

تخمین مدت زمان خشک شدن مواد غذایی با استفاده از بینایی کامپیوتر و شبکه عصبی (مطالعه موردی کدوخلوایی) (۵۵۲)

محمدحسین سیگاری^۱، حامد سیگاری^۲، ناصر مزینی^۳

چکیده

بینایی کامپیوتر یکی از پرکارترین فن آوری های مورد استفاده در صنایع غذایی و کشاورزی نوین است. بیشترین کاربرد بینایی کامپیوتر در آزمایشگاه های کنترل کیفیت می باشد. در مقاله حاضر سیستمی مبتنی بر بینایی کامپیوتر و شبکه عصبی برای تخمین مدت زمان خشک شدن مواد غذایی ارائه شده است. آزمایش ها بر روی فرایند خشک شدن کدوخلوایی اسمزی با اسه اده از جریان هوای گرم انجام گرفته است. در این آزمایش، تصویری از یک قطعه کدوخلوایی تهیه شده و به سیستم اده می شود. سپس با استفاده از الگوریتم های پردازش تصویر محل کدوخلوایی در تصویر تعیین شده و تعدادی از ویژگی های آن شامل مساحت، همگنی، کنتراست و آنتروپی تصویر استخراج می شود. ویژگی های استخراج شده به یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه داده شده تا مدت زمان قرار گرفتن قطعه کدوخلوایی در فرایند خشک شدن را تعیین کند. نتایج آزمایش ها نشان می دهد طای تخمین مدت زمان خشک شدن کدوخلوایی حدود ۱ ساعت است. این نتایج برای چنین سیستمی بسیار خوب به نظر می رسد.

کلیدواژه: تخمین مدت زمان خشک شدن، بینایی کامپیوتر، پردازش تصویر، شبکه عصبی، پرسپترون چند لایه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هوش مصنوعی دانشگاه لم و صنعت ایران، پست الکترونیک: hoseyn_sigari@engineer.com
۲- دانشجوی کارشناسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران

امروزه افزایش جمعیت و محدودیت منابع طبیعی باعث ایجاد یک مشکل جهانی به نام بحران غذا شده است. تولید و فراوری محصولات کشاورزی با روش های سنتی بازدهی کمی دارد و مقرون به صرفه نیست. بنابراین مکانیزاسیون سیستم های کشاورزی و استفاده از فناوری های نوین در تولید و فراوری مواد غذایی امری اجتناب ناپذیر است. بینایی کامپیوتر¹ (بینایی ماشین) یکی از شاخه های بسیار مهم از هوش مصنوعی می باشد که کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی، خصوصا در آزمایشگاه های کنترل کیفیت دارد. سیستم های کنترل کیفیت مبتنی بر بینایی کامپیوتر در شیلات، کشتارگاه های دام و طیور، محصولات باغی و صنایع لبنی و ... مورد استفاده قرار می گیرد [1].

به طور کلی یک سیستم بینایی کامپیوتر شامل بخش تجهیزات اخذ تصویر و نرم افزار پردازش تصویر می باشد. تجهیزات اخذ تصویر شامل سیستم نورپردازی، دوربین و در صورت لزوم کارت اخذ تصویر است. مرحله اخذ تصویر در سیستم بینایی کامپیوتر نقش بسیار موثری در کارایی کل سیستم دارد. انتخاب روش نورپردازی، چپش سیستم نورپردازی و نوع دوربین و تنظیمات آن، کیفیت تصویر را تحت تاثیر قرار می دهد. پس از دریافت تصویر، الگوریتم های پردازش تصویر بر روی تصویر ورودی اعمال شده تا اطلاعات لازم از آن استخراج شود. بخش نرم افزاری سیستم های بینایی کامپیوتر می تواند علاوه بر الگوریتم های پردازش تصویر، از سایر ابزارهای هوش مصنوعی مانند شبکه های عصبی نیز برای هوشمند کردن و انجام خودکار عملیات استفاده نمایند.

