



مدل‌سازی عمق نشست میوه سیب گلدن دلشیز در آب

فرشید مرزبانی^{۱*}، کامران خیرعلی‌پور^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و عضو هیأت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه

ایلام

ایمیل مکاتبه کننده: fmarzbany@gmail.com

چکیده

عمق نشست به عنوان یک مشخصه مهم هیدرودینامیکی در انتقال هیدرولیکی میوه‌ها و سبزی‌ها با جرم حجمی کمتر از آب دارای اهمیت می‌باشد. در تحقیق به عمل آمده، عمق نشست میوه سیب رقم گلدن دلشیز توسط یک ستون آب و یک دوربین دیجیتال و برخی مشخصه‌های فیزیکی آن بر اساس روش‌های استاندارد تعیین گردید. سپس عمق نشست با استفاده از نرم‌افزار MATLAB 2010a به صورت چندمتغیره مدل‌سازی شد. پارامترهای مورد نظر در مدل‌سازی ارتفاع رها شده میوه و مشخصه‌های فیزیکی آن شامل جرم حجمی، جرم و حجم بود. بهترین مدل بر اساس جرم حجمی، حجم و ارتفاع رها شده با ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) به ترتیب برابر $0/83$ و $5/24 \times 10^{-6}$ به دست آمد.

واژه های کلیدی: سیب، مدل‌سازی چندمتغیره، عمق‌نشست، انتقال هیدرولیکی، مشخصه‌های فیزیکی.

مقدمه

ارزش غذایی میوه سیب (در ۱۰۰ گرم بافت تازه) به ترتیب شامل ۸۴/۴ گرم آب، پروتئین ۰/۳ گرم، چربی ۰/۱ گرم، قند ۱۴/۷ گرم، نشاسته ۰/۲ گرم، مواد فیبری ۲/۳ گرم، ویتامین ث ۵ میلی‌گرم، بتاکارتن ۵ میلی‌گرم، پتاسیم ۱۰۰ میلی‌گرم و کلسیم ۴ میلی‌گرم می‌باشد (بابالار و همکاران، ۱۳۸۷). چین بزرگ‌ترین تولید کننده میوه سیب با تولید سالانه ۳۷ میلیون تن و ایران با تولید سالانه ۱/۷ میلیون تن هفتمین تولید کننده در جهان در سال ۲۰۱۲ می‌باشند (فائو، ۲۰۱۲). سطح زیرکشت سیب در ایران در سال ۱۳۹۲، ۲۳/۱۷ میلیون هکتار، و از این مقدار ۱۹/۸۲ میلیون هکتار سطح بارور می‌باشد (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۲). تا اکنون تحقیقات زیادی در زمینه تعیین خواص فیزیکی ارقام مختلف سیب انجام شده است (فلتچر و همکاران، ۱۹۶۵، فلتچر و همکاران ۱۹۷۲۱، محسنین و همکاران، ۱۹۶۲، محسنین و همکاران، ۱۹۶۳، محسنین و همکاران، ۱۹۷۲، پانچ و همکاران، ۱۹۹۲، رودت و همکاران، ۱۹۹۱). همچنین سرعت حد و زمان بالا آمدن میوه سیب در آب تعیین و مدل‌سازی شده است (خیرعلی‌پور و همکاران، ۱۳۸۷، خیرعلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۰، محسنین و همکاران، ۱۹۸۶). عمق نشست میوه‌ها و سبزی‌ها در آب، با جرم حجمی کمتر از آب، عبارت است از فاصله‌ای از سطح



