



مقایسه روش‌های موجبر و طیف‌سنجی مرئی - فروسرخ نزدیک در برآورد غیرمخرب فراسنجه‌های کیفی تخم‌مرغ

نیلوفر اکبرزاده^۱، سید احمد میره‌ای^{۲*}، غلامرضا عسکری^۳، سید امیرحسین مهدوی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (n.akbarzadeh@ag.iut.ac.ir)

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (samireei@iut.ac.ir)

۳- استادیار، پژوهشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه صنعتی اصفهان (askarigh@iut.ac.ir)

۴- دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (mahdavi@iut.ac.ir)

چکیده

تخم‌مرغ ماده غذایی شناخته شده‌ای است که از نظر کیفیت بعد از شیر مادر رتبه دوم قرار دارد. روش‌های طیف‌سنجی مرئی - فروسرخ نزدیک (Vis/NIR) و موجبر از جمله روش‌های غیرمخرب مبتنی بر روش‌های به ترتیب اپتیکی و دی‌الکتریک می‌باشند. در این تحقیق از سامانه‌ی طراحی شده برای جمع‌آوری طیف‌های Vis/NIR تخم‌مرغ در ناحیه ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر و همچنین از موجبر استاندارد باند L برای تهیه طیف‌های دی‌الکتریک تخم‌مرغ در محدوده فرکانسی ۰/۹ تا ۱/۷ گیگاهرتز استفاده شد. پارامترهای کیفی تخم‌مرغ عبارت بودند از ارتفاع سلول هوا (ACH) و ارتفاع سفیده ضخیم (TAH). طیف‌های مورد نظر از تعداد ۲۴۴ عدد تخم‌مرغ که در بازه‌های زمانی ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۵ و ۲۴ روز در دمای اتاق نگهداری شده بودند، ثبت شدند. بلافاصله پس از ثبت طیف‌ها، آزمایش‌های مرجع به منظور اندازه‌گیری مؤلفه‌های تازگی تخم‌مرغ انجام شدند. به منظور پیش‌بینی پارامترهای کیفی، پس از انتخاب و اعمال مناسب‌ترین پیش‌پردازش، از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده شد. بهترین نتایج در هر دو روش برای پارامتر ACH با ضریب تبیین پیش‌بینی (R^2_p) برابر ۰/۸۲، ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSEP) برابر ۱/۱۱ میلی‌متر و RPD برابر ۲/۱۹ در روش طیف‌سنجی Vis/NIR و R^2_p برابر ۰/۸۹، RMSEP برابر ۰/۸۹ میلی‌متر و RPD برابر ۲/۹۳ در روش موجبر به دست آمد که نشان‌دهنده توانمندی بیشتر روش موجبر نسبت به روش طیف‌سنجی Vis/NIR در پیش‌بینی کیفیت تخم‌مرغ است.

کلمات کلیدی: تخم‌مرغ، طیف‌سنجی Vis/NIR، موجبر، ارتفاع کیسه هوا، ارتفاع سفیده ضخیم، رگرسیون حداقل مربعات جزئی

* نویسنده مسئول: samireei@iut.ac.ir

مقایسه روش‌های موجبر و طیف‌سنجی مرئی - فروسرخ نزدیک در برآورد غیرمخرب فراسنجه‌های کیفی تخم‌مرغ