یکی از مهمترین کاربردهای سیستم بینایی کامپیوتر در بررسی تغییرات رنگ و پارامترهای تصویری مواد غذایی در طول فرایند خشک کردن آنها است. فرناندز² و همکارانش کاربرد بینایی کامپیوتر در خشک کردن حلقه های سیب را مورد مطالعه قرار داده اند [2]. کروکید³ و همکارانش سینتیک تغییرات رنگ در مدت زمان خشک شدن، تاثیر نوع عملیات پیش فراوری (مثل قرار دادن در محلول قندی) و روش خشک کردن بر رنگ محصول نهایی را مورد مطالعه و بررسی قرار داده اند [3,4,5]. شفاف زوزی و همکارانش با استفاده از روش های پردازش تصویر، به بررسی تغییرات رنگ، کنتراست و انرژی تصویر در طول فرایند خشک کردن کدو حلوائی پرداخته اند [6]. هدف از انجام این مطالعات، ارائه یک مدل مناسب برای توصیف فرایند خشک کردن مواد غذایی است. در مقاله حاضر، هدف ارائه یک سیستم مبتنی بر بینایی کامپیوتر برای تخمین مدت زمان خشک کردن مواد غذایی (مطالعه موردی برای کدو حلوائی) است. در آزمایشات انجام شده، تصاویری از روند خشک شدن کدو حلوائی اسمری با استفاده از جریان هوای گرم تهیه شده و مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد. در این تحلیل ابتدا با استفاده از الگوریتم های پردازش تصویر، تعدادی از ویژگی های تصویر کدو حلوائی استخراج شده و سپس با استفاده از یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه⁴ (MLP) مورد پردازش قرار می گیرد. در این سیستم شبکه عصبی مدت قرار گرفتن کدو حلوائی در برابر جریان هوای گرم را تخمین می زند.

۲- مواد و روش ها

روش تهیه و آماده سازی نمونه ها

نمونه های تهیه شده کدو حلوائی، از محصولات بومی کشت شده در ایران می باشد. رطوبت نسوج کدو حلوائی تازه حدود ۹۵٪ است. برای انجام آزمایش، کدو حلوائی به قطعات مکعبی شکل با اندازه ۲ سانتیمتر برش زده، و تعدادی از قطعات برش خورده در محلول قندی ساکاروز (قند معمولی) با غلظت وزنی ۵۰٪ قرار داده شد. دمای محلول ۵۰ درجه سانتیگراد و مدت زمان قرار گرفتن قطعات کدو حلوائی در آن ۶ ساعت بود. سپس قطعات کدو حلوائی از محلول قندی خارج شده و در یک سیستم خشک کننده قرار می گیرد. سیستم خشک کننده شامل یک موتور الکتریکی، و یک گرماساز است. جریان هوا توسط موتور به سمت گرماساز هدایت شده و پس از گرم شدن به سطوح قطعه کدو حلوائی دمیده می شود. دمای هوای دمیده شده به سمت قطعه کدو حلوائی ۶۰ درجه سانتیگراد است. عمل خشک کردن به مدت ۱۲ ساعت به طول می انجامد که در حالت نهایی، میزان رطوبت نسوج کدو حلوائی به حدود ۲۵٪ خواهد رسید.

¹ Computer Vision

² Fernandez

³ Krokida

⁴ MLP (Multi Layer Perceptron)