آب تا عمقی که میوه یا سبزی مورد نظر در آب نفوذ کرده و سپس به سطح آب برگشت می‌نماید عمق نشست به عنوان یک مشخصه مهم هیدرودینامیکی در انتقال هیدرولیکی میوه‌ها و سبزی‌ها با جرم‌حجمی کمتر از آب دارای اهمیت می‌باشد (خیرعلی پور ۲۰۱۴). یکی از کاربردهای عمق نشست این است که عمق آب برای جلوگیری از ضربه زدن میوه هنگام سقوط از یک ارتفاع، باید مقدار مناسبی باشد، در غیر این صورت باید از مواد ضربه‌گیر استفاده شود (محسنین و همکاران، ۱۹۸۶). خیرعلی پور^۱ یک مدل تئوری را برای عمق نشست میوه‌ها و سبزی‌های با جرم‌حجمی کمتر از آب ارائه دادند (خیرعلی پور ۲۰۱۴) اما، عمق نشست میوه سیب تعیین یا مدل سازی نشده است. لذا این پژوهش در ادامه تحقیق مربوط به مدل تئوری برای عمق نشست میوه‌ها و سبزی‌ها، اما برای تعیین و مدل‌سازی چندمتغیره عمق نشست میوه سیب به صورت آزمایشگاهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از رابطه (۱) برای مدل‌سازی عمق نشست سیب استفاده شد.

$$d = \frac{2d_0(\rho_f - \rho_a)V^{\frac{n+1}{3}}}{(\rho_w - \rho_f)V^{\frac{n+1}{3}} + K\mu_w^n \rho_w^{1-n} S_h \left(2gd_0 \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_f} \right) \right)^{\frac{2-n}{2}}} \quad (1)$$

در این رابطه d عمق نشست میوه، d_0 ارتفاع رها شده، ρ_f چگالی میوه، v حجم میوه، ρ_a چگالی هوا، ρ_w چگالی آب، u_w گرانشی آب، s_h ضریب شکل میوه، g شتاب ثقل و k و n ضرایب ثابت هستند (خیرعلی پور ۲۰۱۴). این رابطه بیان می‌کند که اگر یک میوه یا سبزی با حجم و جرم‌حجمی مشخصی از ارتفاع d_0 بالاتر از سطح آب رها شود (از حالت سکون) تا عمق d در آب نفوذ می‌نماید. این رابطه با در نظر گرفتن نیروهای وارد بر میوه در حین سقوط در هوا (نیروی وزن، نیروی شناوری در هوا و نیروی بازدارنده از طرف هوا) و سپس برخورد با آب با یک سرعت مشخص و نفوذ در آن و با در نظر گرفتن نیروهای وارد بر میوه در آب (نیروی وزن، نیروی شناوری در آب و بازدارنده از طرف آب) تا رسیدن به سرعت صفر و تغییر جهت حرکت آن (برای برگشتن به سطح آب) به دست آمد. اثبات این رابطه در منبع (خیرعلی پور ۲۰۱۴) آمده است. با معکوس کردن d در رابطه (۱)، فرمول زیر بدست می‌آید:



$$\frac{1}{d} = \frac{(\rho_w - \rho_f)V^{\frac{n+1}{3}} + K_6\mu_w^n\rho_w^{1-n}S_h\left(2gd_0\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_f}\right)\right)^{\frac{2-n}{2}}}{2d_0(\rho_f - \rho_a)V^{\frac{n+1}{3}}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{d} = \frac{(\rho_w - \rho_f)V^{\frac{n+1}{3}}}{2d_0(\rho_f - \rho_a)V^{\frac{n+1}{3}}} + \frac{K_6\mu_w^n\rho_w^{1-n}S_h\left(2gd_0\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_f}\right)\right)^{\frac{2-n}{2}}}{2d_0(\rho_f - \rho_a)V^{\frac{n+1}{3}}} \quad (3)$$

با ساده کردن رابطه (۳) داریم:

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{2d_0} \frac{(\rho_w - \rho_f)}{(\rho_f - \rho_a)} + \frac{K_6\mu_w^n\rho_w^{1-n}S_h(2gd_0)^{\frac{2-n}{2}}(\rho_f - \rho_a)^n V^{\frac{-n+1}{3}}}{2d_0 \rho_f} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، با جایگزینی K_8 بجای $\frac{K_6\mu_w^n\rho_w^{1-n}(2g)^{\frac{2-n}{2}}}{2}$ رابطه (۵) بدست می‌آید:

$$\frac{1}{d} = K_7d_0^{-1} \frac{(\rho_w - \rho_f)}{(\rho_f - \rho_a)} + K_8S_hd_0^{-n} \frac{(\rho_f - \rho_a)^n V^{\frac{-n+1}{3}}}{\rho_f} \quad (5)$$

با حذف جرم حجمی هوا و ρ_w از رابطه قبل داریم:

$$\frac{1}{d} = K_9d_0^{-1}\rho_f^{-1} - K_7d_0^{-1} + K_8S_hd_0^{-n}\rho_f^{\frac{-2n-2}{3}}m^{\frac{-n+1}{3}} \quad (7)$$

بنابراین، عمق نشست میوه‌ها و سبزی‌ها را می‌توان با استفاده از مدل‌های (۸) و (۹) بدست آورد.

$$\frac{1}{d} = Ad_0^{-1}\rho_f^{-1} + BS_hd_0^C\rho_f^Dm^E + Fd_0^{-1} + G \quad (9)$$

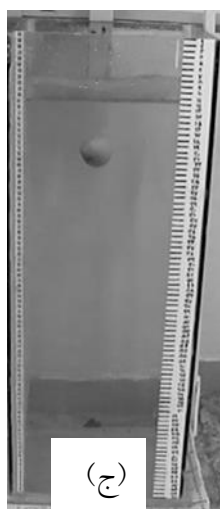


که در آن A، B، C، D، E، F و G عوامل ثابت هستند. تفاوت مدل‌های (۸) و (۹) تنها در حجم و جرم است.

تعیین خواص فیزیکی

در این پژوهش، تعداد ۱۹ نمونه میوه سیب رقم گلدن دلشیز به طور تصادفی برای انجام آزمایش‌ها، در دانشگاه ایلام، در نظر گرفته شد. جرم میوه‌ها با ترازوی دیجیتال (GF600 Model, A&D, Alviso USA) با دقت ۰/۰۱ تعیین شد سپس حجم و جرم حجمی آن‌ها به روش جابجایی آب تعیین گردید. یک ستون آب با ابعاد $90 \times 35 \times 35 \text{ cm}^3$ از جنس شیشه با ضخامت ۸ میلی‌متر تا ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر از آب پر شد (شکل ۱).

به منظور تعیین عمق نشست، هر میوه از سه ارتفاع مختلف (۱۰، ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر از بالای سطح آب) رها شده و فیلم حرکت آن‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال سونی با ۲۵ فریم در ثانیه ثبت گردید. هر میوه در هر ارتفاع سه بار رها شد. با استفاده از نرم‌افزار تبدیل فیلم به عکس تصاویر مربوطه بدست آمد و سپس پایین‌ترین نقطه سقوط میوه در ستون آب به عنوان عمق نشست آن ثبت گردید.



شکل ۱. حرکت سیب (الف) لحظه رها شدن با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از سطح آب، (ب) سیب در سطح آب و (ج) سیب در عمق نشست.

مدل‌سازی چند متغیره

در این پژوهش، ضریب شکل میوه به دلیل تاثیر کم آن در سرعت حد (فلتچر و همکاران، ۱۹۷۱) در نظر گرفته نشد. لذا معادله‌های (۸) و (۹) به صورت زیر تبدیل شد:



$$\frac{1}{d} = Ad_0^{-1} \rho_f^{-1} + Hd_0^C \rho_f^D V^E + Fd_0^{-1} + G \quad (10)$$

$$\frac{1}{d} = Ad_0^{-1} \rho_f^{-1} + Hd_0^C \rho_f^D m^E + Fd_0^{-1} + G \quad (11)$$

که در آن، H یک ضریب ثابت جدید به جای S_{H_2B} است. برای مدل‌سازی چندمتغیره سیب برنامه‌ای در نرم‌افزار MATLAB 2010a کدنویسی شد.