مقدمه

تخم‌مرغ ماده غذایی بسیار مغذی است که در رژیم غذایی انسان‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند. امروزه صنعت تخم‌مرغ نیاز به اطلاعات دقیق‌تر و قابل اطمینان‌تری برای درجه‌بندی و ارائه تخم‌مرغ‌های با کیفیت‌تر به مصرف‌کنندگان دارد [۲]. شاخص‌های کیفیت داخلی تخم‌مرغ توسط ارتفاع سلول هوا^۱ (ACH)، ارتفاع سفیده ضخیم^۲ (TAH)، واحد هاو^۳ (HU)، ارتفاع و پهنای زرده، ضریب زرده^۴ (YC)، رنگ زرده، درصد سفیده نازک، pH سفیده و قدرت غشای ویتلین تعریف می‌شود و کیفیت خارجی تخم‌مرغ بستگی به کیفیت پوسته آن (عدم وجود هرگونه ترک، شکستگی و یا لکه) دارد [۲]. کاهش کیفیت و تازگی تخم‌مرغ در اثر افزایش زمان انبارداری را می‌توان با توجه به تغییرات در فعل و انفعالات اووموسیون-لیزوزیوم در باندهای دیسولفید اووموسیون یا در بخش‌های کربوهیدرات آن توضیح داد که باعث نازک شدن سفیده تخم‌مرغ نیز می‌گردد. یکی دیگر از عوامل کاهش کیفیت تخم‌مرغ، خروج آب و CO₂ از طریق منافذ پوسته و در نتیجه افزایش ارتفاع سلول هوا و pH سفیده و همچنین کاهش وزن تخم‌مرغ است که باعث رقیق‌تر شدن سفیده نیز می‌شود [۶]. میزان این تغییرات بستگی به مدت زمان ذخیره‌سازی، دما و رطوبت نسبی محیط و همچنین نژاد و سن مرغ تخم‌گذار دارد [۵].

طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک^۵ (NIR) یک تکنیک سریع و غیرمخرب است که محدوده طول موج ۸۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهد. مطالعات اخیر نشان داده که فناوری طیف‌سنجی NIR توانایی بالایی در تحلیل خواص تخم‌مرغ دارد. در زمینه استفاده از NIR محققین توانسته‌اند HU [۵-۷]، زمان ذخیره‌سازی [۷] و ACH و TAH [۵] و در زمینه استفاده از Vis/NIR نیز توانسته‌اند HU و pH را در حالت عبوری [۱، ۳] تخمین بزنند. تعیین خواص دی‌الکتریک محصولات کشاورزی و مواد غذایی نیز کاربرد بسیاری به عنوان یک فناوری سریع و جدید در صنایع غذایی یافته است. به طور کلی، روش‌های اندازه‌گیری خواص دی‌الکتریک را می‌توان به صفحات موازی، پروب کواکسیال، خط انتقال (موجبر و خط کواکسیال)، طیف‌نگاری حوزه زمان، فضای آزاد و آشفتگی حفره‌ای تقسیم نمود [۱۶]. برخی از پژوهشگران روش صفحات موازی در محدوده فرکانس رادیویی [۱۰، ۱۲، ۱۵] و برخی دیگر روش پروب کواکسیال در محدوده فرکانس ۱۰ تا ۱۸۰۰ مگاهرتز [۱۱، ۱۷] را برای ارزیابی کیفیت تخم‌مرغ استفاده کرده‌اند. علاوه بر این، رانی و همکاران (۲۰۱۰) برای اولین بار از روش موجبر در محدوده فرکانس ۱۰/۵ تا ۱۱/۵ گیگاهرتز برای پیش‌بینی برخی از شاخص‌های کیفیت تخم‌مرغ استفاده کرد [۹].

هدف از این تحقیق، بررسی قابلیت روش‌های طیف‌سنجی Vis/NIR در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر و موجبر در محدوده فرکانسی ۰/۹ تا ۱/۷ گیگاهرتز به عنوان روش‌های غیرمخرب برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی تخم‌مرغ شامل ارتفاع سلول هوا و ارتفاع سفیده ضخیم است.

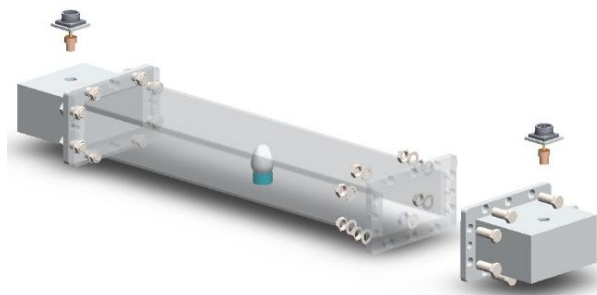
1 Air Cell Height
2 Thick Albumen Height
3 Haugh Unit
4 Yolk Coefficient
5 Near Infrared Spectroscopy

مواد و روش‌ها

تعداد ۲۴۴ تخم مرغ که توسط مرغ‌های نژاد های-لاین W36 لگهورن گذاشته شده بودند، از مرغداری مؤسسه بیوتکنولوژی رویان واقع در شهر اصفهان جمع‌آوری شدند. تخم مرغ‌ها تحت شش تیمار ذخیره‌سازی شامل ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۵ و ۲۴ روز قرار گرفتند. اندازه‌گیری طیف‌ها پس از هر تیمار ذخیره‌سازی انجام شد.

