(i,j)$ تابع چگالی احتمال توام به ازای d=1 و q=0 می‌باشد و i و j نمادهائی برای ارزش رنگ خاکستری هستند [Ushada *et al.*, 2007].

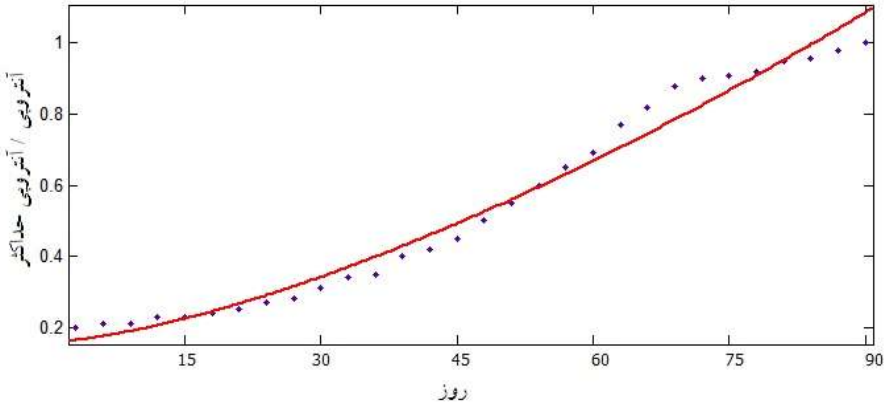
نتایج و بحث

در طول مدت آزمایش، دمای میانگین روز، دمای میانگین شب، رطوبت نسبی در روز و رطوبت نسبی در شب به ترتیب 3/1±28 درجه سانتیگراد، 2/6±21/1 درجه سانتیگراد، 61/9٪ و 9/2±62/0٪ بود. میانگین مقدار کربن دی‌اکسید 22/0±415ppm بود.

شکل 2 تغییرات خصوصیت آنتروپی استخراج شده از برگها را نسبت به زمان نشان می‌دهد. برگ گیاهان با سن بیشتر دارای سطوح مختلفی از رنگ سبز بود. در حالی‌که برگ گیاهان جوانتر دارای رنگ تقریبا یک دست بود . درنتیجه مقدار آنتروپی برگ گیاهان جوانتر دارای آنتروپی کمتری نسبت به برگ گیاهان با سن بیشتر بود . با بررسی روند تغییر میزان آنتروپی در طول دوره سه ماهه رشد، این روند با رابطه توانی زیر برازش شد (R^2=0.98):

$$\frac{Entropy}{Entropy_\max} = 0.006(days)^{1.471} + 0.158$$

مقدار آنتروپی حداکثر، در اولین مرحله داده‌گیری به دست می‌آید.



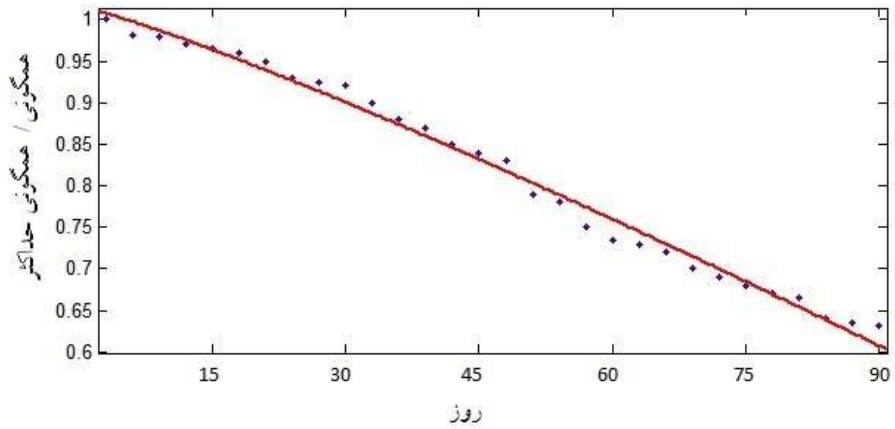
شکل (2): تغییرات خصوصیت آنتروپی استخراج شده از برگها نسبت به زمان برای ردیف کشت

شکل 3 تغییرات خصوصیت همگونی استخراج شده از برگها را نسبت به زمان نشان می‌دهد. ارزش رنگی پیکسل - های تشکیل دهنده تصویر برگ گیاهان با سن بیشتر نسبت به ارزش رنگ پیکسل های مجاور دارای اختلاف مقدار قابل توجهی بود. در حالی‌که این اختلاف برای برگ گیاهان جوانتر دارای مقدار کمتری بود . درنتیجه مقدار همگونی برگ گیاهان جوانتر دارای همگونی کمتری نسبت به برگ گیاهان با سن بیشتر بود. با بررسی روند تغییر میزان همگونی در طول دوره سه ماهه رشد، این روند با رابطه توانی زیر برازش شد (R^2=0.97):

$$\frac{Homogeneity}{Homogeneity_\max} = -0.012(days)^{1.168} + 1.031$$

مقدار همگونی حداکثر، در اولین مرحله داده‌گیری به دست می‌آید.

با استفاده از روابط 3 و 4، و قرار دادن مقدار "روز" و محاسبه آنتروپی و همگونی و مقایسه این مقادیر با مقدار آنتروپی و همگونی به دست آمده از پردازش تصویر، می توان از نحوه رشد و وضعیت سلامت گیاه مطلع شد و در صورت لزوم نوبت‌های کوددهی و میزان کود را برای دستیابی به حداکثر بازده، اصلاح کرد.



شکل (3): تغییرات خصوصیت همگونی استخراج شده از برگها نسبت به زمان برای ردیف‌کشت

منابع

یعقوبی وایقان، م.، شمس الهی، م . (1381) استفاده از بسط با الگوریتم پیگیری تطبیقی برای استخراج بافت تصویر، دومین کنفرانس ماشین‌بینائی و پردازش تصویر ایران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

Hetzroni, A., Miles, G.E., Engel, B.A., Hammer, P.A., Latin, R.X. (1994) Machine vision monitoring of plant health, Advances in Space Research 14 (11), 203–212.

Jain, R., Kasturi, R., Schunck, B.G. (1995) Machine Vision, McGraw-Hill, pp: 234–239.

Ling, P.P., Giacomelli, G.A., Russell, T.P. (1996) Monitoring of plant development in controlled environment with machine vision, Advances in Space Research 18 (4–5), 101–112.

Meyer, G.E., Troyer, W.W., Fitzgerald, J.B., Paparozzi, E.T. (1992) Leaf nitrogen analysis of poinsettia (Euphorbia Pulcherrima Will D.) using spectral properties in natural and controlled lighting, Applied Engineering in Agriculture 8 (5), 715–722.

Story, D., Kacira, M., Kubota, C., Akoglu, A., An, L. (2010) Lettuce calcium deficiency detection with machine vision computed plant features in controlled environments, Computers and Electronics in Agriculture, 74: 238–243.

Ushada, D., Murase, H., Fukuda, H. (2007) Non-destructive sensing and its inverse model for canopy parameters using texture analysis and artificial neural network, Computers and Electronics in Agriculture, 57: 149–165.

Zheng, C., Sun, D.W., Zheng, L. (2006) Recent applications of image texture for evaluation of food qualities – a review, Trends in Food Science and Technology, 17: 113–128.