



بررسی مدل‌های خطی برای پیش‌بینی جرم بر اساس خواص فیزیکی دو رقم سیب ایرانی

عباس گرجی^۱، علی رجیبی پور^۲، حسین مبلی^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و اساتید گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

abbasgorji@ut.ac.ir

چکیده

در این مطالعه ابتدا خواص فیزیکی مربوط به دو رقم سیب ایرانی گلاب کهنز و شفیغ آبادی به دست آمدند این خواص شامل: جرم، ابعاد (طول، عرض و ضخامت)، قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی، سطح تصویر عمود (سه سطح تصویر عمود بر هر یک از سه بعد)، مساحت سطح، حجم میوه، کرویت، تخلخل، چگالی حجمی و واقعی، ضریب بسته بندی و ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی سه سطح (فولاد گالوانیزه، چوب و شیشه) بودند. جرم این دو رقم سیب بر اساس برخی از خصوصیات، ابعاد (طول، عرض و ضخامت)، سطح تصویر عمود بر سه بعد و حجم در قالب مدل‌های خطی (تک متغیره و چند متغیره) رگرسیونی با روش گام به گام برآورد شد. درصد محتوای رطوبت بر مبنای تر برای رقم شفیغ آبادی ۸۴٪ و برای رقم گلاب ۸۶٪ بود. اختلاف بین تمام ویژگی‌های فیزیکی در دو رقم در سطح آماری ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بودند ولی برای ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی تمام سطوح، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. برای بهترین مدل‌های تک متغیره بر اساس ابعاد برای رقم گلاب کهنز مدلی بر مبنای عرض و برای رقم شفیغ آبادی مدلی بر اساس طول به دست آمد. در مورد مدل‌های چند متغیره بر اساس ابعاد و سطح تصویر بهترین مدل‌ها بر مبنای سه متغیر مستقل برآورد شدند. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها و تشخیص بهترین مدل از سه پارامتر ضریب تعیین (R^2)، خطای میانگین مربعات ریشه (RMSE) و میانگین اشتباهات (ME) بین مقادیر پیش‌بینی شده و محاسبه شده، استفاده شد. برای تعیین درصد بهبود یک مدل نسبت به یک مدل مبنا (مدلی با بالاترین خطای میانگین مربعات ریشه) پارامتر بهبود نسبی (RI) محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: خواص فیزیکی، مدل‌های خطی، ضریب تعیین، گلاب کهنز، شفیغ آبادی

مقدمه

سیب مهمترین و پر مصرف‌ترین میوه در دنیا می‌باشد که به دلیل وجود زمان رسیدگی متفاوت در ارقام مختلف و نیز خاصیت انبار مانی بالا در تمام فصول سال یافت می‌شود. طبق گزارش فائو (FAO, 2007)، تولید سالانه سیب در ایران برابر ۲/۶۶ میلیون تن می‌باشد که از این حیث در مقام سوم دنیا بعد از چین و ایالات متحده امریکا قرار دارد. با وجود تولید بالای سیب در کشور به دلیل عدم وجود درجه بندی‌های مناسب و نیز بسته بندی‌های درست و بازار پسند برای این محصول، عملکرد صادرات ما در این محصول رشد چشمگیری نداشته است (سفوات و همکاران، ۱۹۷۱). جهت طراحی

ماشین‌های درجه بندی، حمل و نقل و یا بسته بندی و برای تولید ماشینی که بتواند بر اساس خواص ظاهری میوه را درجه بندی کند، آگاهی از این خواص فیزیکی و شناخت روابط حاکم بین آنها ضروری است. یکی از شاخصه های مهم درجه بندی میوه جات، اندازه آنهاست، که ماشین‌هایی نیز برای درجه بندی میوه بر اساس سایز آنها ساخته شده است ولی ممکن است درجه بندی بر اساس جرم اقتصادی تر و به صرفه تر باشد به همین دلیل شناخت روابط بین جرم و این خواص فیزیکی لازم می‌باشد. در میان خواص فیزیکی، جرم، حجم و سطح تصویر از مهمترین خصوصیات برای سیستم‌های درجه بندی هستند (چوما و همکاران، ۱۹۸۲- خدابنده لو، ۱۹۹۹). آگاهی از خواص ابعادی می‌تواند برای تشریح شکل محصول که اغلب در تحقیقات باغبانی (مثلاً برای ثبت یک رقم خاص) استفاده می‌شود، مفید واقع گردد (بیر و همکاران، ۲۰۰۲). سفوات و محسنین (۱۹۷۱، ۱۹۸۶) با مطالعات نظری خود، جرم، حجم و سطح تصویر برخی از محصولات کشاورزی را بررسی کردند. صفا و همکاران (۲۰۰۳) و میمن و همکاران (۲۰۰۱) مطالعاتی در زمینه پیش بینی جرم انار بر اساس ابعاد، حجم و سطح تصویر انجام دادند. توپز و همکاران (۲۰۰۵) خواص فیزیکی و غذایی چهار رقم پرتقال را بررسی کردند. خیر علی پور و همکاران (۲۰۰۸) خواص فیزیکی و مکانیکی سیب‌های ارقام رداسپار و دلوارلستیوال را مورد بررسی قرار دادند. اوزترک و همکاران (۲۰۰۹) خواص غذایی، فیزیکی و مکانیکی دو رقم هلو را بررسی کردند. در مورد تعیین مدل های حاکم بر خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی نیز تحقیقات زیادی صورت گرفته است. چوما و همکاران (۱۹۸۲) یک معادله خطی برای پیش بینی حجم بر اساس سطح ارائه کردند که عبارت بود از: $V=1.1S+17.2$. طباطبایی فر و همکاران (۲۰۰۰) مدلی را برای پیش بینی جرم پرتقال بر اساس ابعاد و سطح تصویر ارائه کردند. آنها پیشنهاد کردند که مدلی بر اساس قطر میانی و به صورت خطی از سایر مدل های غیر خطی با متغیرهای بیشتر، بهتر می‌باشد. لرستانی و طباطبایی فر (۲۰۰۶) جرم کیوی را بر مبنای خواص فیزیکی آن مدل کردند. میرزایی و همکاران (۲۰۰۸) برای پیش بینی جرم دو رقم زرد آلو مدل‌های خطی، درجه دو و نمایی را ارائه دادند.

