



## استفاده از پردازش تصاویر رنگی و روش سطح پاسخ در تخمین تازگی گوشت مرغ

امین طاهری گراوند<sup>۱\*</sup>، سودابه فتاحی<sup>۲</sup>، فیض اله شهبازی<sup>۳</sup>، امین نصیری<sup>۴</sup>

۱. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان

۳. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان

۴. دانش آموخته دکترای تخصصی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۲۰، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۴/۲۵، تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۳)

### چکیده

اهمیت گوشت مرغ به‌عنوان یک ماده غذایی سالم و مغذی برای مردم سراسر جهان قابل ملاحظه است. لذا بررسی کیفیت آن برای مصرف از ارزش بسزایی برخوردار است. هدف اصلی مطالعه حاضر تشخیص تازگی گوشت مرغ از طریق تخمین زمان سپری شده از ذبح به کمک روش‌های پردازش تصویر و سطح پاسخ می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، قسمت ران مرغ به‌عنوان نمونه مورد بررسی انتخاب و در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  یخچال نگهداری شد و در زمان‌های تعیین شده تصاویر مورد نظر تهیه گردید. پس از این‌که ویژگی‌های آماری بافت تصاویر از کانال‌های مختلف رنگی استخراج شد، با به‌کارگیری روش آنالیز حساسیت، ویژگی‌های موثر در زمان سپری شده از ذبح انتخاب گردید. در پایان روش سطح پاسخ برای طراحی و بهینه‌سازی مدل‌های رگرسیونی به منظور تخمین مدت زمان سپری شده پس از ذبح به‌کار رفت. شاخص‌های آماری به‌کار رفته برای اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی بهینه شده شامل فاکتورهای R-Squared، RMSE، Pred R-Squared، Adj R-Squared و Press RMSE است. مقادیر این شاخص‌ها برای قسمت باپوست مرغ (بهینه شده) به ترتیب  $0/901$ ،  $0/899$ ،  $0/898$ ،  $27/31$  و  $27/44$  و برای قسمت بدون پوست مرغ (بهینه شده) به ترتیب  $0/866$ ،  $0/865$ ،  $0/864$  و  $29/66$  و  $29/7$  به‌دست آمد. نتایج قابل قبول به‌دست آمده نشان می‌دهد که روش‌های پردازش تصویر و سطح پاسخ به خوبی قابلیت تشخیص زمان سپری شده از ذبح را دارند.

واژه‌های کلیدی: گوشت مرغ، پردازش تصویر، آنالیز حساسیت، روش سطح پاسخ.

## ۱. مقدمه

از دلایل روند رو به رشد مصرف گوشت مرغ در بسیاری از کشورها می‌توان به سالم‌تر بودن آن از لحاظ رژیم غذایی و قیمت پایین آن به منظور تامین پروتئین مور نیاز بدن اشاره کرد [۱]. کیفیت بالای گوشت مرغ به وضعیت تازگی آن بستگی دارد که شامل ویژگی‌های مهمی از جمله رنگ، بافت، pH و تردی می‌شود [۲-۴]. خصوصیات کیفی مختلفی برای گوشت مرغ وجود دارد که تازگی مهم‌ترین آن ویژگی‌ها به شمار می‌رود [۵]. رنگ از مهم‌ترین خصوصیات مورفولوژیکی گوشت به شمار می‌رود که در مقبولیت گوشت نقش بسزایی دارد، هم‌چنین در تصمیم‌گیری برای خرید مشتریان نیز بسیار تاثیرگذار است [۶]. روش تصویربرداری یک روش بینایی برای تخمین کیفیت گوشت و مواد غذایی است که به منظور تشخیص سریع مشکلات کیفی به کمک ویژگی‌های رنگ، شکل، اندازه و بافت سطح در سامانه پردازش به کار می‌رود [۷]. روش پردازش تصویر یک روش آنالیز و سریع به منظور ارزیابی کیفیت گوشت است. این روش هم‌چنین یک روش غیرتهاجمی است که سلامتی مشتریان را تهدید نمی‌کند [۸]. روش مذکور در ارزیابی کیفیت گوشت‌ها و فرآورده‌های گوشتی به کار می‌رود [۹]. امروزه پردازش تصویر به‌عنوان یک بخش جدایی‌ناپذیر از سامانه‌های تولید صنعتی به شمار می‌رود که بیش‌تر در زمینه‌های بازرسی دستی، نیمه خودکار و خودکار کاربرد دارد. همانند یک سامانه بازرسی، معمولاً از محصولی که برای انطباق با کیفیت بررسی می‌شود عکس گرفته می‌شود و تصویر به‌دست آمده توسط اپراتورهای انسان و یا به صورت خودکار توسط کامپیوتر با استفاده از روش‌های پردازش تصویر خاص تجزیه و تحلیل می‌شود [۱۰].

یکی از مفاهیم طراحی آزمایش‌ها روش سطح پاسخ می‌باشد. این روش مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری است که جهت توسعه، بهبود و بهینه‌سازی فرایندهایی به کار می‌رود که در آن‌ها سطح مورد نظر تحت تاثیر متغیرهای بسیاری قرار داشته و هدف بهینه کردن پاسخ مزبور است. روش سطح پاسخ و تکنیک‌های هوش مصنوعی (همانند منطق فازی، شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک) مدل‌های مبتنی بر تجربه هستند که به طور گسترده در مدل کردن فرایندهای غذایی با توجه به پیچیدگی واکنش‌ها و ساختار ناهمگون محصولات غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها راه حل‌های جدیدی به منظور پیشرفت

ابزار کنترل و مدل‌سازی در فرایندهای غذایی ارائه می‌دهند. روش سطح پاسخ در مقایسه با روش‌های تجربی و بهینه‌سازی پیشین مزایای بسیاری دارد، از جمله این که روش سطح پاسخ از تعداد محدودی از آزمایش‌ها یک گستره اطلاعاتی وسیعی در اختیار قرار می‌دهد و امکان مشاهده تاثیر متقابل پارامترهای مستقل بر روی پاسخ فراهم می‌کند [۱۱].

