



مدل‌های تحلیلی و آزمایشگاهی سرعت حد میوه

کامران خیرعلی پور^۱، سید احمد طباطبایی فر^۲، حسین مبلی^۲، شاهین رفیعی^۳، علی رجیبی پور^۳، علی جمفری^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی کشاورزی و فناوری دانشگاه تهران

kamrankheiralipour@gmail.com

چکیده

در این تحقیق، ابتدا معادلات تحلیلی سرعت حد برای میوه‌های با جرم حجمی کمتر از آب و میوه‌های با جرم حجمی بیشتر از آب مورد بررسی قرار گرفت و چهار مدل برای هر دو نوع میوه در شرایط مختلف اثبات شد. سرعت حد سیب با جرم حجمی کمتر از آب و کیوی با جرم حجمی بیشتر از آب عملاً در ستون آب اندازه‌گیری شد. برخی از مشخصه‌های فیزیکی موثر بر سرعت حد این دو میوه با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. نمودارهای حاصل از آزمون عملی نشان دادند که میوه پس از چند سانتی‌متر حرکت از حالت سکون به سرعت حد می‌رسد. مدل‌های آزمایشگاهی آن‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. بهترین مدل‌های آزمایشگاهی برای سرعت حد سیب و کیوی با ضرایب تبیین ۰/۶۹ و ۰/۸۷ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: سرعت حد میوه؛ درجه‌بندی؛ جداسازی؛ انتقال هیدرولیکی.

مقدمه

برای رسیدن به کشاورزی پایدار فقط تولید محصول کافی نیست، بلکه عملیات و فراوری‌های پس از برداشت در این راستا اهمیت بسزایی دارد. به طور کلی عملیات کشاورزی را می‌توان به دو بخش عمده تقسیم نمود. عملیات قبل از برداشت و عملیات پس از برداشت. عملیات قبل از برداشت شامل تمام اعمال لازم و ضروری برای تولید محصول می‌باشد که از آماده‌سازی زمین شروع و تا برداشت محصول ادامه دارد. عملیات پس از برداشت شامل تمام اعمال لازم برای فروش محصول می‌باشد که شامل جداسازی و تمیز کردن، درجه‌بندی، انبار کردن، بسته‌بندی و صنایع تبدیلی می‌باشد. انتقال میوه-ها و سبزیجات ممکن است در تمام عملیات پس از برداشت مورد نیاز باشد.

درجه‌بندی، جداسازی و انتقال هیدرولیکی میوه‌ها و سبزیجات در ایستگاه‌های بسته‌بندی و فراوری محصولات کشاورزی به دلیل حفظ کیفیت محصول، کاهش هزینه‌های آن و کاهش صدمه به محصول مورد توجه می‌باشد (محسنین، ۱۹۸۶).

از جمله خواص فیزیکی میوه‌ها و سبزیجات که برای درجه‌بندی، جداسازی و انتقال هیدرولیکی آن‌ها مورد نیاز است خواص هیدرودینامیکی آن‌ها می‌باشد. یکی از خواص هیدرودینامیکی میوه‌ها و سبزیجات سرعت حد آن‌ها می‌باشد. سرعت حد سرعت ثابتی است که جسم در یک سیال می‌تواند داشته باشد (خیرعلی‌پور ۱۳۸۷).

در این تحقیق، ابتدا معادله تحلیلی سرعت حد برای میوه‌های با چگالی کمتر از آب و میوه‌های چگالتر از آب اثبات شد و مدل آزمایشگاهی آن‌ها با اندازه‌گیری سرعت حد و مشخصه‌های میوه در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

نظری

میوه‌های با جرم حجمی کمتر از آب

(الف) سرعت‌های پایین ($N_R < 1$):

با در نظر گرفتن یک میوه با جرم m ، حجم V ، قطر D ، و جرم حجمی ρ_f (m/V)، در آب با جرم حجمی ρ_w ($\rho_w < \rho_f$)، مانند سیب) آنچنان که بزرگ‌ترین مساحت تصویر شده آن (A_p) عمود بر جهت حرکت آن باشد، نیروهای موثر بر آن نیروی وزن (F_w) به سمت پایین، نیروی شناوری (F_b) به سمت بالا و نیروی بازدارنده (F_d) در خلاف جهت حرکت، به سمت پایین، می‌باشند. ترکیب این نیروها شتابی (a) را به میوه متناسب با جرم آن می‌دهند [۲]:

$$F_{tot} = ma = F_w + F_d - F_b \quad (1)$$

$$ma = mg + 0.5\rho_w v^2 C_D A - \rho_w Vg \quad (2)$$

که v سرعت میوه می‌باشد. با تقسیم رابطه ۲ بر $m = V\rho_f$ داریم:

$$a = g \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_f} \right) + 0.5\rho_w v^2 C_D A / (V\rho_f) \quad (3)$$