هدف از این تحقیق تشخیص خواص فیزیکی دو رقم سیب ایرانی (گلاب کهنز و شفیع آبادی)، و ارائه مدل‌هایی خطی برای پیش بینی جرم بر اساس ابعاد، سطح تصویر عمود و حجم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ارقام مورد بحث از دو منطقه کرج و فیروزکوه در تابستان ۱۳۸۸ تهیه شدند. صد نمونه از هر رقم به طور تصادفی انتخاب شد و برای به دست آوردن محتوای رطوبتی (M_c) آنها، سه نمونه ۲۵ گرمی از هر رقم به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۶ درجه سانتی گراد در آون قرار داده شد که محتوای رطوبتی برای رقم گلاب کهنز ۸۶٪ و برای رقم شفیع آبادی ۸۴٪، بر پایه تر به دست آمد (خیر علی پور و همکاران، ۲۰۰۸).

تعیین خواص فیزیکی

برای تعیین ابعاد سیب‌ها از یک کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی متر استفاده شد. فاصله سر تا دم سیب به عنوان طول آن و بزرگترین قطر عمود بر آن در راستای خط استوایی سیب به عنوان عرض و در آخر قطر عمود بر طول و عرض به عنوان ضخامت سیب‌ها در نظر گرفته شد. جرم نمونه‌ها با یک ترازوی دیجیتالی به دقت ۰/۱ گرم اندازه گیری شد. قطر میانگین هندسی (D_g)، قطر میانگین حسابی (D_p)، کرویت (S_p) و مساحت سطح (S) با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (محسنین، ۱۹۸۶):

$$D_g = \sqrt[3]{LWT} \quad (1)$$

$$D_p = \left[L \frac{(W+T)^2}{4} \right]^{1/3} \quad (2)$$

$$S_p = \frac{(LWT)^{1/3}}{W} \quad (3)$$

$$S = \pi(D_g)^2 \quad (4)$$

جهت تعیین حجم (V) از روش جا به جایی آب استفاده شد و چگالی واقعی، چگالی حجمی، تخلخل و ضریب بسته بندی از روابط زیر به دست آمدند (محسنین، ۱۹۸۶):

$$\varphi_t = \frac{M}{V} \quad (5)$$

$$\varphi_b = \frac{M_f}{V_c} \quad (6)$$

$$P = \frac{V_c - V_o}{V_c} \times 100 \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{V_o}{V_c} \quad (8)$$

برای تعیین ضریب اصطکاک استاتیکی از وسیله ای مطابق شکل (۱) استفاده شد. با استفاده از این وسیله که بر اساس صفحه مایل کار می کند. زاویه سرش هر دو رقم بر روی سه سطح فولاد گالوانیزه، شیشه و چوب در آستانه لغزش به دست آمد و سپس ضریب اصطکاک استاتیکی از رابطه زیر محاسبه گردید (محسنین، ۱۹۸۶):

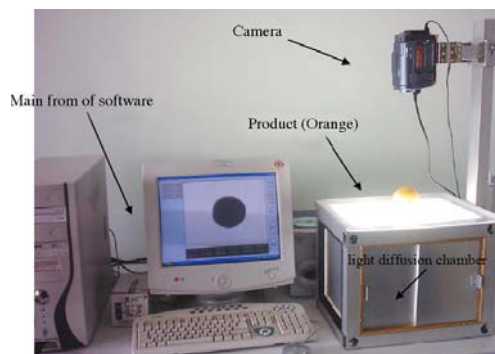
$$\mu_s = \tan\theta \quad (9)$$



که در آن:

θ = زاویه انحراف صفحه (درجه)

جهت محاسبه سطوح تصویر عمود (Projected Area) به اندازه گیری بر روی ضریب اصطکاک سطح تصویر عمود بر طول (PA_L)، سطح تصویر عمود بر عرض (PA_W) و سطح تصویر عمود بر ضخامت (PA_T)، از دستگاه نشان داده در شکل (۲)، با دقت ۰/۰۵ استفاده گردید.



شکل ۲- دستگاه مورد استفاده برای تعیین سطوح تصویر عمود (میراشه، ۲۰۰۶)

تعیین مدل های رگرسیونی

مدل های پیش بینی جرم بر اساس خصوصیات فیزیکی سیب به سه دسته زیر تقسیم بندی شد:

۱. مدل های خطی تک و چند متغیره بر اساس طول، عرض، ضخامت و قطر میانگین هندسی

۲. مدل های خطی تک و چند متغیره بر اساس سطوح تصویر عمود و مساحت سطح

۳. مدل های خطی تک و چند متغیره بر اساس حجم، حجم کره دو سر پهن و حجم کره دوکی شکل

در مورد دسته بندی سوم، چون برای پیش بینی جرم بر اساس حجم واقعی سیب، با سختی محاسبه حجم مواجه هستیم، شکل سیب ها را به صورت دو شکل هندسی منظم (کره دو سر پهن و کره دوکی شکل) در نظر می گیریم و حجم این دو شکل را از روابط زیر محاسبه می کنیم:

$$V_{osp} = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{L}{2}\right) \left(\frac{W}{2}\right)^2 \quad (10)$$

$$V_{ellip} = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{L}{2}\right) \left(\frac{W}{2}\right) \left(\frac{T}{2}\right) \quad (11)$$

که در این دو رابطه، V_{osp} و V_{ellip} به ترتیب حجم کره دو سر پهن (Oblate spheroid volume) و کره دوکی شکل (Ellipsoid volume) بر حسب cm^3 شکل می باشند.