در ادامه به چندین مطالعات گزارش شده در زمینه ارزیابی کیفیت گوشت به کمک روش پردازش تصویر اشاره می‌شود. فتاحی و همکاران [۱۲] در مطالعه‌ای تازگی را به عنوان فاکتوری مهم در ارزیابی کیفیت گوشت مرغ مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه که هدف اصلی آن استفاده از روش‌های سریع و غیرمخرب برای ارزیابی تازگی گوشت مرغ است، از روش‌های پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. بدین منظور ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر به‌عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی تازگی به کار رفتند. شاخص‌های محاسبه شده نظیر دقت، حساسیت، اختصاصی بودن، صحت و سطح زیر منحنی به ترتیب با مقادیر ۹۲، ۸۰/۰۲، ۸۰/۶۸، ۹۴/۸۹ و ۸۷/۸۳ برای ارزیابی کارایی طبقه‌بند، نشان داد که سامانه به کار رفته توانایی تخمین تازگی گوشت مرغ را با دقت مناسبی دارد. در مطالعه‌ای جوادی‌کیا و همکاران [۱۳] به تشخیص تازگی گوشت گوساله به کمک روش‌های پردازش تصویر و سطح پاسخ پرداختند. بخش‌های ران، سر دست و گردن گوساله به‌عنوان نمونه مورد مطالعه قرار گرفت. بدین ترتیب که پس از تهیه تصویر از نمونه‌ها و استخراج ویژگی‌های مورد نظرها تصاویر، به کمک روش آنالیز حساسیت پارامترهای موثر انتخاب شد. سپس با استفاده از روش سطح پاسخ، مدل‌های مناسبی را طراحی و بهینه‌سازی نمودند. دینگ و همکاران [۱۴] با استفاده از روش پردازش تصویر، کیفیت قسمت بال مرغ را ارزیابی کردند. آن‌ها تصاویر مورد نظر بال مرغ را تهیه نموده سپس ویژگی‌های رنگی را از مدل‌های رنگ RGB، HSI و Lab استخراج نمودند. کانال‌های B, H, S, a و b به‌عنوان بردارهای تشخیص رنگ انتخاب شدند و در نهایت استخراج ویژگی‌های درصد ناحیه تراکم در تصویر انجام شد که روش شبکه عصبی سه لایه پس انتشار برای طبقه بندی به کار رفت که دقت طبقه بندی برای تشخیص کیفیت بال مرغ با استفاده از این روش بالای ۹۸٪ محاسبه شد. با توجه به ضرورت تشخیص تازگی گوشت مرغ، هدف اصلی

## ۲.۲. سامانه عکسبرداری

سامانه به کار رفته از سه قسمت بستر عکسبرداری، دوربین و کامپیوتر و نرم افزار تشکیل شده است. داخل بستر سفید رنگ بوده و روشنایی آن توسط ۴۴ عدد لامپ هالوژن ۳ W تامین شد. در زیر لامپها یک عدد ورق آکرلیک برای نوردهی غیرمستقیم قرار گرفت. به منظور عکسبرداری، یک عدد دوربین Canon, 12.1MP, مدل SX-260 ساخت کشور ژاپن به صورت عمود بر سطح نمونه نصب شد. نمونه در فاصله ۴۰ سانتیمتری از لنز دوربین تنظیم شد. عکسبرداری از نمونهها ۶ ساعت پس از ذبح شروع شد و با هدف بررسی روند تغییرات در فواصل زمانی ۶ ساعت، در طول ۱۳ روز در آزمایشگاه تحت رطوبت ۴۰٪، دمای ۲۵ °C ادامه پیدا کرد. اندازه تصاویر رنگی به دست آمده ۴۰۰۰\*۳۰۰۰ پیکسل بوده که با فرمت JPEG در کامپیوتر شخصی ذخیره شدند. شکل (۱) سامانه تصویربرداری به کار رفته در این مطالعه را نمایش می دهد.

## ۳.۲. پیش پردازش و استخراج ویژگی

تصاویر به دست آمده در محیط نرم افزار متلب R2015a مورد پردازش قرار گرفتند. عملیات پیش پردازش از مراحل بخش بندی، تغییر شکل و اندازه و فیلتر کردن تصاویر به منظور حذف اغتشاشهای احتمالی تشکیل شده است. هدف اصلی این مرحله ارتقاء تصویر و حذف دادههای غیر ضروری از تصویر است. در این تحقیق، پیش پردازش تصاویر شامل بخش بندی تصاویر، تغییر

این مطالعه بررسی امکان به کارگیری یک روش سریع، آنلاین، غیرمخرب و اقتصادی در تخمین زمان سپری شده از ذبح گوشت مرغ بر مبنای تصاویر بصری می باشد. برای دستیابی به این هدف، در تحقیق حاضر کاربرد موثر روش پردازش در آنالیز تصاویر رنگی و همچنین توانایی روش سطح پاسخ در طراحی و بهینه سازی مدل های رگرسیونی مورد بررسی قرار می گیرد. سامانه مورد استفاده در این تحقیق شامل مراحل: تهیه تصاویر، پیش پردازش، محاسبه انواع کانال های رنگی، انتخاب ویژگی به روش آنالیز حساسیت و طراحی و بهینه سازی مدل های رگرسیونی به روش سطح پاسخ می باشد.

## ۲. مواد و روشها

### ۱.۲. تهیه و شرایط نگهداری نمونهها

در ابتدا ۳۰ نمونه گوشت مرغ کشتار روز از کشتارگاهی در استان لرستان تهیه شد، سپس قسمت ران مرغ از نمونه جدا گردید. نمونهها در داخل فیبرهای یخ پوشی شده در مدت زمان ۲۰ min به آزمایشگاه مکانیک بیوسیستم دانشگاه لرستان منتقل گردید. در آزمایشگاه نمونهها شسته و رطوبت سطح آنها با دستمال گرفته شد. سپس نمونهها به مدت ۲۰ min در معرض هوای محیط قرار گرفتند تا رطوبت سطح آنها به حالت طبیعی بازگردد. هر نمونه داخل یک زیپ پک قرار گرفت و هر دو سمت آن (با پوست و بدون پوست) نام گذاری شد. نمونهها به مدت ۱۳ روز در شرایط یخچال (دمای ۴°C) نگهداری شدند.