در معادله سه C_D ضریب بازدارنده، تابعی از سرعت میوه می‌باشد با استفاده از قانون استوک در سرعت‌های پایین ($N_R < 1$) داریم [۲]:

$$C_D = \frac{24}{N_R} \text{ For } N_R < 1, \quad (4)$$

و

$$N_R = \frac{vD\rho_w}{\mu_w} \quad (5)$$

و سپس

$$C_D = \frac{24\mu_w}{vD\rho_w} \quad (6)$$

که N_R عدد بدون بعد رینولدز، μ_w لزجت استاتیکی آب، که تابعی از دماست (ونانی ۱۹۷۵)، و D قطر سیب می باشد. با جای گذاری روابط بالا در معادله ۳ به معادله زیر تبدیل می شود:

$$a = g \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_f} \right) + 12v\mu_w A / (VD\rho_f) \quad (۷)$$

بر اساس جردن و کلرک، ۲۰۰۴، با جدا کردن A/V به دو قسمت S_i و S_h داریم:

$$\frac{A}{V} = \frac{S_h}{S_i} = \left[\frac{A}{V^{2/3}} \right] / \left[\frac{1}{V^{1/3}} \right] \quad (۸)$$

و با دانستن اینکه

$$D = e \left(\frac{6V}{\pi} \right)^{1/3} \quad (۹)$$

سپس معادله ۷ به شکل زیر تغییر می کند:

$$a = kg \left(\frac{\pi}{6} \right)^{1/3} \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_f} \right) + \left(\frac{12\mu_w v S_h}{V^{2/3} \rho_f} \right) \quad (۱۰)$$

وقتی که میوه از میوه با جرم حجمی کمتر از آب از ستون آب رها می شود، هنگامی به بیشترین سرعت بالا سو (سرعت حد) می رسد که نیروهای وزن و شناوری با نیروی بازدارنده به تعادل برسند، یعنی شتاب میوه صفر شود. حال با صفر کردن شتاب در معادله ۱۰ داریم:

$$v_t = k \left(\frac{g \left(\frac{\pi}{6} \right)^{1/3}}{12\mu_w} \right) \left((\rho_w - \rho_f) \frac{V^{2/3}}{S_h} \right) \quad (۱۱)$$

که با ثابت فرض کردن ویسکوزیته آب و شتاب ثقل داریم:

$$v_t = K_3 \left((\rho_w - \rho_f) \frac{V^{2/3}}{S_h} \right) \quad (۱۲)$$

این معادله تحلیلی توسط محققین برای سرعت حد میوه های غیر کروی با جرم حجمی کمتر از آب در حالت بالا آمدن و در شرایط $N_R < 1$ اثبات شده و به اسم تئوری KHAT 1 نامگذاری شده است (خیرعلی پور ۱۳۸۷). این تئوری نشان می دهد که سرعت حد مستقیماً به تفاضل جرم حجمی آب و میوه با توان یک، حجم میوه با توان ۲/۳ و ضریب شکل میوه با توان -۱، متناسب است.

(ب) سرعت های بالا ($N_R > 1$):

حال با در نظر گرفتن شرایط $N_R > 1$ در سرعت‌های بالاتر برای ضریب بازدارندگی داریم:

$$C_D = \frac{const}{N_R^n} \quad (13)$$

و همچنین $N_R = \frac{vD\rho_w}{\mu_w}$ داریم:

$$C_D = \frac{K_4 \mu_w^n}{v^n D^n \rho_w^n} \quad (14)$$

با جای گذاری رابطه ۱۴ در معادله ۳، معادله زیر بدست می‌آید:

$$a = g \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_f} \right) + K_5 v^{(2-n)} \mu_w^n \rho_w^{(1-n)} A_p / (V \rho_f D^n) \quad (15)$$

و با استفاده از روابط ۸ و ۹، معادله ۱۵ به شکل زیر تغییر می‌کند:

$$a = g \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_f} \right) - \frac{K_6 \mu_w^n \rho_w^{1-n} v^{2-n} S_h}{V^{\frac{n+1}{3}} \rho_f} \quad (16)$$

