

پایش تازگی گوشت قرمز با استفاده از ترکیب طیف‌نگاری دی‌الکتریک و پردازش تصویر

امیر علی صادقپور اصفهانی^۱، مجتبی نادری بلداجی^{۲*}، مهدی قاسمی ورنامخواستی^۳ و بهرام حسین زاده سامانی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۸/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۸/۲۱)

چکیده

با توجه به اهمیت کیفیت گوشت و سایر مواد غذایی مورد مصرف روزانه در رشد و سلامت جامعه انسانی، توسعه سامانه‌های تشخیص و پایش کیفیت مواد غذایی بیش از پیش مورد توجه محققین می‌باشد. در این مطالعه ۴۰ نمونه گوشت گوساله در طی پنج روز ماندگاری در دمای پنج درجه سانتیگراد مورد تصویربرداری ماکروسکوپی و طیف‌نگاری توان دی‌الکتریک در ۲۰ فرکانس از بازه ۱۰۰-۵ MHz قرار گرفت. فرضیه مطالعه بر این اساس بود که با ترکیب دو روش مذکور حجم اطلاعات مفید حاصل از تغییرات فیزیکی و شیمیایی گوشت به واسطه ماندگاری افزایش می‌یابد. در هر بار آزمایش مجموعاً ۴۲ ویژگی (توان دی‌الکتریک در ۲۰ فرکانس مختلف بین ۱۰۰-۵ MHz و ویژگی بافتی و رنگی تصویر) از هر نمونه استخراج شد. طبقه‌بندی روز ماندگاری گوشت با استفاده از متغیرهای دی‌الکتریک و تصویر با اعمال پنج الگوریتم شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون (MLP)، رگرسیون منطقی چند جمله‌ای (MRL)، درخت‌های کاربردی (FT)، درخت‌های مدل منطقی (LMT) و روش تجمیعی بگینگ (Bagging) انجام گرفت. نتایج نشان داد که توان دی‌الکتریک در فرکانس‌های مختلف با افزایش ماندگاری تا روز پنجم کاهش یافت به طوری که برای مثال از ۲۵۰ میکرو وات در فرکانس پنج مگاهرتز در روز اول به ۱۰۰ میکرو وات در همین فرکانس در روز پنجم رسید. همچنین نتایج طبقه‌بندی نشان داد که متغیرهای تصویر گوشت به تنهایی بیشتر از متغیرهای دی‌الکتریک گوشت در طبقه‌بندی روز ماندگاری موثر هستند اما با تجمیع این دو منبع اطلاعات حسگری و اعمال تکنیک کاهش بعد به روش مولفه‌های اصلی (PCA) بر روی تمام ویژگی‌ها، دقت طبقه‌بندی ۷۸٪ برای الگوریتم درخت‌های کاربردی (FT) و ۷۷٪ برای طبقه‌بند ترکیبی بگینگ (Bagging) با رده‌بند پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: تازگی گوشت، حسگر ترکیبی، پردازش تصویر، طیف‌نگاری دی‌الکتریک

مقدمه

مواد معدنی نظیر فسفات‌ها و سولفات‌ها و ویتامین‌ها بخصوص ویتامین‌های گروه B و هیدرات کربن (گلیکوژن) نشان‌دهنده ارزش و اهمیت این فرآورده مهم در تغذیه انسان است (Nikzade & Sedaghat, 2013).

کیفیت گوشت تابع خصوصیات فیزیکی (مانند مقاومت مکانیکی بافت گوشت، قدرت هدایت الکترولیت و امپدانس گوشت)، شیمیایی و بیوشیمیایی (مانند pH و ظرفیت اکسید و احیا در گوشت)، مورفولوژیکی، میکروبی، ذائقه، بهداشت و آشپزی است. شاخص‌های کیفیت گوشت از نظر مصرف‌کننده شامل کیفیت خوراکی (ظاهر، بافت، آبدار بودن و طعم)، راحتی تأمین (قابلیت دسترس در بازار و سهولت تهیه خوراک)، دوام (مدت زمان نگهداری و حفظ کیفیت)، سلامت و خلوص و ارزش غذایی (مواد مغذی و ارزش کالریک) است (Beyki-

گوشت حاصل از کشتار چهارپایان اهلی حلال گوشت مانند گاو، گاو میش، گوسفند، بز و شتر به علت غنی بودن از میوگلوبین^۱ به رنگ قرمز- صورتی بوده و گوشت قرمز نامیده می‌شود (Shekar-Forush et al., 2012). گوشت یکی از مهم‌ترین منابع پروتئین حیوانی محسوب می‌شود. غنی بودن گوشت از پروتئین‌های ارزشمند حاوی اسیدهای آمینه ضروری نظیر هیستیدین، ایزولوسین، لوسین، متیونین، تریپتوفان، همچنین اسیدهای چرب نظیر اسید لینولئیک، اسید لینولنیک و اسید آراشیدونیک،

* نویسنده مسئول: Naderi.mojtaba@agr.sku.ac.ir

1. Myoglobin

گوشت (مانند تازگی، تردی و میزان چربی)، طبقه‌بندی کیفی (مانند گوشت‌های PSE^۱، DFD^۲ و RFN^۳)، تشخیص گوشت منجمد، آلودگی شیمیایی و فعالیت‌های میکروبی استفاده شده است (Damez & Clerjon, 2013). گوشت‌ها و ماهی‌های گوناگون، شامل گوشت خام گاو و خوک، چربی گوشت خوک و گاو، کدپیش و شاه‌ماهی در فرکانس‌های رادیویی از ۱۰ تا ۱۰۰ مگاهرتز توسط Ohlsson *et al.* (1974) ارزیابی کیفی شد.

ویژگی‌های دی‌الکتریک مواد غذایی تحت تاثیر میزان رطوبت، دانسیته، تراکم و ساختار، فعالیت آبی، دما و فرکانس میدان الکتریکی اعمال شده می‌باشد (Sipahiolu *et al.*, 2003; Guan *et al.*, 2004). همانند تمام بافت‌های بیولوژیک، گوشت نیز زمانی که در معرض میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، ویژگی‌های الکتریکی آن تحت تاثیر عوامل اشاره شده در بالا متفاوت خواهد بود (Reese, 2000). ساختار و ترکیبات گوناگون گوشت، منجر به تفاوت در خواص الکتریکی گوشت می‌شود. برای مثال خون و مغز هدایت الکتریکی بالایی دارند، ولی در مقابل، ریه‌ها، پوست و استخوان هدایتشان ضعیف است. در این بین جگر، طحال و ماهیچه از هدایت و رسانایی متوسط برخوردارند (Miklavcic *et al.*, 2006). مطالعات گذشته نشان می‌دهند که خاصیت دی‌الکتریک مواد غذایی با مواد جامد محلول، سفتی و رطوبت موجود در آن‌ها مرتبط است و در نتیجه برای گوشت قرمز نیز می‌توان با اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک کیفیت و تازگی گوشت را پایش نمود.