نتایج و بحث

برخی از خواص سیب در جدول (۱) ارائه شده است. در این جدول جرم حجمی، حجم، جرم، و عمق نشست میوه از ارتفاع رها شدن ۱۰ سانتی‌متر (d10)، ۲۵ سانتی‌متر (d25) و ۵۰ سانتی‌متر (d50) آورده شده است. میانگین عمق نشست سیب با ارتفاع سقوط ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر، به ترتیب برابر با ۲۶/۵۳، ۳۳/۲۲ و ۳۸/۹۹ سانتی‌متر می‌باشد. عمق نشست میوه‌های مورد تحقیق در شکل (۲) رسم شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است با افزایش ارتفاع رها شدن از ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر، عمق نشست نیز افزایش یافته است. به عنوان مثال، عمق نشست سیب شماره ۵، هنگامی که ارتفاع رها شدن از ۱۰ تا ۲۵ و ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر افزایش یافته عمق نشست نیز از ۲۷/۲ به ۳۵/۶ سانتی‌متر و از ۳۵/۶ به ۴۰/۸۰ سانتی‌متر افزایش یافته است گزارش شده است با افزایش ارتفاع سقوط از ۲/۵ به ۳۶ اینچ، عمق نشست از ۷ به ۱۸ اینچ افزایش می‌یابد (محسنین و همکاران، ۱۹۸۶).