وقتی که میوه از کف ستون آب رها می‌شود، هنگامی به بیشترین سرعت بالا سو (سرعت حد) می‌رسد که نیروهای وزن و شناوری با نیروی بازدارنده به تعادل برسند، یعنی شتاب میوه صفر شود. حال با قرار دادن شتاب در معادله ۱۶ داریم:

$$v_t = \frac{K_7 (\rho_f - \rho_w)^{\frac{1}{2-n}} V^{\frac{1+n}{3(2-n)}}}{\mu_w^{\frac{n}{2-n}} \rho_w^{\frac{1-n}{2-n}} S_h^{\frac{1}{2-n}}} \quad (17)$$

که با ثابت فرض کردن جرم حجمی و گرانیوی آب داریم:

$$v_t = \frac{K_8 (\rho_f - \rho_w)^{\frac{1}{2-n}} V^{\frac{1+n}{3(2-n)}}}{S_h^{\frac{1}{2-n}}} \quad (18)$$

k_1, k_2, \dots, k_8 ضرایب ثابت هستند. این معادله تحلیلی توسط محققین برای سرعت حد میوه‌های غیر کرووی با جرم حجمی کمتر از آب در حالت بالا آمدن و در شرایط $N_R > 1$ اثبات شده و به اسم تئوری KHAT 2 نامگذاری شده است (خیرعلی‌پور ۱۳۸۷). بر اساس این تئوری می‌توان گفت که عوامل موثر بر سرعت حد میوه در آب، تفاوت جرم حجمی آب و میوه، حجم میوه و ضریب شکل آن می‌باشد.

میوه‌های با جرم حجمی بیشتر از آب
(الف) سرعت‌های پایین ($N_R < 1$):

با در نظر گرفتن میوه‌ای شبیه به بخش قبل ولی با جرم حجمی بیشتر از آب (مانند کیوی)، نیروهای موثر بر آن نیروی وزن (F_w) به سمت پایین، نیروی شناوری (F_b) به سمت بالا و نیروی بازدارنده (F_d) در خلاف جهت حرکت، بالا سو، می باشند. ترکیب این نیروها شتابی (a) را به میوه متناسب با جرم آن می دهند:

$$F_{tot} = ma = F_w - F_d - F_b \quad (19)$$

حال شبیه بخش قبل قسمت (الف) برای سرعت‌های پایین ($N_R < 1$) داریم:

$$v_t = K_9 \left(\frac{g \left(\frac{6}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}}{12 \mu_w} \right) \left((\rho_f - \rho_w) \frac{V^{\frac{2}{3}}}{S_h} \right) \quad (20)$$

که با ثابت فرض کردن ویسکوزیته آب و شتاب ثقل داریم:

$$v_t = K_3 \left((\rho_f - \rho_w) \frac{V^{\frac{2}{3}}}{S_h} \right) \quad (21)$$

این معادله تحلیلی توسط محققین برای سرعت حد میوه‌های غیر کروی با جرم حجمی بیشتر از آب در حالت پایین رفتن و در شرایط $N_R < 1$ اثبات شده و به اسم تئوری KHAT 3 نامگذاری شده است (خیرعلی پور و همکاران ۲۰۰۸).

(ب) سرعت‌های بالا ($N_R > 1$):

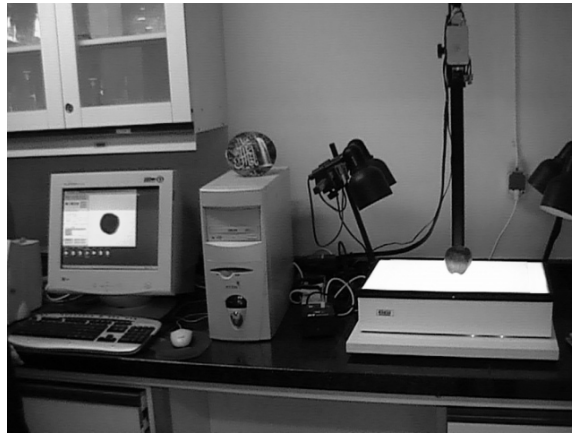
حال با در نظر گرفتن رابطه ۱۹ و شرایط $N_R > 1$ در سرعت‌های بالاتر، شبیه به بخش قبل قسمت (ب) داریم:

$$v_t = K_8 \frac{(\rho_f - \rho_w) \left(\frac{1}{2-n} \right) V^{\left(\frac{n+1}{3(2-n)} \right)}}{S_h^{\left(\frac{1}{2-n} \right)}} \quad (22)$$

این معادله تحلیلی توسط محققین برای سرعت حد میوه‌های غیر کروی با جرم حجمی بیشتر از آب در حالت پایین رفتن و در شرایط $N_R > 1$ اثبات شده و به اسم تئوری KHAT 4 نامگذاری شده است (خیرعلی پور و همکاران ۲۰۰۸).