برای مصرف کننده ارتباط مستقیمی بین رنگ گوشت و تازگی و کیفیت آن برقرار است. رنگ گوشت تحت تاثیر عواملی چون سن دام، جنسیت، گونه، رژیم غذایی، چربی داخل عضله، میزان رطوبت و شرایط قبل و بعد از کشتار است (Beyki- Bandarabadi, 2005). کیفیت و درجه مقبولیت گوشت از راه تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، به ویژه رنگ و ترکیب چربی آن مشخص می‌شود (Wood *et al.*, 2004). اگر بوی گوشت قابل تشخیص نباشد، رنگ مهم‌ترین سنجه مؤثر بر انتخاب گوشت توسط مصرف کنندگان است (Martinez-Cerezo *et al.*, 2005). رنگ قرمز روشن در گوشت بستگی به میزان تشکیل اکسی میوگلوبین، عامل کیفی مثبت گوشت، دارد. در حالی که عامل اصلی تغییر رنگ گوشت تازه، مربوط به تشکیل مت-میوگلوبین^۴ است که در سطوح گوشت کم چرب مشاهده

(Bandarabadi, 2005). به طور کلی ۵ عامل مزه، بافت، آبدار بودن، ظاهر و رنگ از جمله فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت گوشت می‌باشند (Takahashi, 1996).

با توجه به اهمیت کیفیت گوشت و اثر آن در رشد و سلامت جامعه انسانی، توسعه سیستم‌های تشخیص کیفیت گوشت بسیار با اهمیت می‌باشد. Damez & Clerjon (2008) روش‌های ارزیابی کیفیت گوشت را به ۵ روش کلی شامل روش‌های مکانیکی، نوری، تشدید مغناطیسی هسته‌ای، اندازه‌گیری پرتو ایکس و روش خازنی دسته‌بندی کردند. روش‌های مکانیکی ابزاری اغلب مخرب و تهاجمی، روش‌های نوری نیازمند آماده‌سازی نمونه و تحلیل‌های پیچیده و روش‌های تشدید مغناطیسی گران قیمت هستند (Damez & Clerjon, 2008). با این حال، کمتر پژوهشی در خصوص تشخیص کیفیت گوشت با استفاده از روش‌های حسگری ترکیبی یافت می‌شود. ترکیب دو روش پردازش تصویر و دی‌الکتریک در خصوص تشخیص کیفیت گوشت تا کنون گزارش نشده که در این مطالعه و با یک نوآوری ویژه، مد نظر می‌باشد. در روش سنتی، کیفیت گوشت را از طریق ارزیابی بصری از ویژگی‌های خاصی از لاشه، مانند چربی عضلانی، رنگ عضله مورد مطالعه، و بلوغ اسکلتی آن می‌سنجند (Liyun *et al.*, 2008). توقع روزافزون مصرف کنندگان به دستیابی به مواد غذایی با کیفیت بالا و دارای استانداردهای ایمنی، نیاز به تکنیک‌های بازرسی سریع و اقتصادی جایگزین روش‌های سنتی کنترل کیفیت را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

در میان روش‌های غیرمخرب، روش دی‌الکتریک (خازنی) به دلیل مزایایی همچون ارتباط مقادیر ثابت دی‌الکتریک با برخی مؤلفه‌های کیفی محصول مانند رطوبت، سرعت اندازه‌گیری بالا (Nelson, 2005)، هزینه کمتر در مقایسه با بسیاری از روش‌های غیرمخرب دیگر، و کارایی بالا در صنعت (Soltani *et al.*, 2011) مانند طراحی و ساخت سامانه‌های فراوری و کنترل کیفیت محصولات، توجه محققین بسیاری را در دو دهه اخیر جلب کرده است (Guo *et al.*, 2011; Mckeown *et al.*, 2012). طیف‌نگاری دی‌الکتریک، در بازه‌های میکروویو (MW) و رادیوفرکانس (RF) برای آگاهی از کیفیت و کمیت برخی فراوری‌ها مانند اندازه‌گیری سطح شوری، تشخیص ترکیبات و اجزاء افزوده شده و تعیین کیفیت در گوشت استفاده شده است (Castro-Giráldez *et al.*, 2010a; 2010b). بیشتر تحقیقات در مطالعه خصوصیات گوشت با استفاده از روش‌های دی‌الکتریک در فرکانس‌های پایین گزارش شده است. تغییرات امپدانس در بازه فرکانسی kHz تا MHz، جهت تشخیص جنبه‌های کیفی

۱. گوشت نرم، رنگ پریده و آبی

۲. گوشت خشک، سفت و تیره

۳. گوشت طبیعی

ظاهری برخی تغییرات داخلی فیزیکی - شیمیایی مانند از دست دادن رطوبت و یا فساد در اثر برخی فعل و انفعالات شیمیایی را پایش نماید. لذا فرضیه این مطالعه مبنی بر قابلیت بالاتر ترکیب دو روش تصویربرداری و طیف‌نگاری دی‌الکتریک در بیان تغییرات فیزیکی - شیمیایی گوشت به واسطه ماندگاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سامانه اندازه‌گیری ترکیبی تصویر برداری-دی‌الکتریک

در این مطالعه پس از سعی و خطای زیاد در خصوص توسعه روش اندازه‌گیری توام تغییرات دی‌الکتریک و تصویر، طرحواره نشان داده شده در شکل ۱ بکار گرفته شد. در این سامانه، پنج حسگر خازنی صفحه موازی با ابعاد 20×40 mm با فاصله بین صفحات 20 mm ساخته شد. صفحات از جنس آلومینیوم با ضخامت 0/2 mm بر روی یک فریم چوبی نصب و عایق شد. هر حسگر خازنی از طریق کابل هم محور با امپدانس مشخصه 50Ω به دستگاه مولد موج (Ag-4151, Owon, Hong Kong) و دستگاه تحلیل‌گر طیف (GSP-827, GW Instek, Taiwan) متصل شد. در 5 روز برای هر نمونه، فرکانس بین 5-100 MHz جاروب و توان دی‌الکتریک در 20 فرکانس توسط نرم افزار الحاقی تحلیل‌گر طیف (Egleshot) ثبت گردید. خروجی حاصل از حسگرهای دی‌الکتریک به شکل طیف‌های توان دی‌الکتریک بر حسب فرکانس می‌باشد. توان یک حسگر خازنی صفحه موازی با رابطه ۱ بیان می‌شود (Bagheri, 2014; Naderi-Boldaji et al., 2015; Mireei et al., 2016):

$$P = (8.854 \times 10^{-12}) \pi \epsilon_r V^2 f \frac{A}{D}$$

(رابطه ۱)

که در آن P توان خازن (W)، V ولتاژ خازن (V)، A مساحت صفحات خازن (m^2)، D فاصله میان صفحات (m)، f فرکانس (Hz) و ϵ_r گذردهی نسبی (گذردهی ماده دی‌الکتریک نسبت به هوا) است. رابطه ۱ نشان می‌دهد که در یک ولتاژ ثابت، توان یک خازن صفحه موازی تابعی از مشخصات هندسی حسگر، ضریب گذردهی مختلط و فرکانس است. از این رو اندازه‌گیری توان به عنوان تابعی از فرکانس می‌تواند اطلاعاتی در مورد خواص دی‌الکتریک ارائه دهد (Naderi-Boldaji et al., 2015; Mireei et al., 2016). توان دی‌الکتریک شامل دو بخش توان ذخیره شده در اثر جهت‌گیری مولکول‌های دو قطبی با میدان الکتریکی اعمال شده و توان تلف شده در اثر تبدیل انرژی به حرارت می‌باشد. توان ذخیره شده با ثابت دی‌الکتریک ماده و توان اتلافی با فاکتور افت یا بخش موهومی ضریب مختلط دی-