برای ارزیابی عملکرد مدل ها و تشخیص بهترین مدل از سه پارامتر ضریب تعیین (R^2)، خطای میانگین مربعات ریشه (RMSE) و میانگین اشتباهات (ME) بین مقادیر پیش بینی شده و محاسبه شده، استفاده شد. به طوریکه، مدلی که R^2 بالاتر و RMSE کوچکتری دارد به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید.

خطای میانگین مربعات ریشه و میانگین اشتباهات از روابط زیر بدست آمدند:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{I=1}^n (M_{pre,i} - M_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum (M_{pre,i} - M_{exp,i}) \quad (13)$$

که در این روابط:

$\hat{i} = M_{pre,i}$ امین جرم پیش بینی شده بر اساس مدل مربوطه

$\hat{i} = M_{exp,i}$ امین جرم بدست آمده از آزمایش

n = تعداد مشاهدات

برای تعیین درصد بهبود یک مدل نسبت به یک مدل مبنا (مدلی با بالاترین خطای میانگین مربعات ریشه) پارامتر بهبود نسبی^۱ (RI) برحسب درصد به قرار زیر محاسبه گردید:

$$RI = \frac{RMSE_{Mi} - RMSE_{Mj}}{RMSE_{Mi}} \times 100 \quad (14)$$

که در این فرمول:

$RMSE_{Mi}$ = بیشترین خطای میانگین مربعات ریشه مربوط به \hat{i} امین مدل

$RMSE_{Mj}$ = خطای میانگین مربعات ریشه مربوط به \hat{j} امین مدل

تمام مدل ها بر اساس معادله زیر به دست آمدند:

$$Y = K + k_1 X_1 + k_2 X_2 + \dots + k_n X_n \quad (15)$$

که در این معادله:

Y = متغیر وابسته (در این تحقیق، جرم)

X_1, X_2, \dots, X_n = متغیرهای مستقل (طول، عرض، ضخامت، سطح تصویر عمود و ...)

K, k_1, k_2, \dots, k_n = ضرایب رگرسیون

K = ثابت رگرسیون

در مورد خواص فیزیکی، تمام داده ها با استفاده از آنالیز واریانس ANOVA و آزمون چند دامنه ای دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای پیش بینی مدل ها از نرم افزار SPSS-17 و روش گام به گام در رگرسیون خطی استفاده شد. روش گام به گام روشی است که در آن قوی ترین متغیرها یک به یک وارد معادله می شوند و این کار تا زمانی ادامه می یابد که خطای آزمون معنی داری به ۰.۵٪ برسد (کلانتری، ۱۳۸۲).

نتایج و بحث

خواص فیزیکی

خلاصه ای از نتایج بدست آمده برای خواص فیزیکی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی بدست آمده برای گلاب کهنز و شفیع آبادی