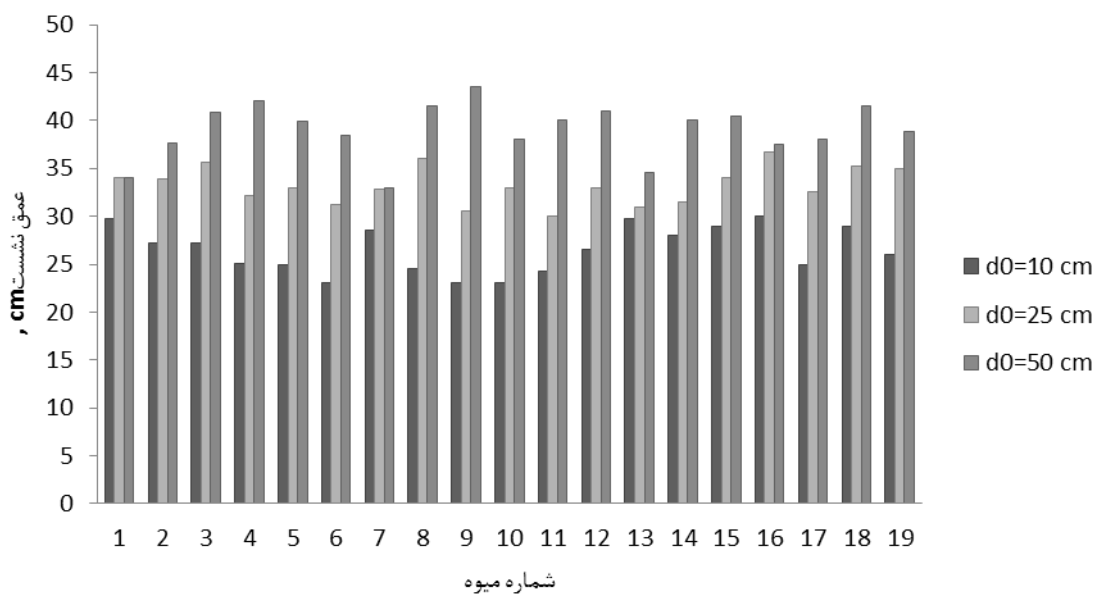
جدول ۱. برخی از خواص فیزیکی سیب

خواص	کمینه	میانگین	بیشینه	انحراف معیار
جرم حجمی (gr/cm ³)	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۰۱
حجم (cm ³)	۱۰۹/۲۱	۱۳۸/۴۰	۱۶۲/۱۸	۱۶/۶۱
جرم (gr)	۹۳/۳۰	۱۱۵/۴۲	۱۳۵/۲۷	۱۳/۲۱
*d10	۲۳	۲۶/۵۳	۳۰/۰۰	۲/۴۱
*d25	۳۰	۳۳/۲۲	۳۶/۷۰	۱/۹۱
*d50	۳۳	۳۸/۹۹	۴۳/۵۰	۲/۸۰



d10* عمق نشست با ارتفاع رها شدن ۱۰ سانتی‌متر، d25 عمق نشست با ارتفاع رها شدن ۲۵ سانتی‌متر و d50 عمق نشست با

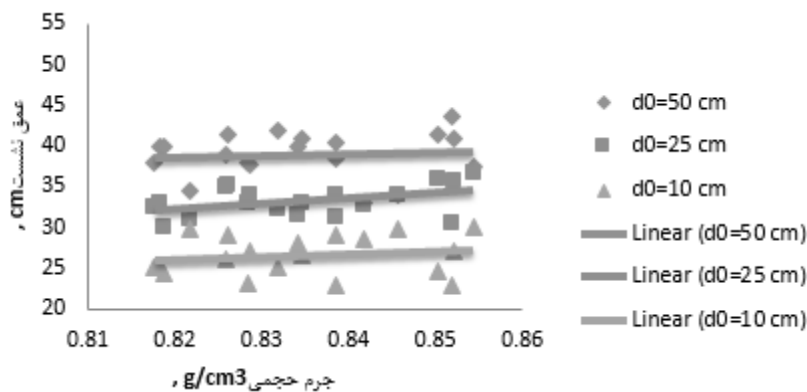
ارتفاع رها شدن ۵۰ سانتی‌متر.



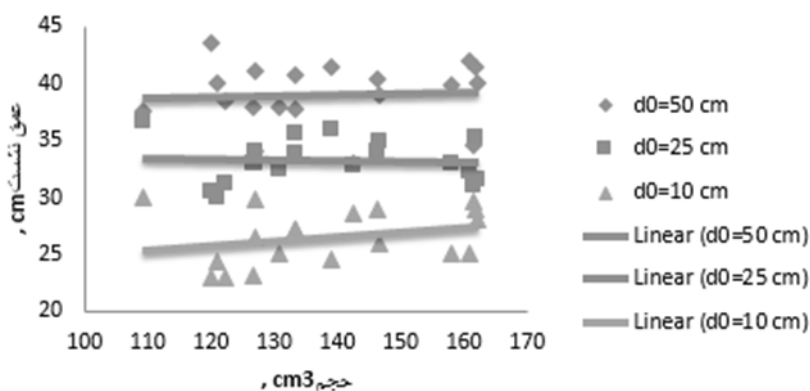
شکل ۲. عمق نشست سیب در عمق و ارتفاع مختلف d عمق نشست و d0 ارتفاع رها شدن می‌باشد.



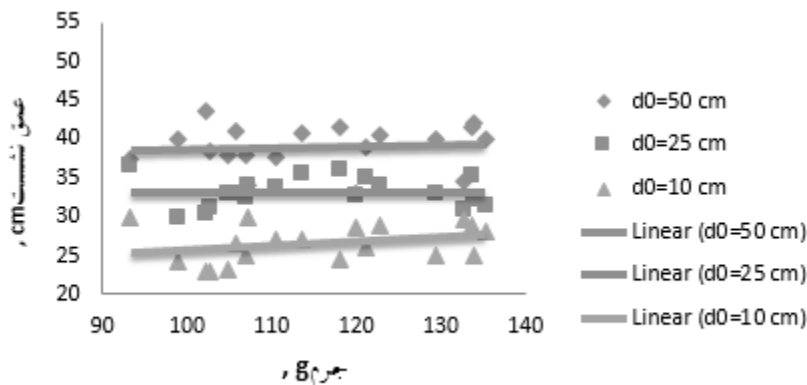
عمق نشست نمونه‌ها به صورت جداگانه برای جرم حجمی، حجم و جرم در شکل ۳، ۴ و ۵ رسم شده است.