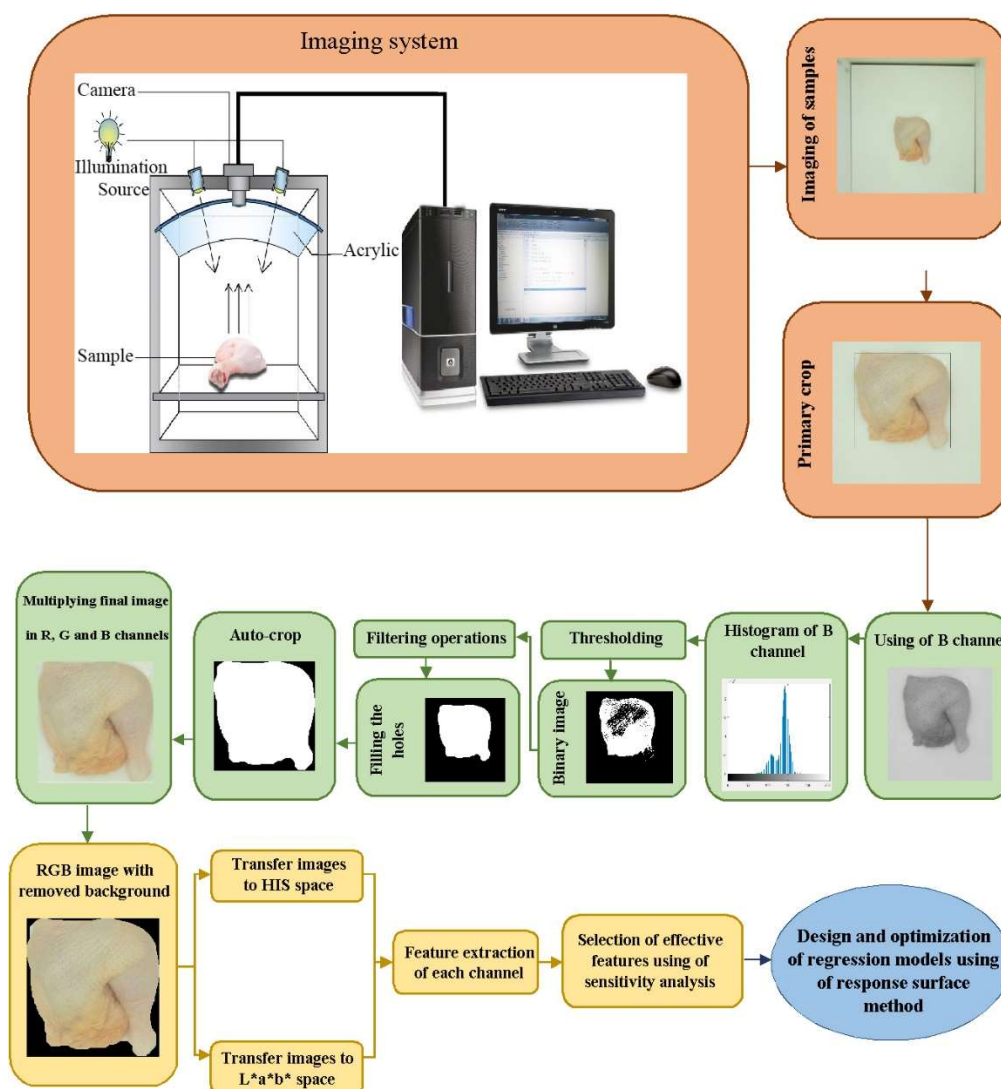


شکل (۱) سامانه تصویربرداری به کار رفته

Fig.1 The used imaging system

پرکردن حفره‌های به‌وجود آمده، توابع باز و بسته موجود در محیط متلب به‌کار رفت. در آخر تصاویر باینری حاصله در کانال-های R، G و B ضرب شدند و با ترکیب این تصاویر، پس زمینه حذف و تصویر گوشت مرغ به‌دست آمد. در شکل (۲) تصویر شماتیک سامانه تصویربرداری و مراحل پردازش تصاویر آورده شده است. برای استخراج ویژگی تصاویر به‌دست آمده به کانال-های رنگی مختلف منتقل و در نهایت ویژگی‌های مورد نظر از کانال‌ها استخراج گردید.

شکل و اندازه تصاویر و فیلتر کردن آن‌ها جهت حذف اغتشاش-های احتمالی، انجام گرفت. اهداف کلی این عملیات را می‌توان ارتقاء تصویر و حذف داده‌های غیر ضروری از تصویر دانست. با انجام عملیات پیش‌پردازش مناسب تصویر، دقت تشخیص و کارایی طبقه‌بندی افزایش می‌یابد [۱۵]. در مرحله بخش‌بندی با استفاده از عملیات کدنویسی قسمت ران مرغ از پس زمینه جدا شد و به‌عنوان تصویر ورودی در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام عملیات برش در ابتدا حد آستانه ایده‌آل، ۰/۵، انتخاب و تصاویر باینری از کانال‌های R، G و B به‌وجود آمد. برای



شکل (۲) شماتیک سامانه تصویربرداری و مراحل پردازش تصاویر  
 Fig.2 Schematic of imaging system and images processing steps

$$b = \left(\frac{B+\alpha_1}{\alpha_2}\right)^\gamma \quad (7)$$

در تبدیل حاضر  $\gamma=2.2$  به عنوان پارامتری که وابسته به مقادیر  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  است. و برای تصحیح مقادیر حاصل از دوربین دیجیتال به سیستم مستقیم اصلی اضافه می‌گردد. که یک کالیبراسیون بهینه از مدل تبدیل به دست می‌دهد. ضمناً M به عنوان یک تبدیل خطی بین فضای RGB و XYZ به کار می‌رود که از یک مرجع رنگی محاسبه می‌شود [۲۲، ۲۱]. در فضای رنگی RGB مقدار رنگ خنثی بستگی به نور CIE D65 دارد. که مقدار M به صورت زیر به دست می‌آید:

$$M = \begin{bmatrix} 0.5767 & 0.1856 & 0.1882 \\ 0.2974 & 0.6273 & 0.0753 \\ 0.0270 & 0.0707 & 0.9911 \end{bmatrix}$$

قابل توجه است که از فضای رنگی RGB می‌توان تصاویر حرفه‌ای بیش‌تری نسبت به محیط XYZ به دست آورد. زمانی که از طیف رنگی گسترده‌تری استفاده می‌شود، نتایج واقع بینانه‌تری به دست می‌دهد. در نتیجه تصاویر به دست آمده می‌تواند برای ارزیابی حسی با استفاده از یک پانل متخصص به کار رود. در مرحله بعدی انتقال از فضای XYZ به  $L^* a^* b^*$  بر اساس رابطه زیر انجام شد:

$$L^* = 116h\left(\frac{Y}{Y_R}\right) - 16 \quad (8)$$

$$a^* = 500\left[h\left(\frac{X}{X_R}\right) - h\left(\frac{Y}{Y_R}\right)\right] \quad (9)$$

$$b^* = 200\left[h\left(\frac{Y}{Y_R}\right) - h\left(\frac{Z}{Z_R}\right)\right] \quad (10)$$

$$h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & q > 0.008856 \\ 7.787q + 16/116 & q \leq 0.008856 \end{cases} \quad (11)$$

<sup>۹۶</sup>  $X_n, Y_n, Z_n$  مقادیر CIE XYZ tristimulus را برای روشنایی نشان می‌دهد [۲۳].

از هر یک از کانال‌های رنگی محاسبه شده، تعداد ۶ ویژگی آماری شامل میانگین، انحراف معیار، همواری، چولگی، انرژ و آنتروپی با استفاده از روابط موجود در (جدول ۱) استخراج گردید [۲۴] و در نهایت تعداد (۶ ویژگی \* ۹ کانال)، ۵۴ ویژگی برای هر تصویر به دست آمد.

### ۱.۳.۲. فضای رنگی RGB

RGB به عنوان یک مدل رنگی معمول برای تهیه تصاویر و نشان دادن وسیله‌ها به کار می‌رود. این مدل براساس یک مدل ترکیبی افزایشی است. به طوری که رنگ‌ها از ترکیب از ترکیب سه رنگ اولیه قرمز، سبز و آبی به وجود می‌آیند. مقدار هر کانال، عددی صحیح بین ۰ و ۲۵۵ در نظر گرفته می‌شود [۱۶].