نورپردازی و تصویربرداری

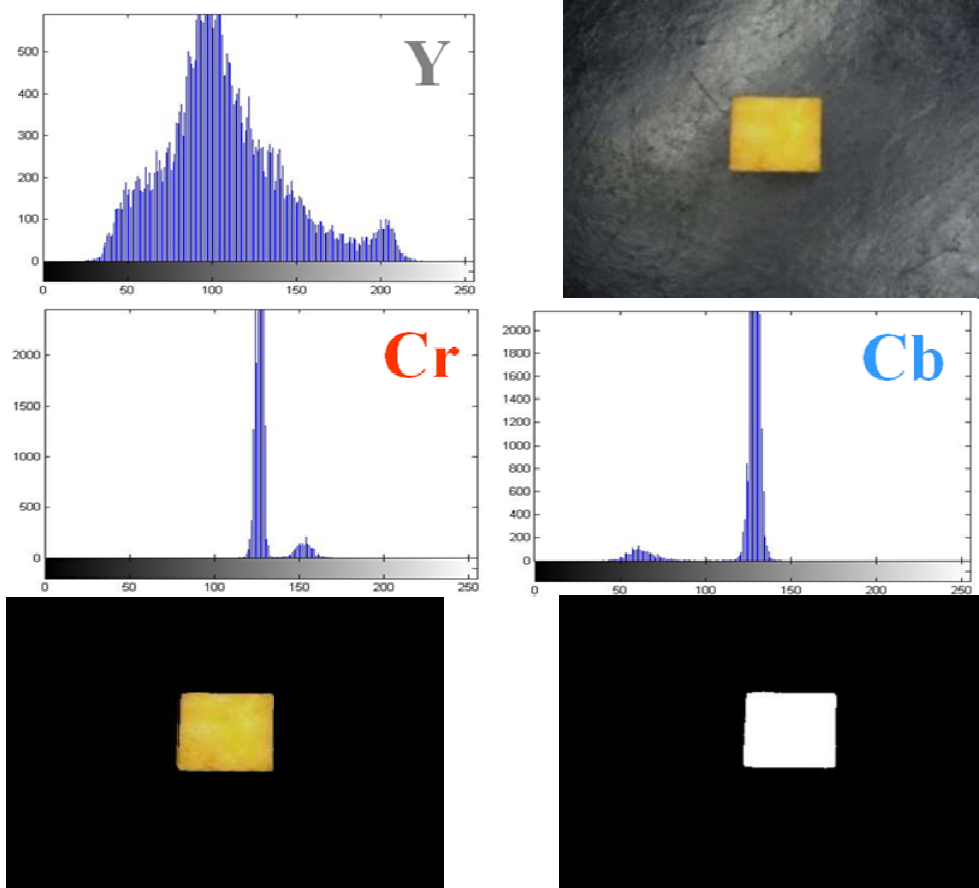
برای تهیه تصویر از قطعات کدوخلوایی، سیستم نورپردازی با استفاده از یک اتاقک کوچک و چهار لامپ مهتابی چیده شد. اتاقک کوچک یک جعبه مکعبی چوبی با ابعاد حدود ۶۰ سانتیمتر می باشد که در چهار ضلع بالایی مکعب لامپ های مهتابی نصب شده اند. قطعه کدوخلوایی بر روی یک پس زمینه سیاه رنگ، درون این اتاقک قرار داده شده و توسط یک دوربین دیجیتال سونی عکسبرداری می شود. دوربین دقیقاً در بالای نمونه و در فاصله ثابت (۱۲ سانتیمتر) از آن قرار دارد. حسگر دوربین دیجیتال از نوع CCD بوده و خروجی آن تصویر رنگی در فضای RGB ست. سیستم نورپردازی دقیقاً مشابه سیستم ارائه شده در [6] ست.

آشکارسازی کدوخلوایی

تصویر ورودی علاوه بر تصویر کدوخلوایی، شامل تصویر پس زمینه نیز می باشد. پیش از انجام هرگونه پردازش اصلی بر روی تصاویر کدوخلوایی، لازم است مکان کدوخلوایی در تصویر ورودی تعیین شود. تعیین مکان کدوخلوایی در تصویر ورودی را آشکارسازی^۱ کدوخلوایی گویند. آشکارسازی کدوخلوایی بر اساس رنگ است. اما مقادیر رنگی در فضای RGB معیار مناسبی برای آشکارسازی نیست. در فضای رنگی YCbCr، آشکارسازی کدوخلوایی به سادگی قابل انجام است. در واقع با تغییر فضای رنگی تصویر از RGB به YCbCr و اعمال یک حد آستانه بر روی مقدار Cb پیکسل ها، ناحیه کدوخلوایی آشکارسازی می گد. برای خودکار بودن سیستم، لازم است حد آستانه به شکل تطبیقی انتخاب شود. برای این منظور از الگوریتم اوتسو برای انتخاب حد آستانه استفاده شد [7].