شکل ۳. عمق نشست سیب در برابر جرم حجمی. d₀ ارتفاع رها شدن می‌باشد.



شکل ۴. عمق نشست سیب در مقابل حجم. d₀ ارتفاع رها شدن می‌باشد.





شکل ۵. عمق نشست سیب در مقابل جرم. d_0 ارتفاع رها شدن می‌باشد.

همان طور که در این نمودارها دیده می‌شود، عمق نشست با هر ارتفاع رها شده (غیر از ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر برای جرم و حجم که بخاطر خطای آزمایش)، با افزایش جرم، حجم و جرم حجمی میوه افزایش یافته است.

مدل‌های چندمتغیره عمق نشست سیب، بر اساس معادله (۱۰) و (۱۱) برای ارتفاع رها شدن ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر، توسط برنامه کدنویسی شده در نرم‌افزار MATLAB 2010a به دست آمد. برای مدل‌های مورد نظر ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) توسط برنامه مورد نظر محاسبه شد. مدل‌های بدست آمده دارای دارای ضریب تبیین پایینی بوده و نتوانستند عمق نشست میوه را پیش‌بینی کنند و لذا در این مقاله نیامده است.

عمق نشست سیب بر اساس دو معادله (۱۰) و (۱۱) و با در نظر گرفتن هر سه ارتفاع رها شدن مدل شد (جدول ۲).

همان طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، ضریب تبیین دو مدل مشابه و برابر با ۰/۸۳ است. همچنین میانگین خطای مربعات مدل شماره ۱ و ۲ نیز با هم برابر هستند ($5/24 \times 10^{-6}$). لذا این دو مدل با توانایی یکسانی می‌توانند عمق نشست سیب را پیش‌بینی نمایند.

جدول ۵. مدل‌های چندمتغیره عمق نشست سیب با ارتفاع‌های سقوط مختلف.

شماره مدل	مدل	MSE	R^2
۱	$\frac{1}{d} = -2.50d_0^{-1}\rho_f^{-1} + 0.69d_0^{-0.89}\rho_f^{-3.68}V^{-0.11} - 2.18d_0^{-1} + 0.02$	$5/24 \times 10^{-6}$	۰/۸۳
۲	$\frac{1}{d} = -2.51d_0^{-1}\rho_f^{-1} + 0.69d_0^{-0.89}\rho_f^{-3.57}m^{-0.11} - 2.18d_0^{-1} + 0.02$	$5/24 \times 10^{-6}$	۰/۸۳

نتیجه گیری

برخی ویژگی‌های فیزیکی سیب از قبیل جرم حجمی، حجم و جرم اندازگیری شد. عمق نشست با رها کردن سیب از ارتفاع‌های مختلف ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر با استفاده از ستون آب و یک دوربین تعیین شد. میانگین عمق نشست سیب با



افزایش ارتفاع سقوط از ۱۰ به ۵۰ سانتی‌متر، از ۲۶/۵۳ به ۳۸/۹۹ سانتی‌متر رسید. عمق نشست براساس مدل تئوری، به صورت آزمایشگاهی بدست آمد. بر اساس مدل‌هایی بدست آمده، ضریب تبیین ۸۳/۳۵ درصد و میانگین مربعات خطا برابر با $10^{-6} \times 5/24$ بود. پارامترهای موثر بر عمق نشست سیب، ارتفاع رها شده، جرم حجمی، حجم و جرم سیب بودند. میزان عمق نشست و مدل‌سازی جهت پیش‌بینی آن برای انتقال هیدرولیکی میوه‌ها و سبزی‌ها مهم می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه ایلام جهت فراهم آوردن امکانات مورد نیاز این تحقیق قدردانی می‌شود.