می‌شود. در سرعت تشکیل مت‌میوگلوبین در وهله اول، عوامل داخلی گوشت مؤثرند، لیکن طی شرایط پس از کشتار، این عوامل تغییر کرده و پس از آن، مدت زمان نگهداری گوشت تحت تاثیر برخی عوامل خارجی نظیر درجه حرارت محیط، نور و درصد اکسیژن اتمسفر قرار می‌گیرد (Movahed, 2011). دما و pH لاشه پس از مرگ بر تغییر ماهیت پروتئین‌ها (تقلیب پروتئین^۱) و تغییر رنگ آن مؤثر است. در pH بالای 6، تقلیب پروتئین حداقل است و عضله شفاف و براق به نظر می‌رسد در حالی که در pH پایین‌تر از 6، تقلیب پروتئین بالا بوده و رنگ گوشت کدر می‌شود. دمای محیطی کم یا زیاد و استرس دام‌ها در زمان بارگیری و حمل و نقل آن‌ها موجب کاهش رنگ عضله دام می‌شود (Beyki-Bandarabadi, 2005).

پیشرفت‌های اخیر در روش‌های تشخیص کیفی مواد غذایی، سامانه‌های ماشین بینایی^۲ را به عنوان یک روش کارآمد در تعیین کیفیت فرآورده‌های گوشت مطرح کرده است. تکنیک آنالیز تصاویر یک راه حل مناسب و کاربردی در تعیین کیفیت گوشت بوده و تحقیقات گسترده‌ای در این رابطه صورت گرفته است که نتایج آن نشان می‌دهد پردازش تصویر یک ابزار مفید برای نمایش میزان رنگ ظاهری و پیرو آن کیفیت گوشت می‌باشد (Chen & Qin, 2008). Tan (2004) در مقاله‌ای نتایج تحقیقات استفاده از پردازش تصویر در ارزیابی کیفیت گوشت و پیش‌بینی درجه کیفی آن در چند سال اخیر را جمع‌آوری نموده است. برای امتیازدهی قطعات گوشت ماهیچه از پردازش تصویر بر پایه رنگ استفاده شد. در این پژوهش در دو فضای RGB و HSI میانگین و واریانس مقادیر رنگی محاسبه شده است (Tan et al., 2000). مطالعات فراوان دیگری تا کنون جهت ارزیابی کیفی گوشت دام‌های مختلف با استفاده از آنالیز ویژگی‌های تصویر انجام گرفته است (Li et al., 2001; Park & Chen, 2001; Cernadas et al., 2005; Chandraratne et al., 2006).

بررسی منابع نشان می‌دهد که ترکیب دو روش دی‌الکتریک و تصویربرداری ماکروسکوپی جهت ارزیابی کیفیت گوشت تا کنون به طور همزمان و مرتبط با هم استفاده نشده است. لذا هدف اصلی این مطالعه ارزیابی و پایش تازگی گوشت با ترکیب دو روش تصویربرداری و طیف‌نگاری دی‌الکتریک می‌باشد. با توجه به اینکه آنالیز تصاویر مشخصه‌های ظاهری گوشت در اثر ماندگاری را بخوبی بازتاب نموده، ترکیب با اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک می‌تواند علاوه بر خصوصیات

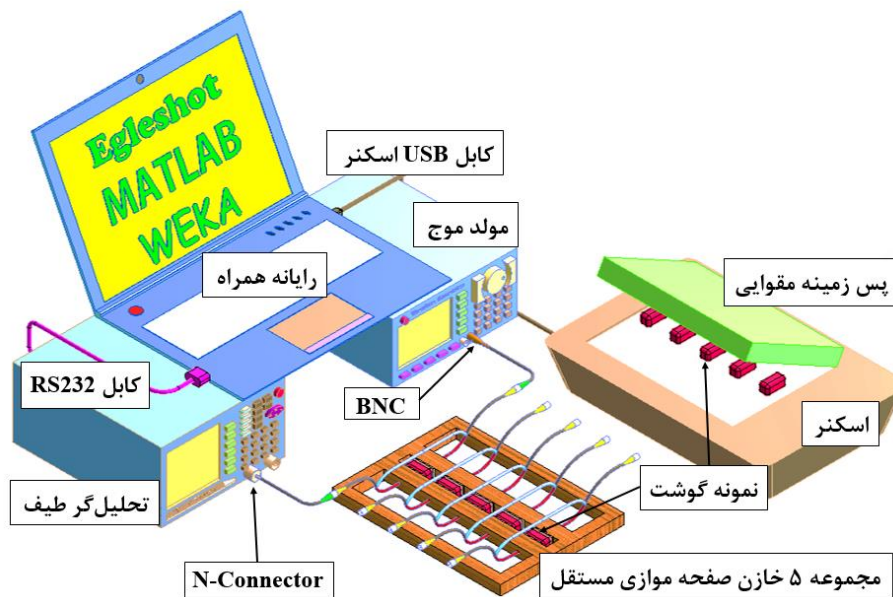
1. Protein denaturation

2. Machine vision systems

الکترونیک و فاکتور افت نیاز به تجهیزات اندازه‌گیری گران قیمت مانند تحلیل‌گر بردار دارد. در مطالعات دیگر نیز این روش برای اندازه‌گیری غیرمخرب رطوبت خرما (Bagheri, 2014; Mireei) (Naderi-Boldaji *et al.*, 2016)، غلظت قند ساقه نیشکر (Naderi-Boldaji *et al.*, 2015)، تشخیص تازگی شیر (Ghatre-Samani *et al.*, 2017) و تشخیص تقلب در شیر (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2017) استفاده شده است که نتایج بسیار مطلوبی نشان داده است.