جمع‌آوری طیف‌های موجبر

شکل ۱ سامانه موجبر استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. در این سامانه از موجبر استاندارد WR650 باند L استفاده شد که دو پروب از طریق اتصالات قابل تعویض مادگی به خط هم‌محور^۱ و سپس به موجبر متصل شدند. برای اندازه‌گیری طیف‌های موجبر، پروب‌ها از طریق کابل‌های هم‌محور به تحلیل‌گر شبکه HP8510C متصل شدند. طیف‌های تمام نمونه‌ها در محدوده ۰/۹ تا ۱/۷ گیگاهرتز با دقت ۰/۰۰۳۲۵ گیگاهرتز جمع‌آوری و برای کاهش احتمال اختلاف در داده‌ها، طیف‌های به دست آمده در حالت با نمونه از حالت بدون نمونه کم شدند.



شکل ۱- طرحواره سامانه اندازه‌گیری طیف‌های موجبر

جمع‌آوری طیف‌های مرئی - فروسرخ نزدیک

شکل ۲ طرحواره سامانه استفاده شده برای اندازه‌گیری طیف‌های Vis/NIR را نشان می‌دهد. این سامانه شامل لامپ هالوژن کوارتزی، پروب فیبر نوری و اسپکترومتر آرایه دیودی^۲ (PDA) با قابلیت ثبت طیف‌های الکترومغناطیس در ناحیه ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر با وضوح دو نانومتر بود. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، منبع نور و پروب تحت زاویه ۱۸۰ درجه نسبت به یکدیگر قرار می‌گرفتند.

1 Waveguide-to-coaxial adapters

2 Photo Diode Array



شکل ۲- طرحواره سامانه اندازه‌گیری طیف‌های Vis/NIR

در ابتدای هر آزمایش طیف تیره با خاموش کردن منبع نور و طیف مرجع با تنظیم شدت نور لامپ به نحوی که اسپکترومتر در آستانه اشباع شدن قرار می‌گرفت، ثبت شدند. در نهایت از رابطه ۱ برای به دست آوردن طیف نسبی استفاده شد.

$$T_{relative} = \left(\frac{T_{sample} - T_{dark}}{T_{reference} - T_{dark}} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در آن $T_{relative}$ طیف نسبی نمونه، T_{sample} طیف نمونه، T_{dark} طیف تیره و $T_{reference}$ طیف مرجع است.

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی مرجع

بلافاصله پس از جمع‌آوری طیف‌ها در هر دو روش، تخم‌مرغ‌ها برای اندازه‌گیری پارامترهای کیفی ارتفاع سلول هوا (ACH) و ارتفاع آلبومین ضخیم (TAH) شکسته شدند. به منظور اندازه‌گیری ACH، میانگین ارتفاع چهار نقطه اتصال غشاء به پوسته و ارتفاع نقطه میانی که با استفاده از کولیس دیجیتال پایه‌دار اندازه‌گیری شده بودند، محاسبه شد [۱۱]. TAH نیز با میانگین‌گیری چهار ارتفاع اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف آلبومین ضخیم در فاصله حدود ۱۰ میلی‌متری از زرده با استفاده از میکرومتر عقربه‌دار مخصوص محاسبه شد [۱۱].

پیش‌پردازش و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق از چهار روش متفاوت برای پیش‌پردازش طیف‌های Vis/NIR استفاده شد که عبارت‌اند از: الگوریتم ساویتسکی-گولای (S.G)، روش تصحیح پراکنش افزاینده (MSC)، روش تصحیح خط پایه (BOC) و روش مشتق مرتبه اول.