آزمون های عملی

در این تحقیق، ۵۰ عدد سیب رقم ردسپار و ۵۰ عدد میوه کیوی رم هایوارد در نظر گرفته شد. حجم و جرم حجمی میوه‌ها با استفاده از روش جابجایی آب تعیین گردید (محسنین ۱۹۸۶). مساحت تصویر شده آن‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری مساحت دلتا تنگلدن گروه باغبانی دانشگاه تهران اندازه‌گیری گردید (شکل ۱).



شکل ۱. دستگاه اندازه‌گیری مساحت دلتا تنگلدن برای اندازه‌گیری مساحت تصویر شده سیب.

برای ایجاد محیط مناسب حرکت میوه در آب، یک ستون با قاعده مربع و ارتفاع 120 cm از جنس پلکسی گلاس 10 میل ساخته شد. اضلاع قاعده این ستون بر اساس استاندارد (کراو و همکاران ۲۰۰۱) پنج برابر قطر میوه ($35\text{ cm} \times 35\text{ cm}$) تعیین گردید. این ستون تا ارتفاع 110 cm از آب پر شده است. هر میوه سیب به وسیله یک گیره غیر مخرب به صورت دم بالا در کف ستون آب و هر کیوی با بزرگترین مساحت تصویر شده آن در سطح بالای ستون آب قرار داده شده و پس از آرام شدن آب رها شده و بلافاصله فیلم حرکت آن از شروع حرکت تا پایان حرکت توسط دوربین دیجیتال (JVC 770) با 25 فریم بر ثانیه ضبط شد. با استفاده از نرم افزار تبدیل فیلم به عکس، تمام عکس‌های حرکت هر میوه در فایل‌های جداگانه ذخیره شد (شکل ۲). سپس با دانستن اینکه هر عکس در 0.04 ثانیه اتفاق می‌افتد، زمان بالا آمدن میوه‌ها در 110 سانتیمتر و همچنین سرعت حد آن‌ها محاسبه گردید. داده‌های بدست آمده در نرم افزار اکسل به صورت نمودار در آمده و با استفاده از نرم افزار SPSS مدل شدند.



(۱)



(۲)



(۳)

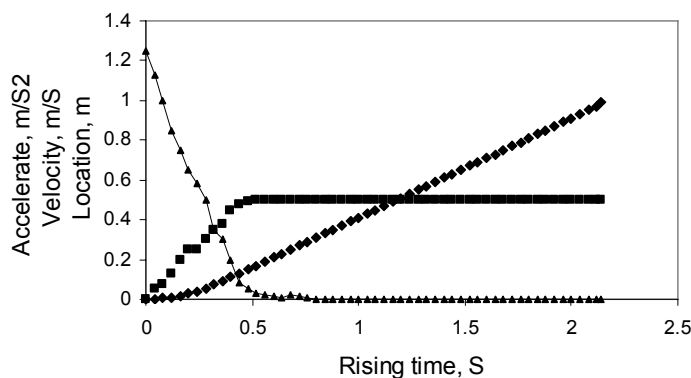


(۴)

شکل ۲. موقعیت سیب در ستون آب، ۱-سیب در حالت سکون، ۲- سیب نیم ثانیه پس از رها شدن، ۳-سیب یک ثانیه پس از رها شدن، ۴- سیب یک و نیم ثانیه پس از رها شدن.

نتایج و بحث

شکل ۳ نمودارهای شتاب (m/s^2)، مکان (m) و سرعت (m/s) سیبی با جرم حجمی $816/0 \text{ kg/m}^3$ و حجم 3 cm^3 حین بالا آمدن در ستون آب را نشان می دهد. همان طوری که شکل ۳ نشان می دهد سیب پس از حدود نیم ثانیه به سرعت حد ($0/542 \text{ m/s}$) رسیده است. بیشتر میوه‌ها مقدار کمی در راستای افق حرکت داشتند.