الکترونیک ارتباط دارد. این روش اندازه‌گیری توسط Naderi-Boldaji *et al.* (2015) طیف‌نگاری توان دی‌الکترونیک^۱ نام‌گذاری شد. اساساً این روش اندازه‌گیری ساده و کم‌هزینه بوده و با ترکیبی از یک مولد تابع و تحلیل‌گر طیف قابلیت بکارگیری دارد. این در حالی است که اندازه‌گیری مستقل ضریب دی-

۱. Dielectric power spectroscopy



شکل ۱. طرحواره سامانه اندازه‌گیری توأمان توان دی‌الکترونیک و تصویربرداری گوشت

آزمایش انجام شد که با توجه به ظرفیت سامانه اندازه‌گیری، در هر بار ۵ زوج نمونه (یکی برای دی‌الکترونیک و دیگری برای تصویربرداری) آزمون شد. برای هر دوره آزمایش، گوشت (راسته) گوساله تازه از قصابی مورد اطمینان داخل شهر تهیه و پس از جداسازی چربی‌های سطحی به ۱۰ قطعه کوچکتر بریده شد. هر قطعه که حجمی حدود ۱۶ سانتی‌متر مکعب (۲×۴×۲) و وزنی حدود ۱۲ گرم داشت، به مدت ۵ روز در یخچال (در دمای ۵ °C و رطوبت نسبی ۳ ± ۸۱ درصد) نگهداری شده و فقط در زمان اندازه‌گیری بیرون آورده می‌شد. در مجموع از ۴۰ نمونه تهیه شده، به طور تصادفی ۲۰ نمونه گوشت، برای اندازه‌گیری دی‌الکترونیک و ۲۰ نمونه گوشت باقیمانده جهت تصویربرداری انتخاب شدند. ملاحظاتی که در این مطالعه جهت انجام داده-برداری اتخاذ شد عبارتند از: ۱- نمونه‌ها از یک قسمت دام (راسته) تهیه شد تا تغییرات بیولوژیکی نمونه‌ها علاوه بر شرایط زمانی و دمایی، در شرایط بافتی یکسانی صورت گیرد، ۲- برای آزمون دی‌الکترونیک، حجم بین صفحات به طور کامل با نمونه گوشت پر شد و در طول آزمایش نیز نمونه‌ها در یک جهت ثابت

برای تصویربرداری از نمونه‌های گوشت در طی ماندگاری از یک دستگاه اسکنر (Hp, G-3110) استفاده شد. تصاویر رنگی با فرمت tiff و رزولوشن ۳۰۰ dpi در رایانه همراه ذخیره شد. سیستم‌های پردازش تصویر سیستم‌هایی نسبتاً گران قیمت هستند که از شرایط نورپردازی خارجی تأثیر می‌پذیرند و به همین دلیل جهت راه‌اندازی نیازمند افراد مجرب می‌باشند (Dalen, 2004). با توجه به قیمت مناسب، دسترسی آسان به اسکنر و همچنین مستقل بودن شرایط تصویرگیری از نور محیط و در نتیجه تسهیل شرایط تهیه تصویر و کاهش خطای ناشی از آماده‌سازی محیط، اسکنر می‌تواند وسیله مناسبی برای تهیه تصاویر اولیه باشد (Emadzade *et al.*, 2008).

روش تهیه نمونه و داده‌برداری

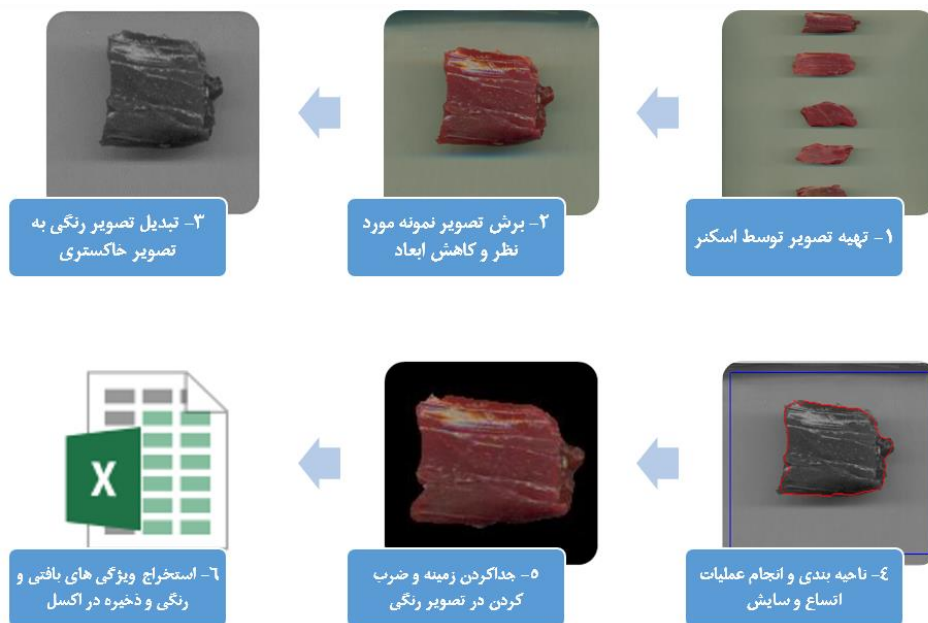
برای تشخیص روز ماندگاری نمونه‌های گوشت گوساله، تا پنج روز متوالی پس از کشتار (هر ۲۴ ساعت)، اندازه‌گیری‌های دی-الکترونیک - تصویربرداری انجام شد. چون پس از ۵ روز، فساد گوشت به وضوح با حواس انسان قابل مشاهده است، ادامه آزمون پس از ۹۶ ساعت متوقف گردید. برای این مطالعه ۴ دوره

به تصاویر سطح خاکستری و باینری تبدیل شد. عملیات اتساع و سایش، لبه‌یابی و بخش‌بندی در تصویر باینری (صفر و یک)، جهت تمییز نمونه از پس زمینه انجام شد. با ضرب کردن ماتریس سه بعدی تصویر رنگی در ماتریس دو بعدی تصویر باینری، تصویر نمونه با فضای رنگ RGB از زمینه سیاه جدا و با مرکز یابی سطح نمونه و در نظر گرفتن ابعاد نمونه، چیده (Crop) شد تا حجم آن کاهش یابد. در نهایت هر تصویر جهت انجام استخراج ویژگی‌ها با فرمت jpg، رزولوشن ۹۶ dpi و ابعاد ۲۷۳×۱۷۳ پیکسل آماده و ذخیره شد. شکل ۲ مراحل گام به گام پردازش تصاویر را نشان می‌دهد.

مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند زیرا پاسخ دی‌الکتریک نسبت به مقدار دی‌الکتریک هوا و جهت فیبر گوشت، حساس است و در هر بار تعویض و قرار دادن نمونه بین صفحات پاسخ تغییر می‌کند و ۳- چون ثابت ماندن نمونه بر روی شیشه اسکنر لکه ایجاد می‌کند و بر کیفیت تصویر اثر نامطلوب دارد، نمونه‌های گوشت داخل ظروفی کوچک در یخچال در دمای ۵ درجه نگهداری و برای هر بار تصویربرداری، از ظرف خارج و بر روی اسکنر قرار داده شد.