به منظور ارائه مدلی مناسب برای پیش‌بینی پارامترهای ACH و TAH در هر دو روش Vis/NIR و موجبر از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده شد. این پیش‌بینی با استخراج مجموعه‌ای از عوامل متعامد به نام متغیرهای پنهانی (LV) از پیش‌بینی‌کننده‌های اصلی به دست می‌آید که این عوامل دارای بهترین قدرت پیش‌بینی و حداکثر همبستگی با متغیر وابسته هستند [۱۳]. مدل‌های رگرسیون با استفاده از ۷۵ درصد کل نمونه‌ها به عنوان مجموعه کالیبراسیون و ۲۵ درصد باقیمانده نمونه‌ها به عنوان مجموعه آزمون تولید شدند. ضریب تبیین بین پارامترهای کیفی تخم‌مرغ پیش‌بینی شده و

1 Savitzky-Golay algorithm
2 Multiplicative Scatter Correction
3 Baseline Offset Correction
4 Partial Least Square regression
5 Latent Variables

اندازه‌گیری شده برای مجموعه کالیبراسیون، اعتبارسنجی متقاطع و آزمون (R^2_p و R^2_{cv} ، R^2_c)، ریشه میانگین مربعات خطای مجموعه کالیبراسیون، اعتبارسنجی متقاطع و آزمون (RMSEP و RMSECV، RMSEC) و نسبت انحراف استاندارد (SD) به RMSEP یا انحراف پیشگوی باقیمانده^۱ (RPD) محاسبه و به عنوان پارامترهای آماری برای ارزیابی عملکرد مدل‌های توسعه‌یافته استفاده شدند. در این تحقیق، کلیه محاسبات مربوط به مدل‌سازی PLS و پیش‌پردازش طیف‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری The Unscrambler نسخه ۱۰/۴ انجام شد.

نتایج و بحث

مشخصات آماری نمونه‌ها

جدول ۱ مشخصات آماری نمونه‌های استفاده شده برای پارامترهای ACH و TAH در سه دسته کل، کالیبراسیون و آزمون را نشان می‌دهد. مقادیر مشابه برای پارامترهای آماری در هر سه مجموعه داده، نشان‌دهنده توزیع مناسب نمونه‌ها در مجموعه داده‌های کالیبراسیون و آزمون است. در بین دو شاخص کیفی مورد بررسی، مقادیر TAH بیشترین تنوع را در بر داشت.

جدول ۱- مشخصات آماری نمونه‌های مورد استفاده در تعیین پارامترهای کیفی تخم‌مرغ

پارامتر	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرپذیری (%)
کل نمونه‌ها	۲۴۴	۲/۶۸	۱۴/۸۵	۷/۳۰	۲/۶۷	۳۶/۶۰
ACH (mm) دسته کالیبراسیون	۱۹۶	۲/۶۸	۱۴/۸۵	۷/۳۱	۲/۶۹	۳۶/۷۵
دسته آزمون	۴۸	۳/۳۶	۱۳/۰۱	۷/۲۷	۲/۶۱	۳۵/۸۴
کل نمونه‌ها	۲۴۴	۰/۵۴	۶/۹۱	۳/۰۳	۱/۴۱	۴۶/۷۱
TAH (mm) دسته کالیبراسیون	۱۹۶	۰/۵۴	۶/۹۱	۳/۰۳	۱/۴۳	۴۷/۲۴
دسته آزمون	۴۸	۰/۷۱	۶/۱۵	۳/۰۴	۱/۳۵	۴۴/۴۵