### ۲.۳.۲. فضای رنگ HSI

در فضای رنگ HSI، مولفه H بیانگر رنگ (Hue)، مولفه S بیانگر اشباع و مولفه I روشنایی را نشان می‌دهد و وابستگی بسیار اندکی در میان این سه مولفه وجود دارد که برای تقسیم‌بندی رنگ بسیار کاربردی است [۱۷]. تبدیل پارامترهای R، G و B به پارامترهای S، H و I با استفاده از روابط زیر انجام شد [۱۸]:

$$I = \frac{R+G+B}{3} \quad (1)$$

$$S = I - \frac{3}{R+G+B} \times \min(R, G, B) \quad (2)$$

$$H = \arccos\left(\frac{0.5 \times [(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}\right) \quad (3)$$

### ۳.۳.۲. فضای رنگی $L^* a^* b^*$

فضای رنگ  $L^* a^* b^*$  یا CIE LAB، به عنوان کامل‌ترین و متداول‌ترین فضای رنگی که توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی (CIE the initials of Commission Internationale d'Eclairage) برای نمایش رنگ‌های قابل مشاهده برای چشم انسان معرفی شده است [۱۹]. روشی که برای انتقال از فضای رنگی RGB به  $L^* a^* b^*$  وجود دارد شامل دو مرحله است. در ابتدا تبدیل پارامترهای RGB در محدوده نرمال [0.01.0] به XYZ [۲۰]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$r = \left(\frac{R+\alpha_1}{\alpha_2}\right)^\gamma \quad (5)$$

$$g = \left(\frac{G+\alpha_1}{\alpha_2}\right)^\gamma \quad (6)$$



#### ۴.۲. مدل‌سازی به کمک سطح پاسخ

به‌عنوان ورودی و زمان سپری شده به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. با توجه به این که پارامترها، واحدها و محدودهای متفاوتی دارند در حوزه آنالیز رگرسیونی نباید مورد استفاده قرار گیرند و بیش از اجرای طرح رگرسیونی، پارامترها را باید نرمال کرد تا همگی آن‌ها پاسخ را به شکل همگن‌تری تحت تاثیر قرار دهند، به همین منظور هر یک از متغیرها در بازه ۱- و ۱ نرمال شدند. پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌ها به منظور جستجوی هرگونه ارتباط ریاضی بین متغیرهای ورودی (جدول ۲) و زمان سپری شده به‌عنوان پاسخ فرایند، نحوه پراکندگی داده‌ها توسط نرم افزار متلب مورد ارزیابی قرار گرفت. در روش سطح پاسخ به‌طور معمول از چند جمله‌ای‌ها و توابع خطی برای برازش مدل استفاده می‌شود. در این تحقیق از مدل رگرسیونی درجه دوم (معادله ۱۳) به منظور بیان همبستگی ریاضی بین متغیرهای ورودی و پاسخ مدل استفاده شد [۲۵].

روش سطح پاسخ تاثیر متغیرهای مستقل را به تنهایی یا با هم بر روی فرایندها تعریف می‌کند، علاوه بر این به منظور تجزیه و تحلیل تاثیرات متغیرهای مستقل این روش‌شناسی، یک مدل ریاضی در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد. نمای گرافیکی مدل به- دست آمده موجب کاربرد اصطلاح روش سطح پاسخ گردیده است. رابطه بین ورودی و پاسخ به این صورت است [۲۵]:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (12)$$

که در رابطه فوق  $\eta$  متغیر وابسته (پاسخ)،  $x_1$  تا  $x_n$  متغیرهای مستقل،  $f$  تابعی نامعلوم از پاسخ می‌باشد. از آن جا که در عمل تخمین همراه با خطاست پارامتر  $\varepsilon$  نیز در کنار تابع نشان داده می‌شود [۲۵].

پارامترهای انتخاب شده به کمک آنالیز حساسیت (جدول ۲)

جدول (۱) ویژگی‌های آماری بافت استخراج شده از کانال‌های رنگی مختلف.

Table 1 extracted statistical features of texture from different color channels.

رابطه* Relation	توضیح Explanation	ویژگی Feature
$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i)$	بیانگر مقدار متوسط شدت تصویر	میانگین سطح خاکستری
$\delta = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^2 p(z_i)}$	بیانگر مقدار متوسط تضاد تصویر	انحراف معیار
$R = 1 - \frac{1}{1 + \delta^2}$	بیانگر میزان همواری نسبی شدت در یک ناحیه	همواری
$\mu_3 = i \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 p(z_i)$	بیانگر میزان ناهمواری هیستوگرام	چولگی (ممان سوم)
$U = \sum_{i=1}^{L-1} p^2(z_i)$	بیانگر معیاری برای یکنواختی	یکنواختی (انرژی)
$e = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i)$	بیانگر معیاری برای تصادفی بودن	آنتروپی

جدول (۲) ویژگی‌های انتخاب شده به کمک آنالیز حساسیت.

Table 2 Selected features using sensitivity analysis.

متغیرهای ورودی (نحوه نمایش در معادله) Input variables (how to display in equation)					نمونه Sample
Mean b*(MB)	Standard Deviation L*(STDL)	Mean L*(ML)	Mean I(MI)		بدون پوست Skinless
Mean b*(Mb)	Entropy L*(EL)	Standard Deviation I(STDI)	Mean I(MI)	Smoothness G(SG)	با پوست With skin