پیش پردازش داده‌ها، پردازش اصلی تصاویر و استخراج ویژگی‌ها

تصاویر رنگی، در نرم افزار MATLAB 2013، پس از فراخوانی



شکل ۲. مراحل پردازش تصویر گوشت گوساله

(رابطه ۲)

$$ERI = (2 \times R) - G - B$$
 با جابه‌جایی رنگ‌ها در رابطه ۲، EGI^2 و EBI^2 نیز به دست می‌آیند. در کنار تغییرات سطح رنگ گوشت که در اثر گذشت زمان، تیرگی آن بیشتر می‌گردد، با استفاده از ماتریس هم‌اتفاقی سطوح خاکستری^۴ نیز که شامل تغییرات مقادیر کنتراست، آنتروپی، انرژی، همگنی، میانگین سطح خاکستری، انحراف معیار، واریانس، گشتاور مرتبه سوم، همبستگی،

با دو روش هیستوگرام شدت رنگ و تحلیل بافت تصویر به استخراج ویژگی‌های تصاویر نمونه‌های گوشت در طول مدت زمان نگهداری پرداخته شد. علاوه بر فضای رنگ RGB از فضای رنگی Lab و HSV که به درک بینایی انسان نزدیک‌تر هستند برای بررسی تغییرات شدت رنگ گوشت استفاده شد. از شاخص رنگ شدت یافته (ERI^1)، که معرف خوبی برای تغییرات رنگ است نیز استفاده شد. این شاخص برای رنگ قرمز از مدل RGB از رابطه ۲ به دست می‌آید:

2. Excessive green index

3. Excessive blue index

4. GLCM

1. Excessive red index

یکنواختی و همواری می‌باشد در هر بار آزمایش، خصوصیات بیشتری از بافت تصویر هر نمونه به دست آمد.

خروجی اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک، توان دی‌الکتریک نمونه بر حسب dBm است که ابتدا به μW تبدیل شد. به دلیل برخی تفاوت‌های فیزیکی اولیه (برای مثال میزان رطوبت) در نمونه‌های گوشت، مشاهده شد که توان دی‌الکتریک در روز اول اندازه‌گیری برای نمونه‌ها یکسان نیست که این امر پردازش‌های بعدی جهت کلاس‌بندی زمان ماندگاری با استفاده از داده‌های دی‌الکتریک را با مشکل مواجه نمود. جهت نرمال‌سازی داده‌های توان دی‌الکتریک از نمونه‌های مختلف، همه مقادیر توان تقسیم بر توان در فرکانس ۵ مگاهرتز در روز اول ماندگاری شد. بدین ترتیب اندازه‌گیری‌های روزهای بعد نسبت به روز اول نرمال شده و این اندازه‌گیری‌ها بین نمونه‌های مختلف قابل مقایسه شد.

روش‌های تحلیل داده

در مرحله آماده‌سازی داده‌های تحقیق، هر دو روش انتخاب ویژگی و ترکیب ویژگی بکار برده شد. برای این منظور در سربرگ پیش پردازش نرم افزار وکا (Weka 3.6) پس از فراخوانی داده، جهت آماده‌سازی به روش انتخاب ویژگی از تابع ارزیاب CfsSubsetEval و روش جستجوی GeneticSearch و برای روش ترکیب ویژگی از تابع ارزیاب Principal Components و روش جستجوی Ranker استفاده شد. از ۵ الگوریتم شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون (MLP)، رگرسیون منطقی چند جمله‌ای (MRL)، درخت‌های کاربردی

(FT)، درخت‌های مدل منطقی (LMT) و روش تجمیعی بگینگ (Bagging) جهت طبقه‌بندی استفاده شد. برای هر طبقه (روز ماندگاری)، ۲۰ تکرار و مجموعاً ۴۲ ویژگی (شامل ۲۰ متغیر دی‌الکتریک و ۲۲ ویژگی تصویر) استفاده شد. این ویژگی‌ها عبارتند از توان‌های دی‌الکتریک متناظر با ۲۰ فرکانس (از ۵ تا ۱۰۰ مگاهرتز) و میانگین شاخص‌های رنگ R, G, B, L, a, b, H, S, V, ERI, EGI, EBI، انحراف معیار، همواری، ممان سوم، میانگین سطح خاکستری، یکنواختی، بی‌نظمی، کنتراست، همگنی، همبستگی و انرژی تصویر، که قبل از دسته‌بندی، داده‌های آن آماده‌سازی شدند. برای اعتبارسنجی مدل‌های کلاس-بندی از روش اعتبارسنجی متقاطع^۱ استفاده شد.

در این تکنیک ابتدا مجموعه داده‌ها به k (در این مطالعه ۵ k =) دسته مساوی تقسیم می‌شود، سپس یک بخش از داده‌ها برای آزمون و داده‌های دیگر دسته‌ها جهت آموزش استفاده می‌شود. این عمل k مرتبه تکرار می‌شود تا تمام دسته‌ها مورد اعتبارسنجی قرار گیرند. برای تعیین کارایی الگوریتم‌های دسته-بندی، از معیارهای ارزیابی مدل مانند دقت تشخیص (Contradistinction Accuracy)، بازخوانی (Recall) و معیار F (F-Measure) استفاده شد که توضیحات و روابط محاسباتی آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

۱. k-fold cross validation

جدول ۱. معیارهای ارزیابی در طبقه‌بندی

نام معیار	توضیح	رابطه*
نسبت مثبت درست	نسبت موارد مثبتی که به درستی طبقه بندی شدند	$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$
نسبت مثبت نادرست	نسبت موارد منفی که به نادرست، مثبت طبقه بندی شدند	$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$
صحت طبقه بندی	نسبت تعداد مثبت‌های درست به کل نتایج مثبت	$P = \frac{TP}{TP + FP}$
مساحت زیر منحنی ROC	انتگرال زیر نمودار TPR بر حسب FPR	-
معیار F-	-	$F = \frac{2 \times P \times TPR}{P + TPR}$

*در این روابط، TP تعداد مثبت‌های درست، FP تعداد مثبت‌های نادرست، TN تعداد منفی‌های درست و FN تعداد منفی‌های نادرست می‌باشند.

نتایج و بحث

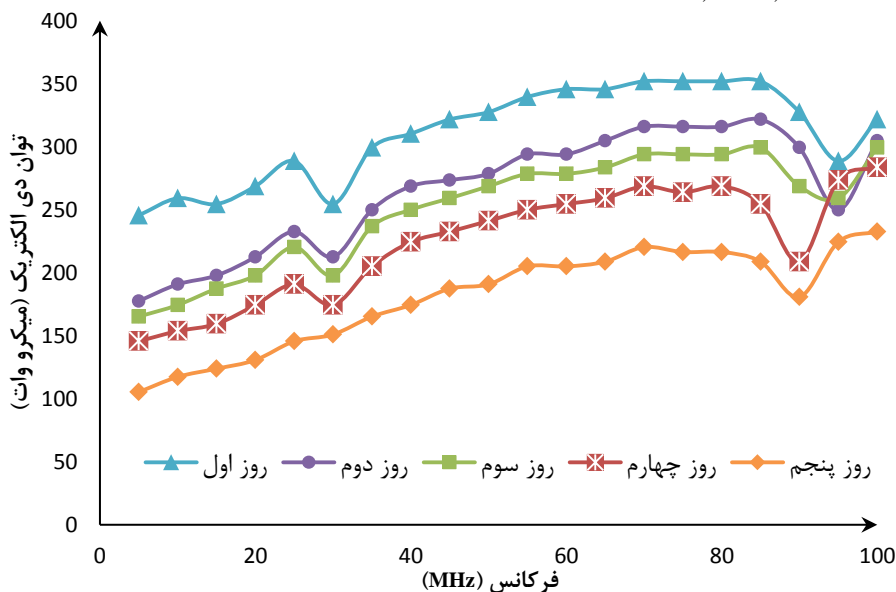
روند تغییرات دی‌الکتریک و تصویر طی ماندگاری