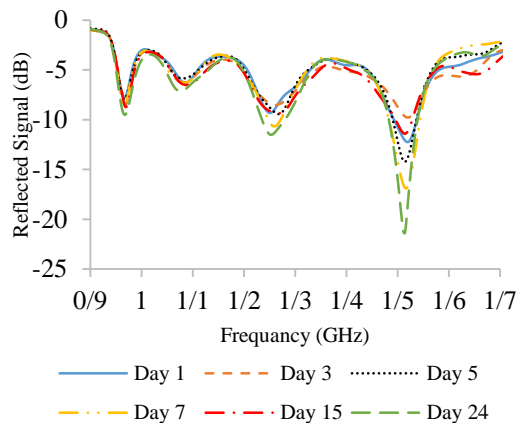
تحلیل طیف‌های Vis/NIR و موجبر

شکل ۳ (الف) میانگین طیف‌های نسبی Vis/NIR به دست آمده برای سطوح مختلف تازگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطه معکوسی بین طیف به دست آمده و زمان ذخیره‌سازی تخم‌مرغ وجود دارد. نقاط افت ۶۳۰، ۶۶۳، ۷۳۸ و ۸۲۴ نانومتر از طیف‌های به دست آمده، مشخص هستند. احتمالاً، واکنش مایلارد یا قهوه‌ای شدن بر طیف Vis/NIR تأثیر می‌گذارد. این واکنش که با افزایش زمان ذخیره‌سازی رخ می‌دهد، به دلیل وجود ملانویدینس^۲، قهوه‌ای رنگ است که نور مرئی را جذب می‌کند [۴]. افت‌های قرار گرفته در ناحیه بالاتر از ۷۵۰ نانومتر (۷۶۰-۹۶۰ نانومتر) مربوط به مشارکت آب (پیوند O-H) است [۸].

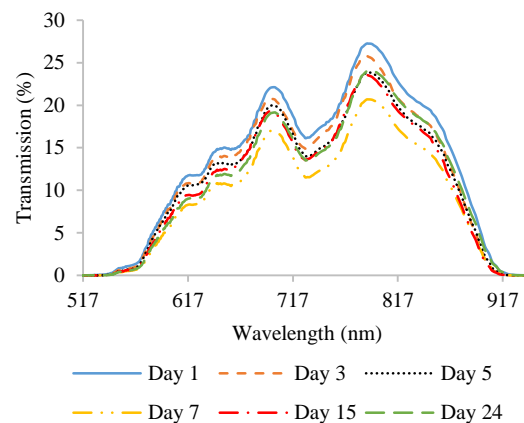
1 Residual Prediction Deviation

2 Melanoidins

شکل ۳ (ب) میانگین طیف‌های موجبر برای کلاس‌های مختلف تازگی را نشان می‌دهد. آب که تشکیل دهنده ۴۸٪ زرده و ۸۵٪ سفیده تخم مرغ می‌باشد، تأثیر برجسته‌ای در سیگنال‌های موجبر در منطقه مایکروویو دارد. از آنجایی که مقدار جرم کل کربوهیدرات‌های موجود در تخم مرغها کمتر از یک درصد است، بنابراین تعامل کربوهیدرات‌ها با مایکروویو ناچیز است [۱۴]. همانطور که در شکل ۳ (ب) به وضوح قابل ملاحظه است، کلاس ۲۴ روز مانده دارای مقادیر سیگنال کمتر نسبت به سایر کلاس‌ها به خصوص در فرکانس‌های ۰/۹۶۲، ۱/۰۷۲، ۱/۲۴۵ و ۱/۵۰۸ گیگاهرتز است.



(ب)



(الف)

شکل ۳- (الف) میانگین طیف نسبی Vis/NIR و (ب) میانگین سیگنال‌های موجبر برای کلاس‌های مختلف تازگی

پیش‌پردازش طیف‌های Vis/NIR

جدول ۲ اثر پیش‌پردازش‌های مختلف بر نتایج رگرسیون PLS برای پیش‌بینی پارامترهای ACH و TAH در روش طیف‌سنجی Vis/NIR نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، برای هر دو پارامتر ACH و TAH پیش‌پردازش مشتق مرتبه اول بهترین نتایج با بالاترین ضریب تبیین و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا را دربرداشته است.

جدول ۲- اثر پیش‌پردازش‌های مختلف بر نتایج رگرسیون PLS برای پیش‌بینی پارامترهای ACH و TAH در روش

طیف‌سنجی Vis/NIR

TAH				ACH				یگانه
اعتبارسنجی مقاطع یگانه		کالیبراسیون		اعتبارسنجی مقاطع یگانه		کالیبراسیون		
RMSECV	R^2_{cv}	RMSEC	R^2_c	RMSECV	R^2_{cv}	RMSEC	R^2_c	
۰/۹۸	۰/۵۲	۰/۸۹	۰/۶۰	۱/۷۵	۰/۵۷	۱/۵۹	۰/۶۴	Raw
۰/۹۸	۰/۵۲	۰/۹۰	۰/۵۹	۱/۷۵	۰/۵۷	۱/۶۰	۰/۶۴	S.G.
۰/۹۲	۰/۵۸	۰/۸۰	۰/۶۸	۱/۶۹	۰/۶۰	۱/۵۷	۰/۶۵	MSC
۰/۹۶	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۶۰	۱/۷۲	۰/۵۹	۱/۵۸	۰/۶۴	Baseline
۰/۸۷	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۷۷	۱/۶۲	۰/۶۳	۱/۲۵	۰/۷۸	1st Derivatives