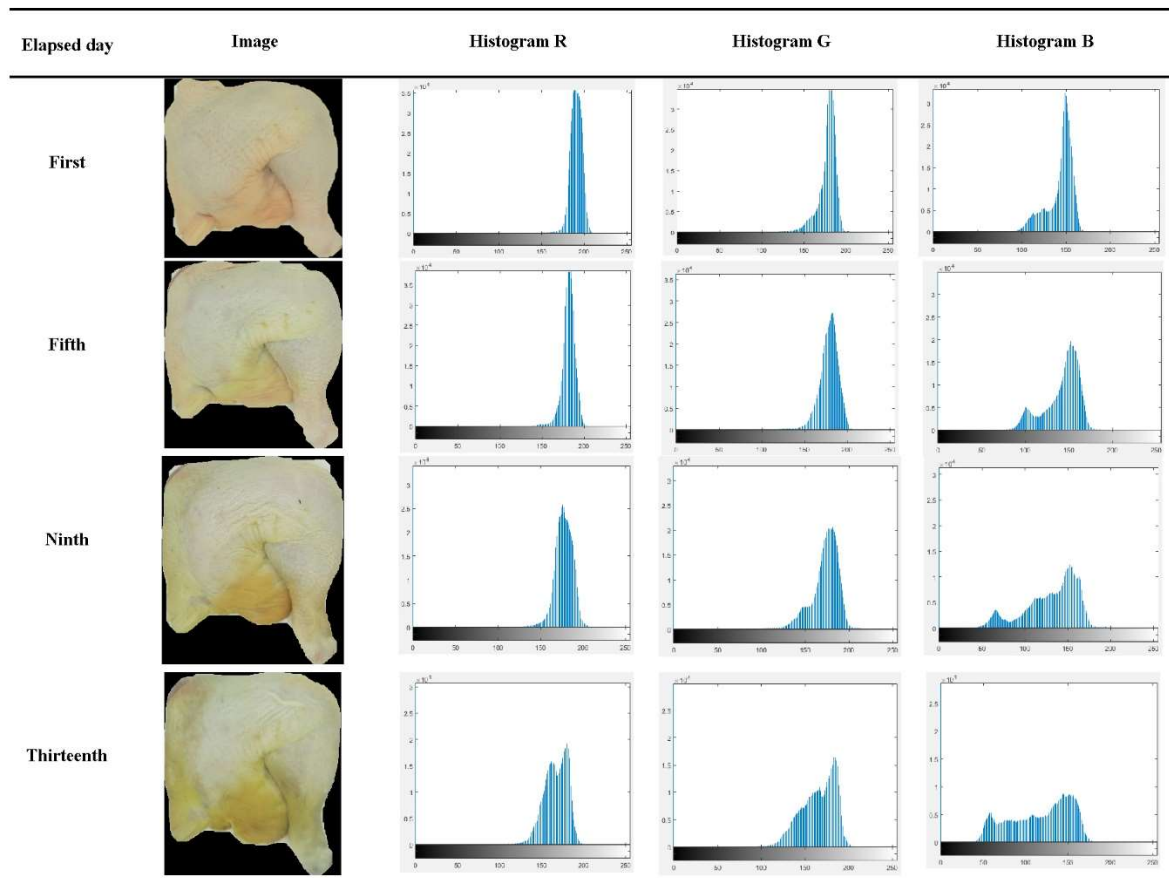
زمان سپری شده به دست آمدند که ارتباط تجربی بین پاسخ مدل و متغیرهای مستقل را نشان می‌دهند. این روابط برای هر دو روش نمونه‌گیری در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. هم‌چنین شاخص‌های آماری مورد استفاده برای بررسی اعتبار مدل‌های رگرسیونی بهینه شده در جدول (۴) ارائه شده است. مقادیر شاخص‌های آماری شامل R-Squared، Adj R-Squared، Pred R-Squared، RMSE و Press RMSE برای قسمت با پوست مرغ (بهینه شده) به ترتیب ۰/۹۰۱، ۰/۸۹۹، ۰/۸۹۸، ۲۷/۳۱ و ۲۷/۴۴ و برای قسمت بدون پوست مرغ (بهینه شده) به ترتیب ۰/۸۶۶، ۰/۸۶۵، ۰/۸۶۴، ۲۹/۶۶ و ۲۹/۷ به دست آمد. جواد کی و همکاران نیز در زمینه مشابه برای پیش‌بینی مدت زمان گذشته از ذبح، پس از تهیه تصاویر از قسمت‌های ران، سر دست و گردن گوساله نگهداری شده در دو شرایط محیطی و یخچال، با استفاده از روش آنالیز حساسیت پارامترهای کنتراست، زبری، بافت را به‌عنوان ورودی‌های موثر مدل‌های طراحی و بهینه شده انتخاب

$$y = B_0 + \sum_{i=1}^k B_i X_i + \sum_{i=1}^k B_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} B_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (13)$$

که در رابطه فوق  $X_i$  متغیرهای مستقل و  $B_i$  ضرایب مدل می‌باشند.

### ۳. نتایج و بحث

عملیات عکسبرداری در ساعات مشخص از گوشت مرغ نگهداری شده در دمای یخچال، در طی ۱۳ روز انجام گرفت. تصاویر تهیه شده به ترتیب وارد مراحل پیش پردازش، تغییر فضاهای رنگ و استخراج ویژگی‌های آماری بافت با استفاده از کانال‌های مختلف فضاهای رنگی شدند. شکل (۳) تصاویر مربوط به روند تغییرات گوشت مرغ در زمان‌های مختلف نگهداری به همراه روند تغییرات هیستوگرام کانال‌های تصاویر فضای RGB را نشان می‌دهد. با استفاده از روش آماری سطح پاسخ، معادله‌های مدل رگرسیونی و مدل رگرسیونی بهینه شده به کمک روش پله‌ای برای پیش‌بینی



شکل (۳) روند تغییرات گوشت مرغ در طول دوره نگهداری و هیستوگرام کانال‌های تصاویر RGB

Fig.3 changing process of chicken meat during storage and histogram of RGB images

جدول (۳) معادله‌های رگرسیونی به دست آمده برای بیان ارتباط ریاضی بین متغیرهای ورودی و پاسخ مدل‌ها.

**Table 3** The obtained regression equations to express the mathematical relation between the input variables and the response of the models

معادله Equation	شماره معادله Equation number	روش نمونه‌برداری Sampling method
$y = 129.99 + 126.88EL - 18.05MI - 5.99Mb + 44.97SG - 62.63STDI + 187.30EL^2 - 17.16EL * MI + 58.67EL * Mb - 1171.99EL * SG + 1108.71EL * STDI - 22.66MI^2 - 56.54MI * Mb - 209.32MI * SG + 299.82MI * STDI - 28.99Mb^2 - 227.96Mb * SG + 190.92Mb * STDI + 211.82SG^2 + 820.31SG * STDI - 1059.62STDI^2$	14	با پوست With skin
$y = 131.45 + 105.02EL - 16.29MI + 240.39EL^2 + 55.87EL * Mb - 1015.24EL * SG + 870.27EL * STDI - 31.17MI * Mb - 149.96MI * SG + 251.17MI * STDI + 19.75Mb^2 - 187.64Mb * SG + 165.87Mb * STDI + 171.94SG^2 + 781.65SG * STDI - 945.99STDI^2$	15	با پوست (بهینه شده) With skin(optimized)
$y = 181.31 - 1154.93MI + 1027.29ML - 163.27Mb + 88.22STDL - 2162.65MI^2 + 3946.05MI * ML - 724.02MI * Mb - 171.57MI * STDL - 1820.01ML^2 + 622.75ML * Mb + 252.21ML * STDL - 6.77Mb^2 - 98.29Mb * STDL + 54.8STDL^2$	16	بدون پوست skinless
$y = 181.13 - 1155.63MI + 1027.89ML - 163.51Mb + 88.31STDL - 2078.53MI^2 + 3788.49MI * ML - 676.36MI * Mb - 175.98MI * STDL - 1746.01ML^2 + 577.97ML * Mb + 256ML * STDL - 100.04Mb * STDL + 54.8STDL^2$	17	بدون پوست (بهینه شده) Skinless(optimized)

جدول (۴) شاخص‌های آماری مدل‌های سطح پاسخ مورد استفاده برای پیش‌بینی زمان سپری شده.