شکل ۳ تغییرات طیف‌های توان دی‌الکتریک در بازه فرکانس ۵-۱۰۰ MHz را برای یک نمونه گوشت در طی ۵ روز ماندگاری نشان می‌دهد. به طور کلی مشاهده می‌شود که در هر روز اندازه‌گیری با افزایش فرکانس توان دی‌الکتریک نیز افزایش

داشته است که رابطه ۱ نیز این افزایش با فرکانس را تایید می‌کند. از لحاظ فیزیکی، افزایش توان دی‌الکتریک با فرکانس به دلیل چرخش سریع‌تر مولکول‌های دو قطبی در معرض میدان الکتریکی متناوب می‌باشد که باعث افزایش مصرف انرژی در واحد زمان خواهد شد. به بیان دیگر، در فرکانس‌های بالاتر دو قطبی‌ها در زمان کمتری باید به قطبش و آرایش یونی در

میدان الکتریکی بردازند که موجب می‌شود به نسبت انرژی بیشتری مصرف شود و توان دی‌الکتریک افزایش یابد. همچنین می‌توان یافت که توان دی‌الکتریک با افزایش روز ماندگاری کاهش یافته که این عمدتاً بخاطر کاهش محتوای رطوبت نمونه‌ها در طی ماندگاری می‌باشد. کاهش محتوای رطوبت باعث کاهش ضریب دی‌الکتریک گوشت و با توجه به رابطه ۱ باعث کاهش توان دی‌الکتریک می‌گردد (Jilnai et al., 2016; Castro-). تولید اسیدلاکتیک در طی ماندگاری گوشت عامل موثر در از دست دادن رطوبت می‌باشد. تغییرات ساختاری بافت گوشت در اثر ماندگاری، تغییر در خاصیت عایقی غشاء سلولی و تغییر در ترکیب سیال‌های درون و بیرون سلولی مجموعه عواملی هستند که باعث افزایش سرعت از دست دادن آب در بافت گوشت با ماندگاری و پیرو آن تغییرات شدید در رفتارهای الکتریکی و دی‌الکتریکی می‌شوند (Jilnai et al., 2016).

با استفاده از روش طیف‌نگاری توان دی‌الکتریک در برخی مطالعات دیگر (Naderi-Boldaji et al., 2015; Ghasemi-; Varnamkhasti et al., 2017; Ghatre-Samani et al., 2017;



شکل ۳. روند تغییرات توان دی‌الکتریک یک نمونه گوشت در طی ۵ روز ماندگاری و تابعی از فرکانس تا ۱۰۰ مگاهرتز

که رنگ مورد پسند برای مشتری است. در صورت افزایش فشار نسبی اکسیژن و یا مدت زمانی که گوشت در معرض هوای آزاد قرار دارد فرم مت‌میوگلوبین شکل می‌گیرد که به گوشت رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای می‌دهد که این رنگ مورد پسند نمی‌باشد (Movahed, 2011). با توجه به این توضیحات، در شکل ۴ چون نمونه گوشت همانند قصابی‌ها بدون بسته‌بندی و در فضای باز نگهداری می‌شد لذا اکسیژن لازم در اختیار بافت‌ها و سلول‌ها قرار گرفته، و رنگ گوشت در یکی دو روز اول به روشنی و

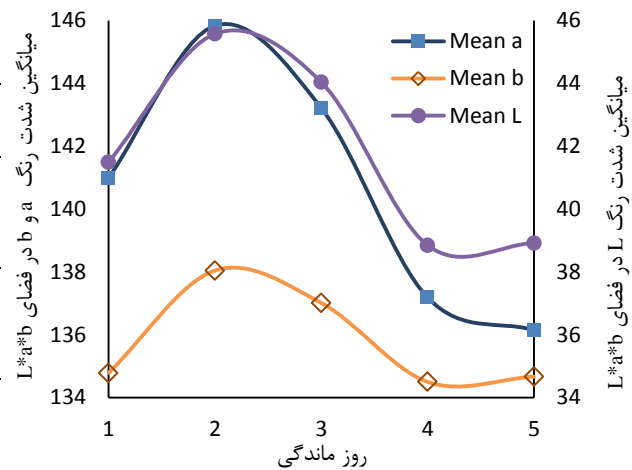
شکل ۴ روند تغییرات میانگین شاخص L (روشنایی)، میانگین شاخص a (از سبز تا قرمز) و میانگین شاخص b (از آبی تا زرد) را در طی مدت ماندگاری نشان می‌دهد. قبل از کشتار، رنگدانه اصلی گوشت هموگلوبین می‌باشد اما بعد از کشتار و زمانیکه اکسیژن وجود ندارد میوگلوبین رنگدانه اصلی ماهیچه می‌باشد که به رنگ قرمز ارغوانی است. تحت فشار نسبی اکسیژن و در اثر واکنش اکسیداسیون میوگلوبین به فرم اکسی میوگلوبین تبدیل می‌شود و رنگ قرمز روشن به گوشت می‌دهد

بیماری، سن و جنس دام بستگی دارد (Movahed, 2011). در این مطالعه چهار الگوریتم MLP، MLR، LMT و FT به عنوان دسته‌بند پایه برای الگوریتم تجمیعی بگینگ اعمال شدند (جدول ۲). در جدول ۲ میزان تاثیر فیلترهای پیش-پردازش (تکنیک‌های کاهش بعد) ژنتیک و مولفه‌های اصلی اعمال شده بر داده‌های اولیه نیز قابل بررسی است. به طور کلی از نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود که فیلتر PCA نتایج دقیق-تری ارائه می‌دهد (دقت طبقه بندی ۰/۷۷). همچنین روش‌های MLP، MLR و LMT اگر به صورت مستقل استفاده شوند نسبت به زمانی که به عنوان دسته‌بند پایه برای روش ترکیبی بگینگ بکار می‌روند، دارای دقت کمتری هستند.

شفافیت کامل خودش رسیده و پس از آن به رنگ قهوه‌ای تیره متمایل شده است. با ملاحظه شکل ۴ می‌توان دریافت که تغییرات ویژگی‌های L، a و b با روز ماندگاری در یک جهت نبوده و برای مثال برای روزهای اول و چهارم، این ویژگی‌ها مقادیر تقریباً یکسانی داشته‌اند. این در حالی است که تغییرات توان دی‌الکتریک (شکل ۳) برای روزهای متفاوت کاملاً قابل تمایز بوده و در یک روند کاهشی می‌باشند. این نتیجه می‌تواند تأییدی بر فرضیه این مطالعه باشد که اساساً ترکیب روش‌های اندازه‌گیری بر پایه اصول اندازه‌گیری متفاوت (در اینجا ترکیب دی‌الکتریک و تصویر) می‌تواند نقش مهمی در دقت پیش‌بینی تغییرات صورت گرفته در ماده مورد مطالعه باشد.