شکل (۱) یک تصویر نمونه، هیستوگرام مقادیر Y، Cb و Cr و نحوه آشکارسازی کدوخلوایی را نشان می دهد. همانطور که در شکل نیز دیده می شود، مناسب ترین معیار برای آشکارسازی کدوخلوایی، آانه گیری بر روی مقدار Cb است.

¹ Detection



شکل (۱): نحوه آشکارسازی کدوخلوایی در تصویر نمونه. بالا راست تصویر ورودی، بالا چپ هیستوگرام Y ، وسط راست هیستوگرام Cb ، وسط چپ هیستوگرام Cr ، پایین راست تصویر باینری پس اعمال آستانه بر مقادیر Cb ، تصویر نهایی آشکارسازی کدوخلوایی.

استخراج ویژگی

پس از آشکارسازی کدوخلوایی، باید تعدادی از ویژگی‌های مناسب را از تصاویر استخراج کرد. ویژگی‌های انتخاب شده شامل مساحت کدوخلوایی، همگنی^۱، کنتراست^۲ و آنترپی^۳ تصویر است. هر یک از این ویژگی‌ها یک مقدار اسکالر بوده و چنین تعریف می‌شود:

مساحت: تعداد پیکسل‌های تشکیل دهنده کدوخلوایی
همگنی: معیاری از یکنواخت بودن تصویر

$$Homogeneity = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{1}{1+(i-j)^2} p(i, j) \quad (1)$$

کنتراست: میزان تغییرات مقادیر پیکسل‌های تصویر

¹ Homogeneity
² Contrast
³ Entropy

$$Contrast = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (i - j)^2 p(i, j) \quad (2)$$

آنتروپی: میزان بی‌نظمی و تصادفی بودن پیکسل‌های تصویر

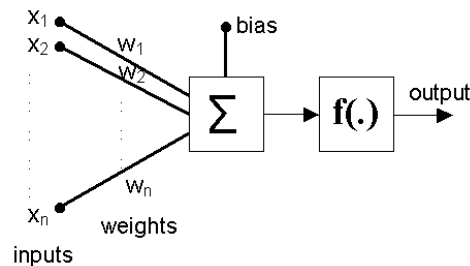
$$Entropy = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (i - j)^2 p(i, j) \quad (3)$$

تصاویر اصلی در فضای رنگی RGB می‌باشند. اما به دلایل متعددی بهتر است فضای رنگی تصویر به فضای CIE Lab تغییر یابد. فضای رنگی CIE Lab که گاه با $L^*a^*b^*$ نیز بیان می‌شود، یک رابطه غیرخطی با فضای رنگی RGB دارد. در فضای رنگی RGB هر یک از رنگ‌های قرمز، سبز و آبی به ترتیب با مقادیر R، G و B مشخص می‌شود، در حالیکه در فضای رنگی Lab، مقدار روشنایی پیکسل، a نسبت میزان قرمزی به سبزی و b نسبت زردی به آبی بودن پیکسل را نشان می‌دهد [8]. از مهمترین علل استفاده از فضای رنگی CIE Lab به جای RGB می‌توان به شباهت زیاد مدل رنگی Lab به مکانیزم درک رنگ در چشم انسان اشاره کرد. علاوه بر این، در اکثر سیستم‌های کنترل کیفیت که در صنایع غذایی کاربرد دارد، از مدل رنگی Lab استفاده شده است [8].