خواص	تعداد مشاهدات	شفیع آبادی			گلاب کهنز			سطح معنی دار
		ماکزیمم	مینیمم	انحراف ± میانگین معیار	ماکزیمم	مینیمم	انحراف ± میانگین معیار	
محتوای رطوبت (w.b)	۳	۸۴/۷	۸۳/۵	^b ۸۳/۹±۰/۷	۸۶	۸۴/۹۴	^a ۸۵/۹۱±۰/۵۸	*
جرم (g)	۱۰۰	۱۲۳/۱۳	۴۴/۱۱	^a ۷۵/۶۷±۱۴/۴۲	۹۷/۳۳	۴۶/۶۱	^b ۶۴/۲۲±۱۳/۲	*
طول (mm)	۱۰۰	۶۲/۷۷	۴۳/۰۵	^a ۵۳/۰۹±۳/۸۶	۶۰/۳۲	۴۴/۴۱	^b ۵۱/۵۶±۳/۸۲	*
عرض (mm)	۱۰۰	۷۱/۶	۵۱/۸	^a ۵۹/۳۷±۳/۸۳	۶۴/۲۸	۴۸/۸۵	^b ۵۴/۸۶±۳/۸۳	*
ضخامت (mm)	۱۰۰	۶۷/۶	۴۶/۳۶	^a ۵۷/۰۲±۳/۹۷	۶۳/۷۶	۴۰/۴۱	^b ۵۳/۰۳±۳/۹۸	*
سطح تصویر عمود (mm²)								
PA _L	۱۰۰	۴۱۹۱	۱۹۶۹	^a ۲۹۱۲±۴۲۱/۸۸	۳۱۹۶	۱۵۰۹	^b ۲۳۰۵/۸۷±۳۲۷/۷۵	*
PA _W	۱۰۰	۳۹۷۵	۱۸۳۲	^a ۲۷۹۸/۷۴±۴۲۵/۱۷	۳۰۳۵	۱۴۲۸	^b ۲۲۳۲/۷۷±۲۹۷/۵۵	*
PA _T	۱۰۰	۴۰۳۷	۱۹۸۲	^a ۲۸۶۲/۹±۴۰۴/۶	۳۰۰۲	۱۶۴۸	^b ۲۳۰۰/۱۷±۳۱۰/۰۲	*
مساحت سطح (mm ²)	۱۰۰	۱۴۱۹۷	۶۹۲۰/۱	^a ۱۰۰۴۱/۸±۱۳۲۱/۲	۱۲۱۲۱	۷۰۵۵/۶	^b ۸۹۰۲/۱±۱۲۱۴/۵	*
قطر میانگین هندسی (mm)	۱۰۰	۶۷/۲۲	۴۶/۹۳	^a ۵۶/۴۱±۳/۶۷	۶۲/۱۱	۴۷/۴	^b ۵۳/۱۱±۳/۵۸	*
قطر میانگین حسابی (mm)	۱۰۰	۶۷/۳۲	۴۷/۰۷	^a ۵۶/۳±۴۳/۶۷	۶۲/۱۷	۴۷/۴	^b ۵۳/۱۵±۳/۵۸	*
حجم میوه (cm ³)	۱۰۰	۱۶۵/۳۳	۵۷/۱۴	^a ۹۹/۹۴±۲۰/۰۳	۱۲۸/۳۴	۵۸/۹۳	^b ۸۲/۸±۱۷/۶۲	*
چگالی واقعی (g cm ⁻³)	۱۰۰	۰/۸۷	۰/۶۴	^b ۰/۷۵±۰/۰۲	۰/۹۱	۰/۷۱	^a ۰/۷۷±۰/۰۲	*
چگالی حجمی (g cm ⁻³)	۳	۰/۵۴	۰/۵	^a ۰/۵۲±۰/۰۱	۰/۵	۰/۴۴	^b ۰/۴۶±۰/۰۲	**
کرویت	۱۰۰	۰/۹۹	۰/۸۸	^b ۰/۹۵±۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۳	^a ۰/۹۶±۰/۰۱	*
ضریب بسته بندی	۳	۰/۷	۰/۶۶	^a ۰/۶۸±۰/۰۱	۰/۶۳	۰/۵۶	^b ۰/۶±۰/۰۳	**
تخلخل (%)	۳	۳۳/۲۴	۳۰/۴۷	^b ۳۱/۸۲±۱/۳۸	۴۶/۳۶	۳۶/۵۷	^a ۳۹/۹۵±۳/۴	**
ضریب اصطکاک استاتیکی								
فولاد گالوانیزه	۳	۰/۵	۰/۴۶	^a ۰/۴۸±۰/۰۲	۰/۵۷	۰/۵	^a ۰/۵۲±۰/۰۴	ns
چوب	۳	۰/۵۵	۰/۴۶	^a ۰/۵۵±۰/۰۴	۰/۶	۰/۴۶	^a ۰/۵۵±۰/۰۷	ns
شیشه	۳	۰/۴۸	۰/۴۲	^a ۰/۴۶±۰/۰۲	۰/۵	۰/۴۴	^a ۰/۴۸±۰/۰۳	ns

* سطح معنی دار ۰.۱ و ** سطح معنی دار ۰.۰۵٪

ns: سطح بی معنی

a, b نشان دهنده اختلاف آماری بین ردیف ها هستند

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود که تمام خواص مربوطه، به جز، چگالی حجمی، کرویت و ضریب بسته بندی که در سطح آماری ۰.۵٪ معنی دار بودند و ضریب اصطکاک استاتیکی که برای هیچ سطحی معنی دار نبود، بقیه در سطح آماری ۱٪ معنی دار بودند. مطابق جدول (۱)، میانگین نتایج مربوط به طول، عرض و ضخامت برای رقم گلاب کهنز به ترتیب، ۵۱/۵۶، ۵۴/۸۶ و ۵۳/۰۳ میلیمتر بوده و نتایج مشابه برای رقم شفیع آبادی به ترتیب، ۵۳/۰۹، ۵۹/۳۷ و ۵۷/۰۲ میلیمتر می باشد. با توجه به نتایج مشخص می شود که بعد عرض در هر دو رقم از بقیه ابعاد بزرگتر بوده و رقم شفیع آبادی نیز در مقایسه با رقم گلاب کهنز از ابعاد بزرگتری برخوردار است. خیر علی پور و همکاران (۲۰۰۸) خواص فیزیکی دو رقم سیب رداسپار و دلواراستیوال را بررسی کردند و دریافتند که میانگین طول، عرض و ضخامت برای رقم رداسپار به ترتیب، ۷۴/۷۸، ۸۳/۸ و ۸۰/۳۷ میلیمتر بوده و برای رقم دلواراستیوال به ترتیب برابر، ۵۸/۳۱، ۶۷ و ۶۵/۰۴ میلیمتر می باشد. آگاهی از ابعاد و اندازه های یک محصول می تواند برای تشخیص اندازه روزنه های غربال های یک ماشین درجه بندی استفاده شود (میرزایی و همکاران، ۲۰۰۸). قطرهای میانگین هندسی و حسابی به ترتیب، ۵۶/۴۱ و ۵۶/۳ میلیمتر برای شفیع آبادی و ۵۳/۱۱ و ۵۳/۱۵ میلیمتر برای گلاب کهنز به دست آمد که اختلافشان در سطح آماری ۱٪ معنی دار بود ($P < 0.01\%$). نتایج برای سطوح تصویر عمود بر طول، عرض و ضخامت و همچنین مساحت سطح به ترتیب، ۲۹۱۲، ۲۷۹۸/۷۴ و ۲۸۶۲/۹ (mm^2)، ۱۰۰۴۱/۸ و ۲۳۰۵/۸۷، برای رقم شفیع آبادی و ۲۳۳۲/۷۷، ۲۳۰۰/۱۷ و ۸۹۰۲/۱ (mm^2)، به ترتیب برای رقم گلاب کهنز بدست آمد که نشان می دهد که سطح تصویر عمود بر طول در هر دو رقم بزرگتر از دیگر سطوح تصویر است. در مقایسه با نتایج به دست آمده توسط طباطبایی فر و رجبی پور (۲۰۰۵) برای یک رقم سیب (مخلوط رد دلشز و گلدن دلشز)، سطوح تصویر عمود و مساحت سطح مربوط به گلاب کهنز و شفیع آبادی کوچکتر از رقم ذکر شده بود. حجم میوه، چگالی واقعی و چگالی حجمی به ترتیب (cm^3)، ۹۹/۹۴ (gcm^{-3}) و ۰/۷۵ و ۰/۵۲ برای رقم شفیع آبادی و (cm^3)، ۸۲/۸ (gcm^{-3}) و ۰/۷۷ و ۰/۴۶ به ترتیب برای رقم گلاب کهنز به دست آمدند. حجم و چگالی واقعی دارای اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ بودند ($P < 0.01\%$) و چگالی حجمی دارای اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ بود ($P < 0.05\%$). از چگالی محصولات می توان برای دسترسی به کیفیت آنها و یا در انتقال هیدرولیکی و پنوماتیکی آنها استفاده کرد. کرویت، ضریب بسته بندی و تخلخل به ترتیب، ۰/۹۵، ۰/۶۸ و ۰/۳۱/۸۲، برای شفیع آبادی و به ترتیب، ۰/۹۶، ۰/۶ و ۰/۳۹/۹۵، برای گلاب کهنز به دست آمدند. کرویت در سطح ۱٪ و ضریب بسته بندی و تخلخل در سطح آماری ۵٪ معنی دار بودند. بر خلاف نتایج تیوز و همکاران (۲۰۰۵) در این مطالعه با افزایش حجم مقدار ضریب بسته بندی افزایش یافت. ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی سطوح فولاد، چوب و شیشه به ترتیب، ۰/۴۸، ۰/۵ و ۰/۴۶ برای شفیع آبادی و به ترتیب، ۰/۵۲، ۰/۵۵ و ۰/۴۸ برای گلاب کهنز به دست آمد. برای این خصوصیت هیچ اختلاف معنی داری در مورد هر سه سطح پیدا نشد. در مقایسه با دیگر میوه ها، ضریب اصطکاک استاتیکی سیب از پرتقال (اشمیت و همکاران، ۱۹۹۵) و خرما (جهرمی و همکاران، ۲۰۰۷) بیشتر است.