جدول ۲. بررسی تاثیر روش تجمیعی بگینگ و فیلترهای پیش پردازش بر

دقت تشخیص روز ماندگی گوشت			
روش کلاس‌بندی	فیلتر	دقت دسته بندی روش غیر ترکیبی و مستقل (%)	دقت دسته بندی روش ترکیبی بگینگ (%)
MLP	None	۷۱	۷۴
	Genetic	۶۰	۶۱
	PCA	۷۴	۷۷
MLR	None	۶۲	۶۹
	Genetic	۵۵	۵۷
	PCA	۶۹	۷۳
LMT	None	۷۱	۷۵
	Genetic	۶۵	۶۵
	PCA	۷۲	۷۲
FT	None	۷۱	۶۹
	Genetic	۶۱	۵۸
	PCA	۷۸	۷۱



شکل ۴. روند تغییرات میانگین شاخص های L، a و b از فضای رنگی L*a*b برای یک نمونه گوشت گوساله در طی ۵ روز ماندگاری

نتایج طبقه‌بندی

بررسی ماتریس سردرگمی نیز معیار دیگری برای ارزیابی طبقه‌بندی می‌باشد که از این میان ماتریس سردرگمی الگوریتم بگینگ با دسته‌بند پایه‌ی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) مبتنی بر استخراج ویژگی به روش PCA به عنوان بهترین نتیجه در شکل ۵ نشان داده شده است. این ماتریس نشان می‌دهد که تغییرات دی‌الکتریک و تصویر گوشت گوساله در دمای ۵ درجه اندک است به گونه‌ای که تغییرات هر دو روز متوالی با یکدیگر همپوشانی دارد. و این امر موجب شده تا مدل دسته‌بند، متغیرهای دی‌الکتریک و تصویر یک روز را با روزهای قبل و بعد آن به درستی تفکیک نکند. لذا افزایش سرعت فساد و فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی (در اثر افزایش دما و یا فاصله زمانی بین دو آزمایش متوالی) می‌تواند موجب محسوس‌تر شدن تغییرات کیفی گوشت و نتیجتاً طبقه‌بندی دقیق‌تر شود.

در ابتدا با استفاده از ویژگی‌های استخراج شده از هر روش به صورت جداگانه طبقه‌بندی انجام شد. میانگین دقت به دست آمده از طبقه‌بندی با چهار الگوریتم MLP، MLR، LMT و FT بر اساس ۲۰ ویژگی دی‌الکتریک ۵۴ درصد، بر اساس ۲۲ ویژگی تصویر گوشت ۶۳ درصد و نهایتاً بر اساس مجموع ویژگی‌های دی‌الکتریک و تصویر (۴۲ ویژگی) ۷۰ درصد بود. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب دو منبع داده دقت دسته‌بندی (یا همان نرخ مثبت درست) مطلوب‌تری را نسبت به طبقه‌بندی با داده‌های دی‌الکتریک و یا تصویر نتیجه می‌دهد. یک علت برای توجیه عدم دستیابی به دقت بالای کلاس‌بندی با استفاده از فقط داده‌های دی‌الکتریک می‌تواند این باشد که میزان رطوبت اولیه و همچنین کاهش رطوبت روزانه هر دو نمونه مانند هم نیست و به میزان WHC¹،

1 Water holding capacity

هستند اما هر کدام به تنهایی دقت طبقه بندی مطلوبی نداشتند. در مقابل، با تجمیع این دو منبع اطلاعات حسگری (دی‌الکتریک و تصویر) و اعمال تکنیک کاهش بعد به روش مولفه‌های اصلی (PCA) بر روی تمام ویژگی‌ها، دقت طبقه‌بندی ۷۸٪ برای الگوریتم درخت‌های کاربردی (FT) و ۷۷٪ برای طبقه‌بند ترکیبی بگینگ (Bagging) با رده‌بند پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) حاصل شد. در این مطالعه به دلیل چالش‌های فنی زیاد، بیشتر به توسعه روش و ابزار اندازه‌گیری ترکیبی پرداخته شد. نیاز است در مطالعات تکمیلی، اندازه‌گیری‌های حسگری توام با اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکی - شیمیایی گوشت (ب شکل مخرب) جهت بررسی امکان پیش‌بینی آنها از اندازه‌گیری‌های حسگری انجام شوند. توسعه یک پراب ترکیبی دی‌الکتریک - تصویربرداری به شکلی که قابلیت بکارگیری قابل حمل داشته باشد می‌تواند ابزاری سریع و نسبتاً دقیق برای تشخیص تازگی گوشت فراهم نماید. از آنجا که توان دی‌الکتریک پارامتری است که اصولاً با تغییر در خصوصیات هندسی حسگر تغییر می‌کند، روش‌های جایگزین دی‌الکتریک که در آن بتوان مشخصه‌های دی‌الکتریک (ثابت دی‌الکتریک و فاکتور افت) را اندازه‌گیری نمود توصیه می‌شود.

REFERENCES

- Bagheri, R. (2014). Non-destructive moisture content determination of date fruit by dielectric method (MSc. thesis). *Isfahan University of Technology*, Isfahan. Iran.
- Beyki-Bandarabadi, M. (2005) Quality of chicken & PSE meat. Qom's researches central of agricultural. 1-3. (In Farsi)
- Castro-Giráldez, M., Fito, P. J., & Fito, P. (2010a). Application of microwaves dielectric spectroscopy for controlling pork meat (*Longissimus dorsi*) salting process. *Journal of Food Engineering*, 97, 484-490.
- Castro-Giráldez, M., Botella, P., Toldrá, F., & Fito P. (2010b). Low-frequency dielectric spectrum to determine pork meat quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 376-386.
- Cernadas, E., Carrion, P., Rodrigues, P.G., & Muriel, E.T.A. (2005). Analysing magnetic resonance images of iberian pork loin to predict its sensorial characteristics. *Computer Vision and Image Understanding*, 98, 345-361.
- Chandraratne, M.R., Kulasiri, D., Frampton, C.S S., & Bickerstaffe, R. (2006). Prediction of lamb carcass grades using features extracted from lamp chop images. *Journal of Food Engineering*, 74, 116-124.
- Chen, K., & Qin, Ch. (2008). Segmentation of beef marbling based on vision threshold. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62 (2), 223-230.

پیش بینی مدل

	A	B	C	D	E
A	۲۰	۰	۰	۰	۰
B	۲	۱۵	۳	۰	۰
C	۰	۴	۱۳	۳	۰
D	۰	۰	۲	۱۳	۵
E	۰	۰	۰	۴	۱۶

شکل ۵. ماتریس سردرگمی حاصل از روش Bagging با دسته بند پایه MLP و فیلتر PCA (A, B, C, D, E) روزهای ماندگاری از روز اول تا پنجم می‌باشند.