**Table 4** Statistical indicators of response surface models used to predict elapsed time.

شاخص‌های آماری Statistical indicators					روش نمونه‌برداری Sampling method
Press RMSE	RMSE	Pred R-Squared	Adj R-squared	R-Squared	
27.44	27.31	0.898	0.899	0.901	با پوست (بهینه شده) With skin (optimized)
29.7	29.66	0.864	0.865	0.866	بدون پوست (بهینه شده) Skinless (optimized)

افزایش یافت، اما فاکتورهای  $a^*$  و  $c^*$  آبشش ماهی کاهش یافت. آنالیز رگرسیون و روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، همبستگی بالایی را بین پارامترهای رنگی و روزهای نگهداری به دست آمد. که نتایج نشان داد که تغییرات رنگی آبشش بسیار دقیق‌تر از تغییرات رنگی چشم ماهی می‌باشد.

با توجه به مقادیر پارامترهای آماری به دست آمده در این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های مورد استفاده به خوبی همبستگی ریاضی بین متغیرهای مستقل و پاسخ فرایند در هر دو روش نمونه‌برداری را توضیح می‌دهند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ضرایب رگرسیون مدل سطح پاسخ معادله (۱۵) و میزان ضرایب در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس ضرایب رگرسیون مدل سطح پاسخ معادله (۱۷) و میزان ضرایب در جدول (۶) ارائه شده است.

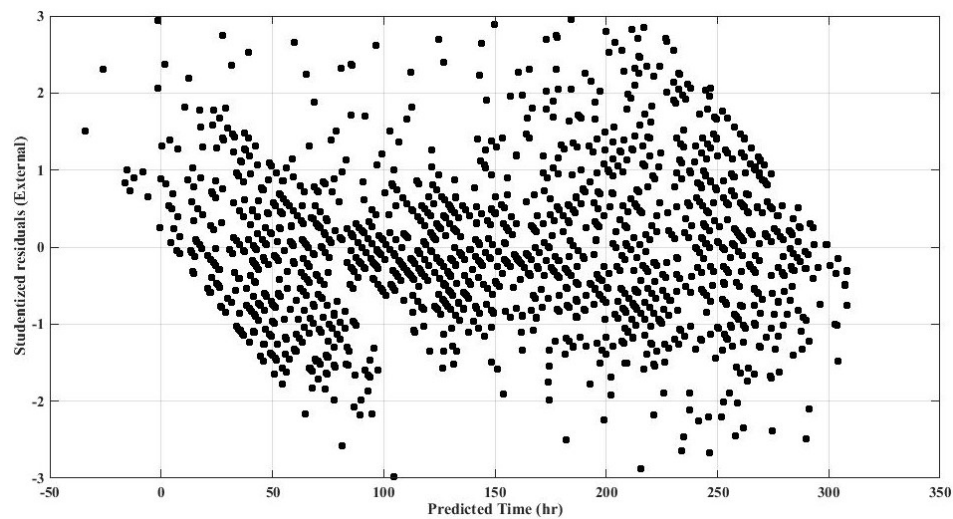
نمودند. نتایج شاخص‌های برازش  $r$ , Predicted  $r$ , Adjust  $r$ , SSE,  $r$  و MSE برای دو شرایط نگهداری محیط و یخچال به ترتیب با مقادیر ۰/۸۶۱۳، ۰/۹۷۶۶، ۰/۹۸۴۷، ۰/۰۱۲ و ۰/۲۲ برای شرایط محیطی و مقادیر ۰/۸۶۵۱، ۰/۹۱۹۴، ۰/۹۳۷۸، ۰/۰۱۴ و ۲/۶۵ برای شرایط یخچال گزارش شد. نتایج حاصل نشان داد که مدل در دو شرایط محیط و یخچال مدل مناسبی نبوده است. دولتی و همکاران [۲۳] به منظور تخمین تازگی ماهی سیم سرطلایی (Sparus aurata) با توجه به تغییر رنگ چشم و آبشش ماهی از روش بینایی ماشین استفاده کردند. بدین ترتیب که فاکتورهای  $L^*$ ،  $b^*$ ،  $\Delta E$  چشم ماهی با گذشت زمان نگهداری افزایش یافت و فاکتور  $c^*$  با گذشت زمان کاهش یافت. پارامتر  $a^*$  چشم ماهی روند مشخصی را در طول زمان نگهداری نشان نمی‌دهد. فاکتورهای  $L^*$ ،  $b^*$ ،  $\Delta E$  آبشش ماهی با گذشت زمان نگهداری



با توجه به مقدار عدد  $P$  می‌توان نتیجه گرفت در روش نمونه-برداری بدون پوست، متغیرهای  $STD_L$ ، درجه دوم  $STD_L$  و اثر متقابل  $MI*Mb$  و  $ML*Mb$  بیش‌ترین تاثیر معنی‌داری را بر زمان سپری شده دارند.

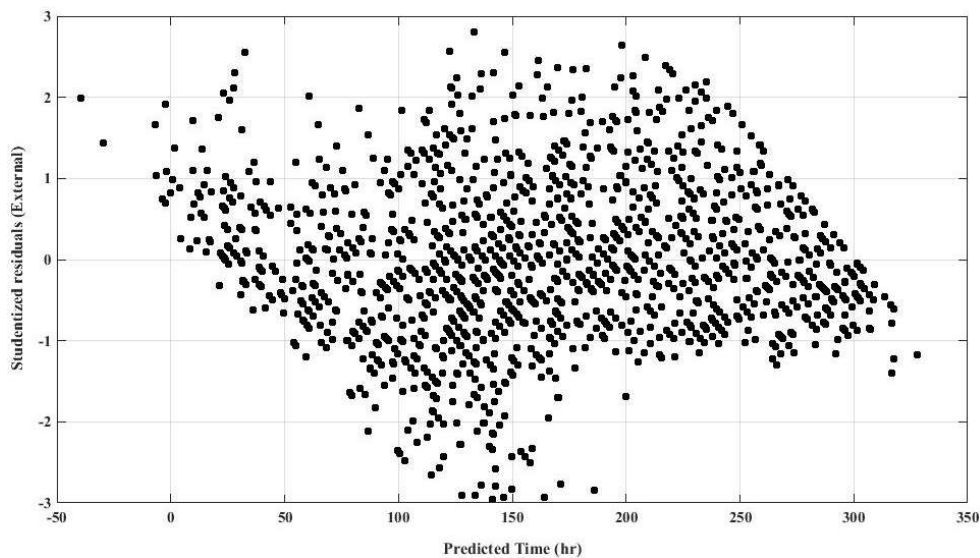
### ۱.۳. بررسی کفایت مدل‌ها

برای بررسی کفایت مدل‌های سطح پاسخ ارائه شده می‌توان از تحلیل باقی‌مانده‌ها و همچنین از نمودار احتمال نرمال برای باقی‌مانده‌ها به عنوان ابزار این بررسی استفاده کرد. اگر مدل



شکل (۴) نمودار باقی‌مانده‌ها در مقابل زمان سپری شده به عنوان متغیر پاسخ برای روش نمونه‌برداری با پوست

Fig.4 Remnants versus the elapsed time as the response variable for with skin samples



شکل (۵) نمودار باقی‌مانده‌ها در مقابل زمان سپری شده به عنوان متغیر پاسخ برای روش نمونه‌برداری بدون پوست

Fig.5 Remnants versus the elapsed time as the response variable for skinless samples

**جدول (۵)** نتایج تجزیه واریانس ضرایب رگرسیون مدل سطح پاسخ پیش‌بینی زمان سپری شده برای روش نمونه‌برداری با پوست (معادله ۴).