مدل‌های رگرسیون PLS

تعداد متغیرهای پنهانی بهینه با استفاده از نقطه کمینه در نمودار مقادیر واریانس باقیمانده اعتبارسنجی متقاطع یگانه^۱ در برابر تعداد متغیرهای پنهانی انتخاب می‌شود. تعداد متغیرهای پنهانی بهینه به همراه پیش‌پردازش مناسب و نتایج ارزیابی مدل در سه مرحله کالیبراسیون، اعتبارسنجی متقاطع یگانه و اعتبارسنجی آزمونی برای روش طیف‌سنجی Vis/NIR و روش موجر به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در روش طیف‌سنجی Vis/NIR در بین دو پارامتر کیفی مختلف مدل‌های تخمین ACH منجر به بهترین نتایج شدند. برای پارامتر ACH ضریب تبیین پیش‌بینی (R^2_p) برابر ۰/۸۲، ریشه‌ی میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSEP) برابر ۱/۱۱ میلی‌متر و RPD برابر ۲/۱۹ حاصل شد.

جدول ۳- نتایج رگرسیون PLS برای پیش‌بینی پارامترهای ACH و TAH در روش طیف‌سنجی Vis/NIR

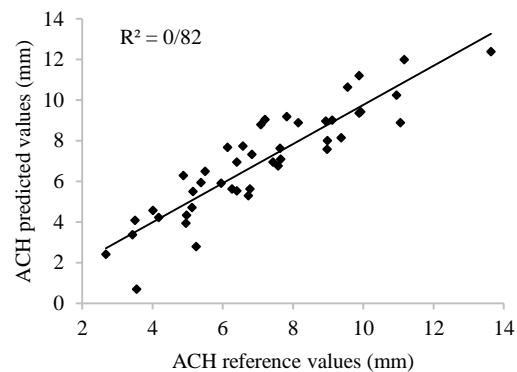
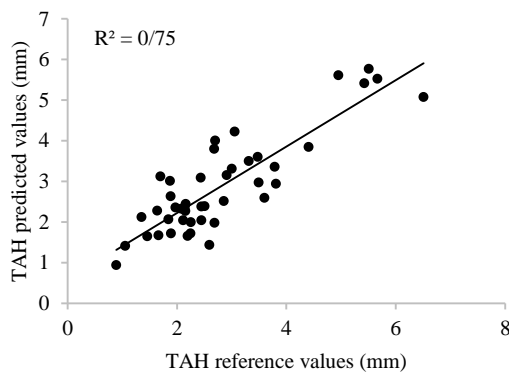
اعتبارسنجی آزمون			اعتبارسنجی متقاطع یگانه		کالیبراسیون			پیش‌پردازش	متغیر
RPD	RMSEP	R^2_p	RMSECV	R^2_{cv}	RMSEC	R^2_c	LV		
۲/۱۹	۱/۱۱	۰/۸۲	۱/۴۳	۰/۷۱	۰/۹۲	NA	۱۰	1st Derivatives	ACH (mm)
۱/۹۷	۰/۶۴	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۸۳	۶	1st Derivatives	TAH (mm)

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در روش موجر در بین دو پارامتر کیفی مختلف مدل‌های تخمین ACH منجر به بهترین نتایج شدند. برای پارامتر ACH ضریب تبیین پیش‌بینی (R^2_p) برابر ۰/۸۹، ریشه‌ی میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSEP) برابر ۰/۸۹ میلی‌متر و RPD برابر ۲/۹۳ حاصل شد.

جدول ۴- نتایج رگرسیون PLS برای پیش‌بینی پارامترهای ACH و TAH در روش موجر

اعتبارسنجی آزمون			اعتبارسنجی متقاطع یگانه		کالیبراسیون			پیش‌پردازش	متغیر
RPD	RMSEP	R^2_p	RMSECV	R^2_{cv}	RMSEC	R^2_c	LV		
۲/۹۳	۰/۸۹	۰/۸۹	۱/۰۵	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۸۵	۶	ACH (mm)	
۲/۳۹	۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۶۲	۰/۸۰	۵	TAH (mm)	

شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در مرحله اعتبارسنجی آزمونی را برای پیش‌بینی پارامترهای ACH و TAH به ترتیب در روش طیف‌سنجی Vis/NIR و روش موجر نشان می‌دهند.