شبکه عصبی

شبکه عصبی مصنوعی یا به اختصار شبکه عصبی از بزرگترین پیشرفت‌های علم بشر در دهه‌های اخیر می‌باشد. از مهمترین ویژگی‌های شبکه عصبی این است که به عنوان یک طبقه بندی کننده غیر خطی¹ عمل می‌کند. ضمن اینکه می‌تواند مسابلی که با معادلات ریاضی قابل بیان نیستند، به کمک تعدادی نمونه آموزشی مدل سازی کنند [9,10].

ساده ترین شبکه عصبی یک نرون² با n ورودی و یک خروجی ست. به عبارت ساده تر ورودی این نرون بردار سطری \vec{X} با n عضو و خروجی آن عدد اسکالر O است. در شکل زیر یک نرون پایه را مشاهده می‌کنید.



شکل (۲): نرون پایه

در داخل نرون برای تولید خروجی محاسبات زیر انجام می‌شود:

$$O = f\left(\sum_{i=1}^n X_i W_i + B\right) \quad (4)$$

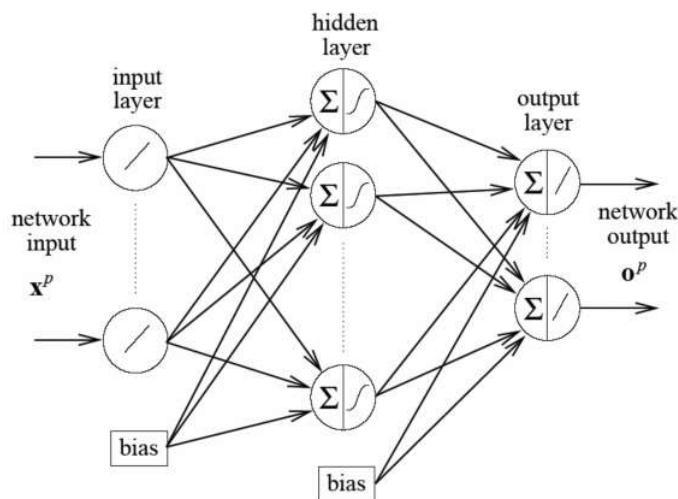
در این معادله W_i ضرایب وزنی متناظر ورودی X_i هستند و B مقدار آستانه است. f نیز یک تابع است که خروجی O را می‌سازد. در ساده ترین حالت f تابع پله واحد³ است. در این حالت خروجی نرون یکی از دو مقدار یک و صفر را می‌گیرد [10]. در حالت کلی می‌توان فرض کرد $W_0=B$ و $X_0=1$ و معادله بالا را به شکل زیر باز نویسی کرد:

$$O = f(\vec{X} * \vec{W}) \quad (5)$$

که در این معادله \vec{X} بردار سطری با n+1 عنصر و \vec{W} بردار ستونی با n+1 عنصر است [9].

Non-Linear Classifier¹
Neuron²
Unit Step: $u(t) = \{1 \text{ if } t > 0, 0 \text{ if } t < 0\}$ ³

نرون پایه معرفی شده می تواند مسایل خطی را حل کند. اما برای حل مسایل غیر خطی از یک شبکه عصبی به نام پرسپترون چند لایه (MLP) استفاده می شود. شبکه MLP مجموعه ای از نرون های پایه است که در ۳ لایه قرار می گیرند. این سه لایه با نام های لایه ورودی^۱، لایه پنهان^۲ و لایه خروجی^۳ شناخته می شوند. شبکه MLP یک شبکه با ساختار رو به جلو^۴ است و از روش انتشار خطا رو به عقب^۵ برای یادگیری شبکه استفاده می کند. شبکه MLP یک شبکه باناظر محسوب می شود. به عبارت دیگر، برای آموزش این شبکه باید علاوه بر داده های آموزشی (ورودی شبکه)، خروجی صحیح آنها نیز به شبکه آموزش داده شود. بر اساس قضیه کلموگروف یک شبکه MLP با سه لایه می تواند هر مسئله خطی و غیر خطی را یاد گرفته و حل کند [9,10]. یک شبکه MLP را در شکل زیر مشاهده می کنید.