منابع و مأخذ

۱. بابالار، م. پیرمردیان، م. ۱۳۸۷. تغذیه درختان میوه. انتشارات دانشگاه تهران.
۲. خیرعلی پور، ک. طباطبایی فر، س. ا. مبلی، ح. رفیعی، ش. جعفری، ع. رجبی پور، ع. ۱۳۸۷. مدل مدت زمان بالا آمدن سیب در سورت هیدرولیکی. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. ۵ و ۶ مهر ماه.
۳. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت و برنامه ریزی و اقتصادی - مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۳۹۲. اطلاعات سطح، تولید و عملکرد محصولات دائمی.
4. FAOSAT, 2012. AT: HTTP://FAOSTAT. FAO. ORG/ SITRE/ 339/ DEFAULT. ASX.
5. Fletcher, S. W. Mohsenin, N. N. Hammerle, J.R. and Tukey L.D. 1965. Mechanical Behavior of Selected Fruits and Vegetables under Fast Rates of Loading. Trans. of the ASAE. 324-326.
6. Fletcher S.W. 1971. Mechanical Behavior of Processed Apples. Trans. of the ASAE. 14-16.
7. Kheiralipour, K. 2014. Theoretical modeling of fruit settling depth in water. International Journal of Food Properties. International Journal of Food Properties. Vol 17, 2361-2366.
8. Kheiralipour, K. Tabatabaeefar, A. Mobli, H. Mohtasebi, S. S. Rafiee, S. Rajabipour, A. and Jafari, A. 2010. Terminal velocity and its relationship to physical characteristics of apple (*Malus domestica* Borkh L). International Journal of Food Properties. Vol 13, 261-271.
9. Mohsenin, N. N. Goehlich, H. and Tukey, L.D. 1962. Mechanical Behavior of Apple Fruits as Related to Bruising, Am. Soc. For Hor. Sci. Vol 81, 67-77.
10. Mohsenin, N. N. Cooper, and Tukey, L.D. 1963. Engineering Approach to Evaluatting Textural Factors in Fruits



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



and Vegetables, Trans. of the ASAE. 85-88.

11. Mohsenin, N. N. 1972. Mechanical properties of Fruits and Vegetables Review of Decade of Research Applications and Future Needs, Trans. of the ASAE. 1064-1070.
12. Pang, W. Studman, C. J. Ward, G. T. 1992. Bruising Damage in Apple-to-Apple Impact, J. Agric., Engng. Res. Vol 52, 229-240.
13. Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials, 2nd ed. Gordon and Breach Science Publishers. NewYork.
14. Roudot, A. C. Duprat, F. Wenian, C. 1991. Modelling the Response of Apples to Loads. J. Agric. Engng. Res Vol. 48, 249-259.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Modeling of settling depth of apple (Golden Delicious variety) in water

Abstract

Settling depth as one of the important hydrodynamic properties of fruits and vegetables, with the density lower than the density of water, is an important in hydraulic transporting. In this research, settling depth of apple, Golden Delicious variety, was determined using a water column and a digital camera. The fruit characteristics were measured by standard methods. Then, the multivariate models of fruit settling depth were obtained in MATLAB 2010a software. The considered parameters in modeling were dropping height of the fruits and fruit characteristics including density, mass and volume. The best model was based on the density, volume and dropping height with coefficient of determination (R^2) and mean square error (MSE) of 0.83 and 5.24×10^{-6} , respectively.

Keywords: Multivariate Modeling, Settling depth, Hydraulic transportation, Physical characteristics