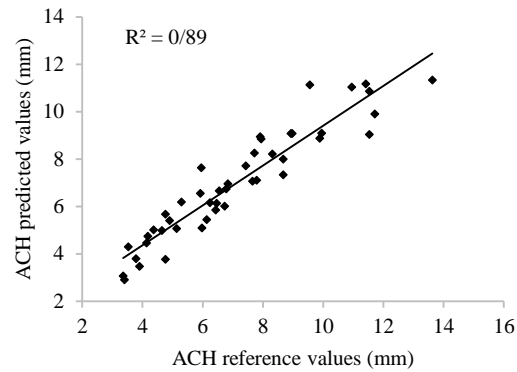
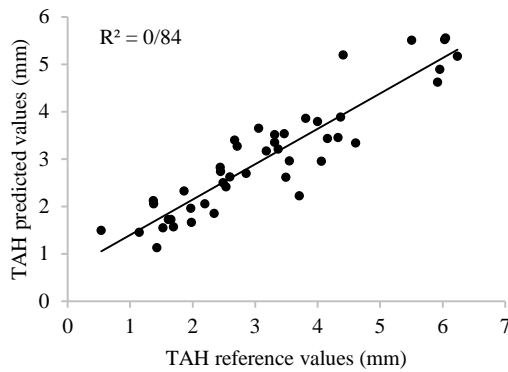


1 Leave one-out cross validation

(ب)

(الف)

شکل ۴- مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی به دست آمده از مدل‌سازی PLS برای پیش‌بینی (الف) ACH و (ب) TAH در روش طیف‌سنجی Vis/NIR



(ب)

(الف)

شکل ۵- مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی به دست آمده از مدل‌سازی PLS برای پیش‌بینی (الف) ACH و (ب) TAH در روش موجبر

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از روش‌های غیرمخرب طیف‌سنجی Vis/NIR و موجبر برای تعیین پارامترهای کیفی تخم‌مرغ شامل ارتفاع سلول هوا (ACH) و ارتفاع سفیده ضخیم (TAH) با استفاده از روش تحلیل رگرسیونی PLS استفاده شد. بررسی ظاهری طیف‌های Vis/NIR به دست آمده در کلاس‌های مختلف تازگی حاکی از رابطه معکوس بین شدت طیف‌ها و زمان ذخیره‌سازی تخم‌مرغ بود، در حالی که بررسی ظاهری طیف‌های موجبر به دست آمده در کلاس‌های مختلف تازگی اطلاعات مناسبی در اختیار قرار نمی‌داد. نتایج نشان داد که برای تخمین پارامترهای کیفی، نتایج مدل‌های مبتنی بر داده‌های موجبر بهتر از نتایج مدل‌های مبتنی بر داده‌های طیف‌سنجی Vis/NIR می‌باشد که این امر نشان‌دهنده آن است که روش موجبر می‌تواند روش توانمندتری نسبت به روش طیف‌سنجی Vis/NIR در تخمین پارامترهای کیفی تخم‌مرغ باشد.

منابع

1. Abdel-Nour, N., Ngadi, M., Prasher, S., Karimi, Y. 2011. Prediction of egg freshness and albumen quality using visible/near infrared spectroscopy. *Food and Bioprocess Technology*, 4: 731-736.
2. Abdel-Nour, N. 2008. Chicken egg quality assessment from visible/near infrared observations. Department of Bioresource Engineering, McGill University, Canada.
3. Bamelis, F., Kemps, B., Mertens, K., Verhoelst, E., De Ketelaere, B., Decuyper, E., et al. 2005. VIS-NIR transmission for the assessment of internal egg quality. In: *European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products* edition: XI, Doorwerth, The Netherlands.
4. Burley, R., Vadehra, D. 1989. The albumin: chemistry. *The Avian Egg; Chemistry and Biology*: 65-128.