مدل های جرمی

خلاصه ای از نتایج به دست آمده در مورد مدل های پیش بینی جرم بر اساس برخی از خصوصیات انتخاب شده در جداول (۲) و (۳) به ترتیب برای رقم شفیع آبادی و گلاب کهنز آورده شده است:

جدول ۲- مدل های به دست آمده برای پیش بینی جرم بر اساس خواص فیزیکی انتخاب شده برای رقم گلاب کهنز

شماره مدل	مدل	R ²	RMSE	ME	RI
۱	$M = k_1 W + K$	۰/۹۱	۳/۸۶	۰/۰۰	۳۴
۲	$M = k_1 W + k_2 L + K$	۰/۹۳	۳/۳۱	۰/۰۰	۴۳
۳	$M = k_1 W + k_2 L + k_3 T + K$	۰/۹۴	۳/۱۳	۰/۰۱	۴۶
۴	$M = k_1 PA_T + K$	۰/۷۹	۵/۸۷	-۰/۱۹	۰
۵	$M = k_1 PA_T + k_2 PA_W + K$	۰/۸۱	۵/۷۳	۰/۹۱	۲
۶	$M = k_1 PA_T + k_2 PA_W + k_3 PA_L + K$	۰/۸۲	۵/۶۳	۰/۹۱	۴
۷	$M = k_1 S + K$	۰/۹۳	۵/۳۹	۴/۲۴	۸
۸	$M = k_1 D_g + K$	۰/۹۳	۳/۴۶	۰/۰۰	۴۱
۹	$M = k_1 V_m + K$	۰/۹۸	۱/۵۸	-۰/۰۳	۷۳
۱۰	$M = k_1 V_{\text{ellip}} + K$	۰/۹۴	۳/۱۵	۰/۰۲	۴۶
۱۱	$M = k_1 V_{\text{osp}} + K$	۰/۸۴	۵/۲	۰/۰۳	۱۱

جدول ۳- مدل‌های به دست آمده برای پیش بینی جرم بر اساس خواص فیزیکی انتخاب شده برای رقم شفیق آبادی

شماره مدل	مدل	R ²	RMSE	ME	RI
۱	$M = k_1 T + K$	۰/۸۷	۵/۰۸	۰/۰۱	۵
۲	$M = k_1 T + k_2 L + K$	۰/۹۱	۴/۱۱	-۰/۰۱	۲۳
۳	$M = k_1 T + k_2 L + k_3 W + K$	۰/۹۳	۳/۵۴	۰/۰۰	۳۴
۴	$M = k_1 PA_T + K$	۰/۹۳	۳/۸۳	۱/۳۶	۲۸
۵	$M = k_1 PA_T + k_2 PA_W + K$	۰/۹۴	۳/۳۳	-۰/۲	۳۷
۶	$M = k_1 PA_T + k_2 PA_W + k_3 PA_L + K$	۰/۹۴	۳/۳	-۰/۷۴	۳۸
۷	$M = k_1 S + K$	۰/۹۴	۵/۳۷	۴/۰۷	۰
۸	$M = k_1 D_g + K$	۰/۹۳	۳/۵۸	-۰/۰۲	۳۳
۹	$M = k_1 V_m + K$	۰/۹۵	۲/۹۶	۰/۰۴	۴۴
۱۰	$M = k_1 V_{\text{ellip}} + K$	۰/۹۴	۳/۴۵	۰/۰۲	۳۵
۱۱	$M = k_1 V_{\text{osp}} + K$	۰/۸۸	۴/۸۶	-۰/۰۱	۹