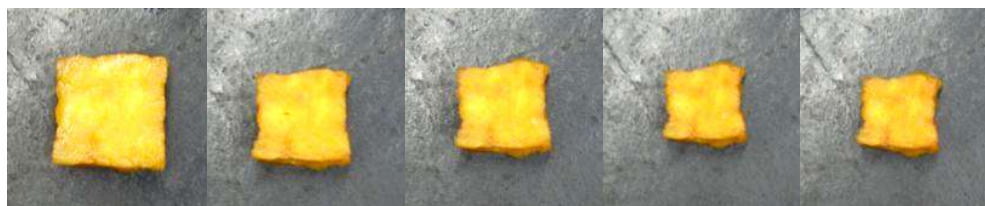


شکل (۳): شبکه پرسپترون چند لایه (MLP)

در سیستم ارائه شده برای تخمین مدت زمان خشک شدن کدوخلوایی، از یک شبکه عصبی MLP با سه لایه استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

برای آزمایش سیستم از ۵ قطعه مختلف کدوخلوایی استفاده شد. این قطعات پس از برش و به مدت ۶ ساعت در محلول قندی قرار گرفتند. پس از خروج قطعات کدوخلوایی از محلول قندی، اولین تصویر از هر قطعه تهیه و به عنوان تصویر ساعت صفر ذخیره شد. پس از آن قطعات کدوخلوایی به مدت ۱۲ ساعت در سیستم خشک کننده هوای گرم قرار داده شد. هر ۱ ساعت یکبار، قطعات از سیستم خشک کننده خارج شده و از آنها عکس برداری شد. پس از اتمام فرایند خشک شدن، برای هر قطعه کدوخلوایی ۱۳ تصویر مختلف بدست آمد. این تصاویر روند خشک شدن کدوخلوایی از ابتدا تا انتها را مشخص می کند. همانطور که در شکل زیر مشاهده می شود، هر چه مدت زمان خشک کردن کدوخلوایی افزایش می یابد، تغییرات تصویر کدوخلوایی نسبت به مرحله قبل کمتر می شود. به عبارت دیگر تصاویر گرفته شده در ساعات بین ۸ تا ۱۲ مرحله خشک شدن بسیار شبیه هم است.



- ¹ Input Layer
- ² Hidden Layer
- ³ Output Layer
- ⁴ Feed Forward
- ⁵ Back Propagation Error

شکل (۴): تصاویر یک نمونه در مراحل مختلف آزمایش. از راست به چپ: تصویر در ساعت صفر (در لحظه خروج از محلول قندی)، تصویر در ساعت ۲، تصویر در ساعت ۴، تصویر در ساعت ۸، تصویر در ساعت ۱۲.

تصاویر تهیه شده از ۳ قطعه کدوخلوایی به عنوان تصاویر آموزشی برای آموزش شبکه عصبی و تصاویر دو قطعه دیگر برای آزمایش سیستم مورد استفاده قرار گرفت. تعداد نرون‌های لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی شبکه عصبی به ترتیب ۴، ۴ و ۱ انتخاب شد. تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر با تعداد ویژگی‌های استخراج شده (مساحت، همگنی، کنتراست و آنتروپی) و خروجی شبکه عصبی مدت زمان خشک شدن کدوخلوایی (بر حسب ساعت) است. تعداد نرون‌های لایه میانی نیز از طریق آزمون و خطا تعیین شد.