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه ترکیب دو روش ارزیابی کیفی دی‌الکتریک و تصویربرداری ماکرو جهت تشخیص تازگی گوشت گوساله توسعه و مورد ارزیابی قرار گرفت. از هر نمونه گوشت مجموعاً ۴۲ ویژگی دی‌الکتریک و تصویر استخراج شد. نتایج طبقه‌بندی نشان داد که ترکیب این دو روش در صورت تلفیق و استفاده از فیلتر داده و الگوریتم طبقه‌بند مناسب به خوبی می‌تواند برای تعیین تازگی گوشت گوساله در اثر ماندگاری استفاده شوند. تحلیل نتایج نشان داد که متغیرهای تصویر گوشت به تنهایی بیشتر از متغیرهای دی‌الکتریک گوشت در طبقه‌بندی موثر

- Dalen, G.V. (2004). Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. *Food Research International*. 35, 51-58.
- Damez, J.L., & Clerjon S. (2008). Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science*, 80, 132-149.
- Damez, J.L., & Clerjon, S. (2013). Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves, An overview. *Meat Science*, 95, 879-896.
- Emadzade, B., & Razavi, S.,M.,A. (2008). The investigation of size and shape factors variations during the processing of Tarom Mahalli rice variety by means of scanner and image processing technique. *18th congress of Food Science and Technology*, Ferdowsi University of Mashhad. 1-5. (In Farsi)
- Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghatre-Samani, N., Naderi-Boldaji, M., Bonyadian, M., Forina, M. (2017). Development of two dielectric sensors coupled with computational techniques for detecting milk adulteration. *Computers and Electronics in Agriculture*. Accepted manuscript.
- Ghatre-Samani, N., Naderi-Boldaji, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mehraban, H., & Bonyadian, M. (2017). Application of dielectric power spectroscopy with a parallel plate sensor for freshness detection of milk. *Food Modern*

- Technologies*. 16(4), 1-15. (In Farsi)
- Guan, D., Cheng, M., Wang, Y., & Tang, J. (2004). Dielectric properties of mashed potatoes relevant to microwave and radio-frequency pasteurization and sterilization processes. *Journal of Food Science*, 69(1), 30-37.
- Guo, W., Zhu, X., Nelson, S.O., Yue, R., Liu, H., & Liu, Y. (2011). Maturity effects on dielectric properties of apples from 10 to 4500 MHz. *LWT Food Science and Technology*, 44, 224-230.
- Jha, S.N., Matsuoka, T., & Kawano, S. (2004). Changes in electrical resistance of eggplant with gloss, weight and storage period. *Biosystems Engineering*, 87(1), 119-123.
- Jilnai, M.T., Wen, W.P., Cheong, L.Y., & ur Rehman, M.Z. (2016). A microwave ring-resonator sensor for non-invasive assessment of meat aging. *Sensors*, 16, 52-65.
- Khalilian, H., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Naderi-Boldaji, M., & Rostami, S. (2017). Developing and testing of a cylindrical dielectric sensor for measuring sugar concentration of sugar beet syrup. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48(1), Issue 1, 144-137. (In Farsi).
- Li, J., Tan, J., & Shatadal, P. (2001). Classification of tough and tender beef by image texture analysis. *Meat Science*, 57, 341-346.
- Liyun, Z., Da, Wen, S., & Tan, J. (2008). Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation: Quality Evaluation of Meat Cuts. Food Science and Technology International Series. *Academic press*, 111-138.
- Martinez-Cerezo, S.C., Saudo, B., Panea, I., Medel, R., Delfa, I., Sierra, J.A., Beltrln, R., & Cepero Olleta, J.L. (2005). Breed slaughter weight and aging time effects on physico-chemical characteristics of lamb meat. *Meat Science*, 69(2), 325-333.
- Mészáros, P. (2007). Relationships between electrical parameters and physical properties of cereal grains, oilseeds, and apples. PhD thesis. Department of Physics and Control. Corvinus University of Budapest. 144 pp.
- Mckeown, M., Trabelsi, S., Tollner, E., Nelson, & S.O. (2012). Dielectric spectroscopy measurements for moisture prediction in vidalia onions. *Journal of Food Engineering*, 111, 505-510.
- Miklavcic, D., Pavselj, N., & Hart, F.X. (2006). Electric properties of tissues. M., Akay., John, Wiley, Sons Inc. *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*. New York. 6,3578-3589.
- Mireei, A., Bagheri, R., Sadeghi, M., & Shahraki, A. (2016). Developing an electronic portable device based on dielectric powerspectroscopy for non-destructive prediction of date moisture content. *J. Sensors and Actuators: A*. 247, 289-297.
- Movahed, S. (2011) Meat science. (1st ed). *Marze Danesh Abongah*. pp (188). (In Farsi)
- Naderi-Boldaji M. Fazeliyan-Dehkordi M. Mireei S.A. & Ghasemi-Varnamkhasti M. (2015). Dielectric power spectroscopy as a potential technique for the non-destructive measurement of sugar concentration in sugarcane. *Biosystems Engineering*, 140, 1-10.
- Nelson, S.O. (2005). Dielectric spectroscopy in agriculture. *Journal of non-crystalline solids*, 351, 2940-2944.
- Nikzade, V., & Sedaghat, N. (2013). Application of intelligent packing for meat safety and quality in distribution and consumption cycle. *21th congress of Food Science and Technology*, Shiraz University. 1-6. (In Farsi)
- Ohlsson, T., Bengtsson, NE., & Risman, PO., (1974). The frequency and temperature dependence of dielectric food data as determined by a cavity perturbation technique. *J Microw Power*, 9, 129-145.
- Park, B., & Chen, Y. (2001). Co-occurrence matrix texture features of multi-spectral images on poultry carcasses. *J. agric. Engng Res*. 78(2), 127-139.
- Reddy-Boreddy, S., & Subbiah, J. (2016). Temperature and moisture dependent dielectric properties of egg white powder. *Journal of Food Engineering*, 168, 60-67.
- Reese R. L. (2000). University Physics. USA: Brooks/Cole Publishing Company.
- Shekar-Forush, S., Sh., Rokni, N., Karim, G., Razavi-Ruhani, S., M. Kiyae, S., M., M., & Abbasvali, M. (2012) Consider to studies about food embarrassment with animal effective: (vol.2) meat and meat production., 3(2), 1-14. (In Farsi)
- Sipahioglu, O., Barringer, SA., & Bircan, C. (2003). The dielectric properties of meats as a function of temperature and composition. *J Microw Power Electromagn Energy*, 38(3), 161-169.0
- Soltani, M., Alimardani, R., & Omid, M. (2011). Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties. *Journal of Food Engineering*, 105, 625-631.
- Takahashi, K. (1996) Structural weakening of skeletal muscle tissue during postmortem ageing of meat: Non enzymatic mechanism of meat tenderization. *Meat Science*, 43, 67-80.
- Tan J. (2004). Meat quality evaluation by computer vision. *Journal of Food Engineering*. 61, 27-35.
- Tan J., Lu J., Shatadal, P., & Gerrard, D.E. (2000). Evaluation of pork color by using computer vision. *Meat Science*. 56, 57-60.
- Wood, J.R., Richardson, G., Nute A. Fisher M. Campo E. Kasapidou P. Sheard & Enser M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*. 66(1), 21-32.
- Wang, Y., Tang, J., Rasco, B., Kong, F., & Wang, S. (2008). Dielectric properties of salmon fillets as a function of temperature and composition. *Journal of Food Engineering*, 87(2), 236- 246.
- Zhang, L., Lyng, J.G., Brunton, N., Morgan, D., & McKenna, B. (2004). Dielectric and thermophysical properties of meat batters over a temperature range of 5-85 _C. *Meat Science*, 68(2), 173-184.