مدل‌های پیش بینی شده بر اساس ابعاد

با توجه به نتایج به دست آمده بهترین مدل برای هر دو رقم، یک مدل بر پایه هر سه بعد است (مدل شماره ۳) که دارای بالاترین ضریب تعیین (R^2) و پایین ترین RMSE است. هرچند مدلی با این شکل (بر اساس سه بعد) موجب پیچیدگی در کار یک ماشین درجه بندی شده و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه نیست. که این دو مدل به همراه ثابت‌های آنها در معادله‌های (۱۶) و (۱۷) به ترتیب برای گلاب کهنز و شفیع آبادی آورده شده است:

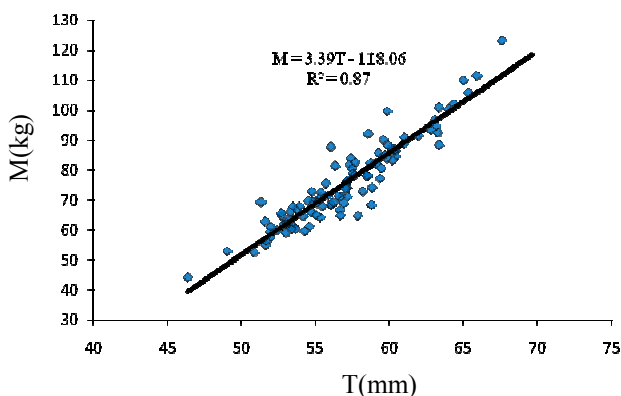
$$M = 2.03W + 0.79L + 0.69T - 125.33 \quad (16)$$

$$M = 1.22T + 1.13L + 1.43W - 139.96 \quad (17)$$

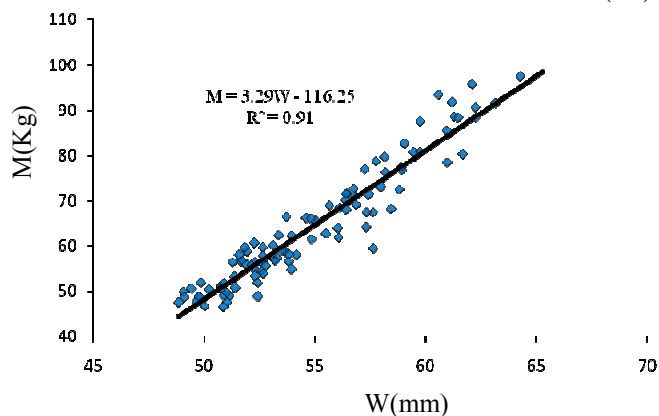
در میان مدل های تک متغیره بهترین مدل برای پیش بینی جرم در رقم شفیع آبادی، مدلی بر اساس ضخامت (شکل ۳) و برای رقم گلاب کهنز، مدلی بر اساس عرض (شکل ۴) می باشد (مدل شماره ۱ در جداول ۲ و ۳) که به ترتیب در معادلات (۱۸) و (۱۹) آورده شده اند:

$$M = 3.39T - 118.06 \quad (18)$$

$$M = 3.29W - 116.25 \quad (19)$$



شکل ۳- مدل جرم بر اساس ضخامت برای رقم شفیع آبادی



شکل ۴- مدل جرم بر اساس عرض برای رقم گلاب کهنز

مدل های به دست آمده بر اساس قطر میانگین هندسی برای شفیع آبادی و گلاب کهنز به ترتیب در معادلات (۲۰) و (۲۱) آورده شده اند:

$$M = 3.79 D_g - 138.68 \quad (20)$$

$$M = 3.55 D_g - 124.37 \quad (21)$$

طباطبایی فر و رجبی پور (۲۰۰۵)، برای پیش بینی جرم یک رقم مخلوط از رد دلشیز و گلدن دلشیز، یک معادله درجه ۲ بر اساس قطر کوچک ارائه دادند ($M = 0.08C^2 - 4.74 + 5.14$) که معادلات ارائه شده در این مطالعه، خطی بوده و ساده تر می باشند.

مدل های پیش بینی شده بر اساس سطح تصویر

در میان مدل های ارائه شده برای دسته دوم (مدل های ۴ تا ۶)، مدل شماره ۶ برای هر دو رقم دارای بیشترین R^2 و کمترین RMSE می باشد که این دو مدل در معادلات (۲۲) و (۲۳)، به ترتیب برای شفیغ آبادی و گلاب کهنز آورده شده اند:

$$M = 0.01PA_T + 0.01PA_W + 0.006PA_L - 21.8 \quad (22)$$

$$M = 0.02PA_T + 0.01PA_W - 0.001PA_L - 25.78 \quad (23)$$

بهترین مدل در میان مدل های تک متغیره برای هر دو رقم، مدلی (مدل شماره ۴) بر اساس تصویر عمود بر طول می باشد، که در معادلات (۲۴) و (۲۵) به ترتیب برای شفیغ آبادی و گلاب کهنز آورده شده اند:

$$M = 0.03PA_T - 23.16 \quad (24)$$

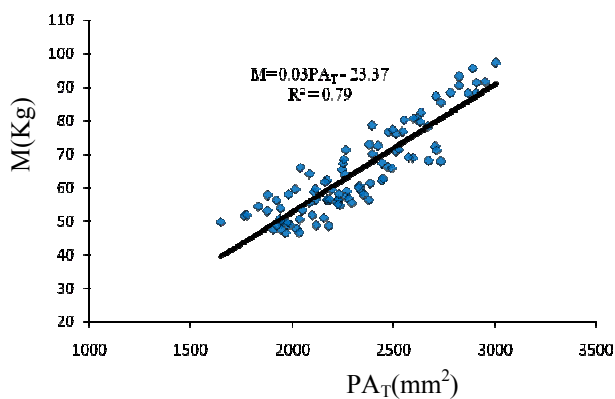
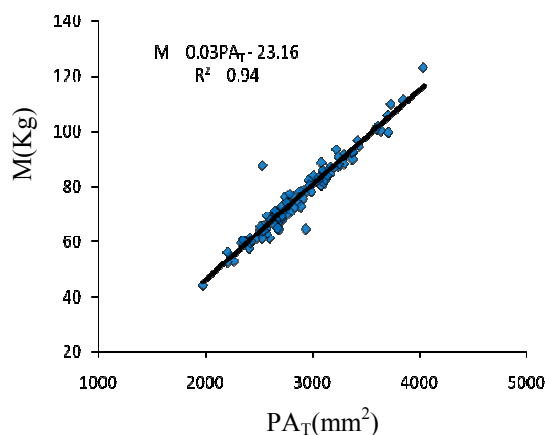
$$M = 0.03PA_T - 23.37 \quad (25)$$

از روی نحوه پراکنش داده ها در اشکال (۵) و (۶)، به ترتیب مربوط به شفیغ آبادی و گلاب کهنز، نیز می توان فهمید که بهترین خط برازش داده شده بر داده ها یک خط راست می باشد.

طباطبایی فر و رجبی پور (۲۰۰۵) نیز یک مدل درجه دو بر اساس سطح تصویر عمود بر کوچکترین قطر سیب ارائه دادند ($M = 0.009(PA_3)^2 + 3.4PA_3 - 15.7$). مدل ارائه شده بر اساس مساحت سطح برای رقم شفیغ آبادی در معادله (۲۶) و برای گلاب کهنز در معادله (۲۷) آورده شده اند:

$$M = 0.01S - 30.7 \quad (26)$$

$$M = 0.01S - 29.45 \quad (27)$$



شکل ۶- مدل جرم بر اساس سطح تصویر عمود بر طول برای شکل ۵- مدل جرم بر اساس سطح تصویر عمود بر طول برای رقم شفیغ آبادی

رقم گلاب کهنز

مدل‌های پیش بینی شده بر اساس حجم

معادلات پیش بینی جرم بر اساس حجم در جداول ۲ و ۳ (مدل‌های ۹ تا ۱۱)، به ترتیب برای گلاب کهنز و شفیع آبادی آورده شده‌اند. چون محاسبه حجم واقعی سیب در عمل مشکل است، بنابراین علاوه بر مدل ارائه شده بر اساس حجم واقعی میوه از دو مدل دیگر بر مبنای دو حجم محاسبه شده (حجم کره دو سر پهن و حجم کره دوکی شکل) استفاده شد. از میان این دو مدل (مدل‌های ۱۰ و ۱۱)، مدلی که بر اساس حجم کره دوکی شکل بود، (مدل شماره ۱۰) با بالاترین مقدار R^2 و پایین‌ترین مقدار RMSE برای هر دو رقم به عنوان بهترین مدل انتخاب شد که معادله آن در فرمول‌های (۲۸) و (۲۹) به ترتیب برای شفیع آبادی و گلاب کهنز آورده شده است:

$$M = 0.73V_{\text{ellip}} + 5.52 \quad (28)$$

$$M = 0.78V_{\text{ellip}} + 2.22 \quad (29)$$

برای محاسبه RI، در رقم گلاب کهنز مدل شماره ۴ و در رقم شفیع آبادی مدل شماره ۷ با بالاترین مقادیر RMSE به عنوان مدل‌های مبنا در نظر گرفته شدند و درصد بهبود و پیشرفت سایر مدل‌ها نسبت به این دو مدل برای هر رقم سنجیده شد. مثلاً در جدول (۲)، مدل شماره ۱ نسبت به مدل مبنا (مدل ۴)، ۳۴٪ برتری دارد.

نتیجه گیری

۱. تمام خواص فیزیکی بررسی شده در سطوح آماری ۱٪ و ۵٪ دارای اختلاف معنی داری بودند به جز ضریب اصطکاک استاتیکی که برای هیچکدام از سه سطح لغزشی دارای اختلاف معنی داری نبود.

۲. خواص به دست آمده برای رقم شفیع آبادی در ابعاد و حجم و سطح تصویر بزرگتر از رقم گلاب کهنز بود.

۳. بهترین مدل چند متغیره براساس ابعاد برای رقم گلاب کهنز $M = 2.03W + 0.79L + 0.69T - 125.33$ با $R^2 = 0.94$ و برای رقم شفیع آبادی $M = 1.22T + 1.13L + 1.43W - 139.96$ با $R^2 = 0.93$ و بهترین مدل‌های تک متغیره، $M = 3.29W - 116.25$ برای گلاب کهنز و $M = 3.39T - 118.06$ برای شفیع آبادی به دست آمد.

۴. بهترین مدل چند متغیره براساس سطح تصویر عمود برای رقم گلاب کهنز $M = 0.02PA_T + 0.01PA_W - 25.78$ با $R^2 = 0.82$ و برای رقم شفیع آبادی $M = 0.01PA_T + 0.01PA_W + 0.006PA_L - 21.8$ با $R^2 = 0.94$ و بهترین مدل‌های تک متغیره، $M = 0.03PA_T - 23.37$ برای گلاب کهنز و $M = 0.03PA_T - 23.16$ برای شفیع آبادی به دست آمد.