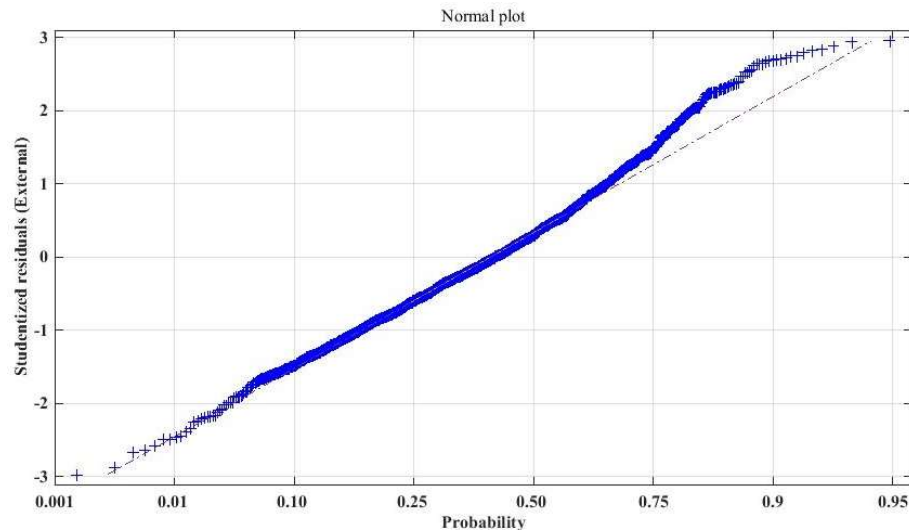
**Table 5** Results of variance analysis for regression coefficients of response surface model in predicting the elapsed time for with skin samples (Equation 4).

منبع Source	درجه آزادی df	F Value	p-value Prob > F
Model	15	762.93	< 0.0001
MI	1	35.51	< 0.0001
EL	1	117.98	< 0.0001
MI*SG	1	37.59	< 0.0001
SG*STDI	1	53.18	< 0.0001
EL*SG	1	75.70	< 0.0001
Mb*SG	1	5.32	0.0212
MI*STDI	1	2.43	0.1196
MI*Mb	1	20.10	< 0.0001
EL*STDI	1	24.42	< 0.0001
Mb*STDI	1	1.68	0.1949
EL*Mb	1	8.90	0.0029
SG <sup>2</sup>	1	6.32	0.0120
STDI <sup>2</sup>	1	53.91	< 0.0001
EL <sup>2</sup>	1	46.61	< 0.0001
Mb <sup>2</sup>	1	3.52	0.0609
Residual	1484		
Total	1499		

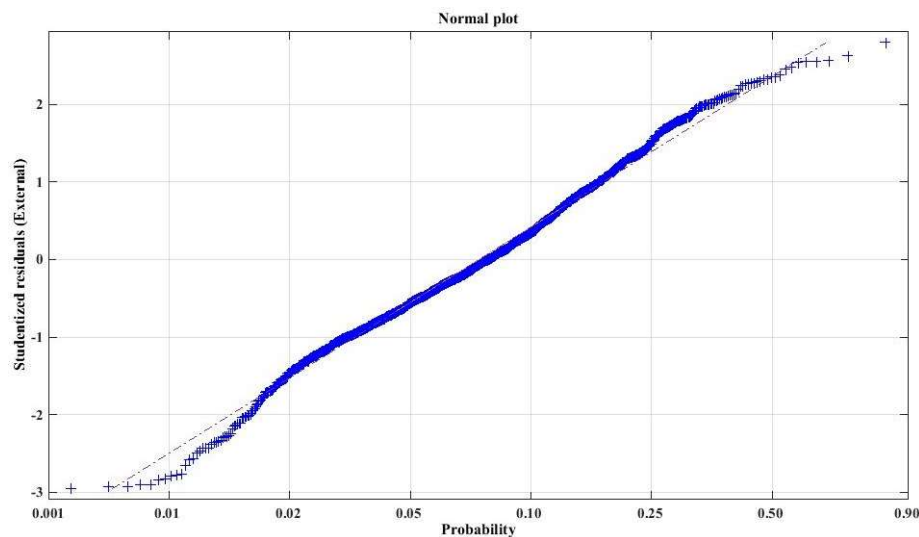
**جدول (۶)** نتایج جدول آنالیز واریانس ضرایب رگرسیون مدل سطح پاسخ پیش‌بینی زمان سپری شده برای روش نمونه‌برداری بدون پوست (معادله ۶).

**Table 6** Results of variance analysis for regression coefficients of response surface model in predicting the elapsed time for skinless samples (Equation 6).

منبع Source	درجه آزادی df	F Value	p-value Prob > F
Model	13	699.25	< 0.0001
MI	1	4.33	0.0377
ML	1	4.48	0.0344
STDL	1	21.38	< 0.0001
Mb	1	0.18	0.6722
MI*ML	1	6.02	0.0142
MI*STDL	1	5.68	0.0173
MI*Mb	1	28.11	< 0.0001
ML*STDL	1	8.54	0.0035
ML*Mb	1	27.12	< 0.0001
STD*Mb	1	9.09	0.0026
MI <sup>2</sup>	1	4.24	0.0395
ML <sup>2</sup>	1	7.97	0.0048
STDL <sup>2</sup>	1	25.58	< 0.0001
Residual	1486		
Total	1499		



شکل (۶) نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها در مقابل زمان سپری شده به عنوان متغیر پاسخ برای روش نمونه برداری با پوست  
Fig.6 The normal probability of remnants versus the elapsed time as the response variable with skin samples



شکل (۷) نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها در مقابل زمان سپری شده به عنوان متغیر پاسخ برای روش نمونه برداری بدون پوست  
Fig.7 The diagram of the normal probability of remnants versus the elapsed time as the response variable for skinless samples

#### ۴. نتیجه گیری

در مقاله حاضر یک سامانه تشخیص آنالیز و غیرمخرب به منظور تعیین زمان سپری شده از ذبح گوشت مرغ بر مبنای روش پردازش تصویر و سطح پاسخ به کار گرفته شد. شاخص‌های آماری مختلفی نظیر  $R^2$ ،  $Adj\ R^2$ ،  $Pred\ R^2$ ،  $RMSE$  و  $Press\ RMSE$  برای اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی طراحی و بهینه سازی شده با استفاده از روش سطح پاسخ محاسبه شد. مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب ۰/۸۹۹، ۰/۸۹۸، ۰/۸۶۶، ۰/۸۶۵، ۰/۸۶۴، ۰/۸۶۶، ۰/۸۶۶ و ۰/۸۶۶ برای قسمت بدون پوست مرغ (بهینه شده) با قسمت بدون پوست مرغ (بهینه شده) به دست آمدند. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های پردازش تصویر و سطح پاسخ به عنوان روش‌های آنالیز و قابل اعتماد توانستند با دقت مناسبی مدت زمان سپری شده از ذبح گوشت مرغ را تشخیص دهند.