بر اساس آزمایشات انجام شده، دقت شبکه عصبی در تخمین مدت زمان خشک شدن کدوخلوایی حدود ۱٫۱ ساعت بود. البته با توجه به تعداد کم نمونه‌های آموزشی (۳۹ تصویر از ۳ قطعه کدوخلوایی) این نتیجه بسیار خوب به نظر می‌رسد. ضمن اینکه شکل ظاهری و در نتیجه ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر کدوخلوایی در ساعات پایانی خشک شدن (بین ساعت ۸ تا ۱۲) بسیار شبیه هم است. این شباهت، باعث شده است که خطای شبکه عصبی در تخمین مدت زمان خشک شدن در ساعات پایانی بیش از حد افزایش یابد. خطای تخمین شبکه عصبی برای تصاویری که در ساعات پایانی خشک شدن تهیه شده بود، بیش از ۲ ساعت است، در حالی که خطای تخمین برای ساعات اولیه خشک شدن حدود نیم ساعت می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آینده

در مقاله حاضر به طراحی و بررسی یک سیستم کنترل کیفیت مبتنی بر بینایی کامپیوتر و شبکه عصبی برای تخمین مدت زمان خشک شدن مواد غذایی (مطالعه موردی بر روی کدوخلوایی) پرداختیم. این سیستم با دریافت تصویر از کدوخلوایی و استخراج ویژگی‌های مساحت، همگنی، کنتراست و آنتروپی تصویر، از یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه برای تخمین مدت زمان خشک شدن کدوخلوایی استفاده می‌کند. در این سیستم، خطای تخمین مدت زمان خشک شدن حدود ۱ ساعت است. البته می‌توان با افزایش تعداد نمونه‌های آموزشی، دقت سیستم را افزایش داد. با این حال دقت سیستم برای ۳۹ تصویر آموزشی بسیار خوب به نظر می‌رسد.

این سیستم برای کنترل کیفیت خشک شدن کدوخلوایی طراحی شده است. البته به راحتی می‌توان سیستم را با تغییرات جزئی برای کنترل کیفیت سایر مواد غذایی با رنگ‌ها و اشکال مختلف استفاده کرد. همچنین می‌توان شبکه عصبی را برای سایر آزمایش‌های کنترل کیفی دیگر آموزش و مورد استفاده قرار داد. به عنوان مثال می‌توان از سیستمی مشابه سیستم ارائه شده در این مقاله برای کنترل کیفیت مواد اولیه (مواد خام) استفاده کرد.

سپاسگزارى

لازم است از جناب آقای دکتر مسعود شفافیان زنوزی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی، بابت همکاری صمیمانه در تهیه تصاویر قدردانی و تشکر شود.

منابع

- Brosnan, T., & Sun, D. (2004). Improving quality inspection of food products by [1]
computer vision – a review. *Journal of Food Engineering*, 61, 3–16.
- Fernandez L., Castellero C. & Aguilera J.M. (2005). An application of image [2]
analysis to dehydration of apple discs, *Journal of Food Engineering*, 67, 185–193.
- Krokida, M. K., Tsami, E., & Maroulis, Z. B. (1998). kinetics on color changes [3]
during drying of some fruits and vegetables. *Drying Technology*, 16(3–5), 667–685.
- Krokida, M. K., Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., & Marinos- Kouris, D. (2000). [4]
Effect of pretreatment on color of dehydrated products. *Drying Technology*, 18(6),
1239–1250.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D. (2001). The effect of the [5]
method of drying on the color of dehydrated products. *International Journal of Food
Science and Technology*, 36(1), 53–59.
- Shafafi Zenoozian, M., Pourreza, H. R., Sigari, M. H., Razavi, S. M. A., & Shahidi, [6]
F. (2007). An application of image analysis to dehydration of osmosed pumpkin by hot
air drying. 4th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, 588-592.
- Otsu, N., (1979). A threshold selection method from gray-level histograms, IEEE [7]
Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9(1) 1, 62-66.
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., & Leon, J. (2006). Color measurements in [8]
L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*.
- [9] منہاج، م. ب.، ۱۳۷۹، مبانی شبکه های عصبی، جلد اول. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امرکبیر.
- [10] بیل، آر، جکسون، تی، ۱۳۸، آشنایی با شبکه های عصبی، ترجمه دکتر محمود البرزی، چاپ اول،
موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.