۵. در مورد مدل‌های ارائه شده بر اساس حجم، مناسب‌ترین مدل، مدلی براساس حجم کره دوکی شکل برای هر دو رقم بود.

۶. در آخر مدل شماره ۱ به عنوان بهترین و اقتصادی ترین مدل برای هر دو رقم پیشنهاد می‌شود.

1. **Al-Maiman S, Ahmad D. 2001.** Changes in Physical and Chemical Properties during Pomegranate Fruit Maturation. Department of Food Science and Nutrition, King Saud University.
2. **Beyer M, Hahn R, Peschel S, Harz M, Knoche B. 2002.** Analyzing fruit shape in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Sci. Hort.*, 96, 139-150.
3. **Chuma Y, Uchida S, Shemsanga HH. 1982.** Simultaneous measurement of size, surface area, and volume of grains and soybean. *Transaction of the ASAE*, 25(6), 1752-1756.
4. **FAO, 2007.** FAOSTAT database. Available at: <http://faostat.fao.org/>.
5. **Keramat Jahromi, M, Rafiee S, Jafari A, Tabatabaeefer A. 2007.** Determination of dimension and area properties of date (Berhi) by image analysis. In: International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering and Post Harvest/Production Technology, Khon Kaen, Thailand, 21–24 January.
6. **Kheiralipour K, Tabatabaeefer, Mobli H, Rafiee S, Sharifi M, Jafari A and Rajabipour A. 2008.** Some physical and hydrodynamic properties of two varieties of apple (*Malus domestica* Borkh L.). *Int. Agrophysics*, 22, 225-229.
7. **Khodabandehloo H. 1999.** Physical properties of Iranian export apples. M.S. Thesis. Tehran University, Karaj, Iran, pp. 1–102.
8. **LoRESTANI A.N, Tabatabaeefer A. 2006.** Modeling the mass of Kiwi fruit by geometrical attributes. *Int. Agrophys*, 20, 135–139.
9. **Mirasheh R. 2006.** Designing and Making Procedure for a Machine Determining Olive Image Dimensions. M.Sc. Thesis., Faculty of Biosystems Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.
10. **Mirzaee E, Rafiee S, Keyhani A.R, Emam jom-eh Z and Kheiralipour.K. 2008.** Mass modeling of two varieties of apricot (*prunus armenaica* L.) with some physical Characteristics. *Plant omics journal*, 1(1), 37-43.
11. **Mohsenin N.N. 1986.** Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, pp. 20–89.
12. **Ozturk I, Ercisli S, Kalkan F, Demir B. 2009.** Some chemical and physico-mechanical properties of pear cultivars. *Afric. J. Bio*, 8 (4), 687-693, 18.
13. **Peleg K, Ramraz Y. 1975.** Optimal sizing of citrus fruit. *Trans. ASAE.*, 18 (6), 1035–1039
14. **Safa M, Khazaei J. 2003.** Determining and modeling some physical properties of pomegranate fruits of saveh area related to peeling and packaging. *Proc. Int. Cong., Food and Environ.*, October 7-10, Izmir, Turkey.
15. **Safwat M.A, Moustafa M. 1971.** Theoretical prediction of volume, surface area, and center of gravity for agricultural products. *Transactions of the ASAE*, 14(4), 549-553.
16. **Schmidt H, Vittrup Christensen J, Watkins R, Smith R.A. 1995.** Cherry descriptors. ECSC, EEC, EAEC, Brussels, Lux and Int. Board. *Plant Gen Res.*, Rome, Italy.
17. **Sharifi M, Rafiee S, Keyhani A, Jafari A, Mobli H, Rajabipour A, Akram A. 2007.** Some physical properties of orange (var. Tompson). *Int. Agrophysics*, 21, 391-397.
18. **Tabatabaeefer A and Rajabipour A. 2005.** Modeling the mass of apples by geometrical attributes. *Scientia Hort.* vol. 105, 373–382.
19. **Tabatabaeefer A, Vefagh-Nematolahee A and Rajabipour A. 2000.** Modeling of orange mass based on dimensions. *Agric. Sci. Tech.* 2, 299–305.
20. **Topuz A, Topakci M, Canakci M, Akinci I, Ozdemir F. 2005.** Physical and nutritional properties of four orange varieties. *J. Food Eng. Res.*, 66, 519-523.

Investigation of linear mass modeling by attribute physical of two Iranian apple varieties

Abstract

In this research physical properties of two Iranian apple (*Golab Kohanz* and *Shafi Abadi*) varieties were considered as: mass, dimension (length, width and thickness), geometric mean diameter, arithmetic mean diameter, projected area, surface area, volume fruit, sphericity, porosity, bulk and true densities, coefficient packaging and coefficient of static friction on various surfaces (galvanized steel, wood and glass). Average moisture content of the *Golab Kohanz* (GK) and *Shafi Abadi* (SA) varieties were 86% and 84% (w.b.), respectively. Mass models were determined based on dimensions, projected area and volume by linear regression and stepwise method. Based on statistical analysis, the properties were statistically different at 1% and 5% levels of significance for both varieties. However, the differences between the two studied varieties in the case of coefficient of static friction on various surfaces were not significant. Among single variable models in dimension, the best models were based on width and thickness for *Golab Kohanz* and *Shafi Abadi* varieties, respectively. For multiple variable regression models the best models were based on three dimension and three projected areas for all observations. The performance of the models was evaluated by a set of test data using three different measures including the root mean square error (RMSE), the coefficient of determination (R²) and the mean error (ME) between predicted and measured values. To compare the performance of any two models M_i and M_j with respect to M_i, a relative improvement (RI) was calculated.

Keywords: physical properties, linear model, coefficient of determination, Golab Kohanz, Shafi Abadi