5. Giunchi, A., Berardinelli, A., Ragni, L., Fabbri, A., Silaghi, F.A. 2008. Non-destructive freshness assessment of shell eggs using FT-NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 89(2): 142-148.
6. Lin, H., Zhao, J., Sun, L., Chen, Q., Zhou, F. 2011. Freshness measurement of eggs using near infrared (NIR) spectroscopy and multivariate data analysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(2): 182-186.
7. Liu, Y., Ying, Y., Ouyang, A., Li, Y. 2007. Measurement of internal quality in chicken eggs using visible transmittance spectroscopy technology. *Food Control*, 18(1): 18-22.
8. Matcher, S., Cope, M., Delpy, D. 1994. Use of the water absorption spectrum to quantify tissue chromophore concentration changes in near-infrared spectroscopy. *Physics in medicine and biology*, 39.
9. Ragni, L., Cevoli, C., Berardinelli, A. 2010. A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters. *Journal of Food Engineering*, 100(2): 343-348.
10. Ragni, L., Berardinelli, A., Guarnieri, A. 2008. A dielectric technique based on a one-chip network analyser to predict the quality indices of shell eggs. *Biosystems Engineering*, 100: 470-478.
11. Ragni, L., Al-Shami, A., Berardinelli, A., Mikhaylenko, G., Tang, J. 2007. Quality evaluation of shell eggs during storage using a dielectric technique. *Transactions of the ASABE*, 50: 1331-1340.
12. Ragni, L., Gradari, P., Berardinelli, A., Giunchi, A., Guarnieri, A. 2006. Predicting quality parameters of shell eggs using a simple technique based on the dielectric properties. *Biosystems Engineering*, 94: 255-262.
13. Salkind, N.J. 2007. *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. SAGE Publications, California, United States.
14. Sivaramakrishnan, S.R. 2010. *Microwave Pasteurization of Shell Eggs- A Comprehensive Study* McGill University, Ste-Anne-de-Bellevue, Quebec, Canada.
15. Soltani, M., Omid, M. 2015. Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques. *Food Science and Technology*, 62: 1034-1042.
16. Tereshchenko, O., Buesink, F., Leferink, F. 2011. An overview of the techniques for measuring the dielectric properties of materials. In: in *Proceedings of the General Assembly and Scientific Symposium*, Istanbul, Turquia.
17. Wang, J., Tang, J., Wang, Y., Swanson, B. 2009. Dielectric properties of egg whites and whole eggs as influenced by thermal treatments. *Food Science and Technology*, 42: 1204-1212.



Comparison the waveguide and visible near-infrared spectroscopy methods for non-destructive prediction of egg quality parameters*

N. Akbarzadeh, S. A. Mireei*, Gh. Askari, S. A. Mahdavi

Department of Biosystems Engineering, Collogue of Agriculture, Isfahan University of Technology,
Isfahan, Iran.

Abstract

The egg is known nutrient that in terms of quality is in second place after breast milk. Visible and near-infrared (Vis/NIR) spectroscopy and waveguide are nondestructive techniques based on optical and dielectric methods, respectively. In this study, a system was designed and used to collect the Vis/NIR spectra in the range of 400 to 1100 nm and an L band waveguide was developed to acquire the dielectric spectra of the egg samples in 0.9 to 1.7 GHz. The quality parameters of the egg are included the air cell height (ACH), and thick albumen height (TAH). The spectra and signals were recorded from 244 eggs stored at room temperature for 1, 3, 5, 7, 15 and 24 days. Immediately after the spectral acquisition, reference tests were performed to measure the egg quality parameters. In order to prediction the egg quality parameters, after selection the best pre-processing method and applying it on spectra, the partial least squares regression (PLSR) was used in both Vis/NIR spectroscopy and waveguide methods. The best results was obtained in both methods for the ACH parameter with the coefficient of determination (R^2_p) of 0.82, root mean square error of prediction (RMSEP) of 1.11 mm, and RPD of 2.19 in Vis/NIR spectroscopy method and R^2_p of 0.89, RMSEP of 0.89 mm, and RPD of 2.93 in waveguide method. The results showed that the waveguide method can predict the egg quality better than Vis/NIR spectroscopy.

Key words: Egg, Vis/NIR spectroscopy, Waveguide, air cell height, thick albumen height, Partial least square regression.

*Corresponding author

E-mail: samireei@iut.ac.ir