در مقاله حاضر یک سامانه تشخیص آنالیز و غیرمخرب به منظور تعیین زمان سپری شده از ذبح گوشت مرغ بر مبنای روش پردازش تصویر و سطح پاسخ به کار گرفته شد. شاخص‌های آماری مختلفی نظیر  $R^2$ ،  $Adj\ R^2$ ،  $Pred\ R^2$ ،  $RMSE$  و  $Press\ RMSE$  برای اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی طراحی و بهینه سازی شده با استفاده از روش سطح پاسخ محاسبه شد. مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب ۰/۸۹۹، ۰/۸۹۸، ۰/۸۶۶، ۰/۸۶۵، ۰/۸۶۴، ۰/۸۶۶ و ۰/۸۶۶ برای قسمت بدون پوست مرغ (بهینه شده) با قسمت بدون پوست مرغ (بهینه شده) به دست آمدند. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های پردازش تصویر و سطح پاسخ به عنوان روش‌های آنالیز و قابل اعتماد توانستند با دقت مناسبی مدت زمان سپری شده از ذبح گوشت مرغ را تشخیص دهند.

## منابع

- تخمین تازگی گوشت مرغ مبتنی بر تکنیکهای پردازش تصویر و هوش مصنوعی. مهندسی بیوسیستم/ایران، دوره ۴۸، شماره ۴، ص ۵۰۳-۴۹۱.
- [۱۳] جوادی کیا، ح؛ قاسمی ورنامخواستی، م؛ سبزی، س. (۱۳۹۶). تشخیص تازگی گوشت گوساله به کمک پردازش تصویر و سطح پاسخ. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی/ایران، جلد ۱۳، شماره ۲، ص ۲۶۱-۲۵۱.
- [15] Shi, Z., He, L. (2010). Application of neural networks in medical image processing, In: Proceedings of the 2nd International Symposium on Networking and Network Security, (pp. 2-4), *Jinggangshan*, China.
- [16] García-Mateosa, G., Hernández-Hernández, J.L., Escarabajal-Henarejos, D., Jaén-Terrones, S. Molina-Martínez. J.M. (2015). Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management, applications, *Agric. Water Manag.*, 151, 158-166.
- [17] Zhou, X., Yuan, J. & Liu, H. (2015). A Traffic Light Recognition Algorithm Based On Compressive Tracking. *Int. J. Hybrid Inf. Technol.*, 8(6), 323-332.
- [18] Rotaru, C., Graf, T., & Zhang, J. (2008). Color image segmentation in HSI space for automotive applications. *J. Real Time Image Pr.*, 3(4), 311-322.
- [19] Dowlati, M., Mohtasebi, S. S., de la Guardia, M. (2012). Application of machine-vision techniques to fish-quality assessment, *Trends Analyt. Chem.*, 40, 168-179.
- [20] Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J. (2006). Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital image. *Food Res. Int.*, 39 (10), 1084-1091.
- [21] Forsyth, D., Ponce, J. (2003). *Computer Vision: A Modern Approach*. Prentice Hall, New Jersey.
- Forsyth, D. A., & Ponce, J. (2003). A modern approach. *Computer vision: a modern approach*, 88.
- [22] Hosseinpour, S., Rafiee, Sh., Mohtasebi, S.S., Aghbashlo, M. (2013). Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying. *J. Food Eng.*, 115 (1), 99-114.
- [23] Dowlati, M., Mohtasebi, S. S., Omid, M., Razavi, S. H., Jamzad, M., & De La Guardia, M. (2013). Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill and eye color changes. *J. Food Eng.*, 119(2), 277-287.
- [1] Ellis, D. I., & Goodacre, R. (2001). Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of muscle foods: Current status and future trends. *Trends Food Sci. Technol.*, 12, 414-424.
- [2] Kamruzzaman, M., ElMasry, G., Sun, D.-W., Allen, P. (2012). Prediction of some quality attributes of lamb meat using near-infrared hyperspectral imaging and multivariate analysis, *Anal. Chim. Acta.*, 714, 57-67.
- [3] Cai, J., Chen, Q., Wan, X., Zhao, J. (2011). Determination of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content and Warner-Bratzler shear force (WBSF) in pork using Fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy. *Food Chem.*, 126, 1354-1360.
- [4] Tao, F., Peng, Y., Li, Y., Chao, K., Dhakal, S. (2012). Simultaneous determination of tenderness and *Escherichia coli* contamination of pork using hyperspectral scattering technique. *Meat Sci.*, 90, 851-857.
- [5] Xiong, Z., Sun, D.-W., Pu, H., Xie, A., Han, Z., Luo, M. (2015). Non-destructive prediction of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value for freshness evaluation of chicken meat using hyperspectral imaging. *Food Chem.*, 179, 175-181.
- [6] Ramirez, R., Cava, R. (2007). The crossbreeding of different Duroc lines with the Iberian pig affects colour and oxidative stability of meat during storage. *Meat Sci.*, 77, 339-347.
- [7] Li, H., Kutsanedzie, F., Zhao, J., & Chen, Q., (2016). Quantifying Total Viable Count in Pork Meat Using Combined Hyperspectral Imaging and Artificial Olfaction Techniques. *Food Anal. Method.*, 9(11), 3015-3024.
- [8] Chmiel, M., Słowinski, M. (2016). The use of computer vision system to detect pork defects. *LWT-Food Sci. Technol.*, 73, 473-480.
- [9] Ma, J., Sun, D.-W., Qu, J.-h., Liu, D., Pu, H., Gao, W.-h., Zeng, X.a. (2015). Applications of computer vision for assessing quality of agri-food products: a review of recent research advances. *Food Sci. Nutr.*, 56(1): 113-127.
- [10] Amza, C. G., Cicic, D. T. (2015). Industrial image processing using fuzzy-logic. *Procedia Eng.*, 100, 492-498.
- [۱۱] کارگذاری، م. (۱۳۸۶). بهینه‌سازی خشک کردن اسمزی هویج با استفاده از روش سطح پاسخ. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.
- [۱۲] فتاحی، س؛ طاهری گراوند، ا؛ شهبازی، ف.ا. (۱۳۹۶).



- [24] Khulal, U., Zhao, J., Hu, W., & Chen, Q. (2016). Nondestructive quantifying total volatile basic nitrogen (TVB-N) content in chicken using hyperspectral imaging (HSI) technique combined with different data dimension reduction algorithms. *Food Chem.*, 197, 1191-1199.
- [25] Montgomery, DC. Design and analysis of experiments. 2017. *Jon wiley and sons*, pp 489-558.