شکل ۳. شتاب (\blacktriangle)، سرعت (\bullet) و ارتفاع (\blacksquare) سیب با جرم حجمی $816/0 \text{ kg/m}^3$ و حجم 3 cm^3 .

در این تحقیق عدد رینولتز برای میوه‌ها محاسبه شد و مشاهده شد که مقدار آن برای میوه سیب و کیوی بیشتر از یک می باشد. لذا برای مدل کردن سرعت حد سیب با جرم حجمی کمتر از آب از تئوری KHAT 2 (معادله ۱۸) و برای کیوی با جرم حجمی بیشتر از آب از تئوری KHAT 4 (معادله ۲۲) استفاده شد.

الف) سرعت حد سیب

با توجه به تئوری KHAT 2 می توان معادله زیر را برای سرعت حد سیب تخمین زد.

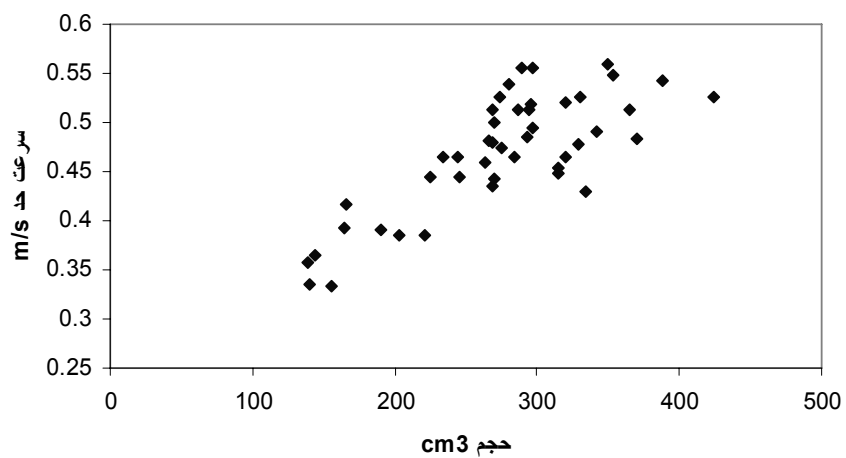
$$V_t = A(\rho_w - \rho_f)^b V^c S_h^{-d} + E \quad (23)$$

که پارامترهای A ، b ، c ، d و E ضرایب ثابت می باشند. ترکیب این پارامترها جهت رسیدن به بیشترین ضریب تبیین در معادله ۲۳ اعمال شده است. برای مدل کردن سرعت حد سیب رقم ردسپار هفت مدل آزمایش شده است. این مدل‌ها در جدول ۴-۵ آمده‌اند. همان طوری که در جدول ۱ مشاهده می شود، تمام مدل‌ها دارای پارامتر E می باشند. مدل‌های ۱، ۲ و ۳ جهت بررسی میزان تاثیر پارامترهای حجم، تفاضل جرم حجمی آب و سیب، و ضریب شکل سیب رقم ردسپار، بطور جداگانه، مطالعه شده‌اند. همچنین این پارامترها در مقابل سرعت حد سیب‌ها به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ آمده‌اند.

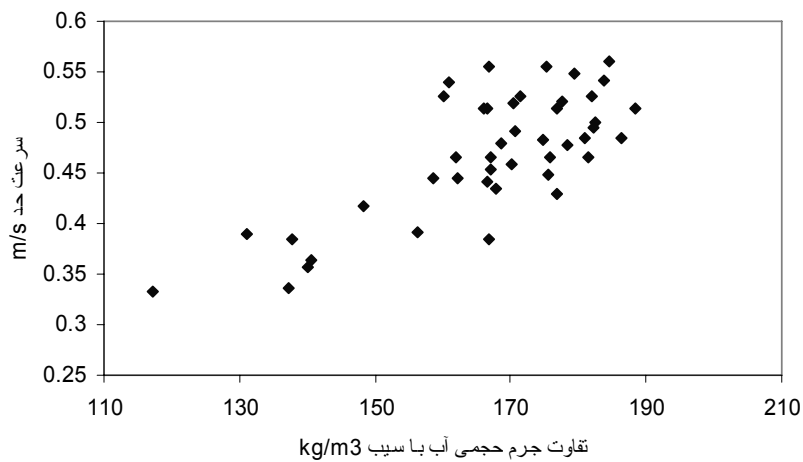
جدول ۱. مدل‌های مختلف سرعت حد سیب رقم ردسپار بر اساس معادله ۲۳ با ضرایب تبیین مربوطه.

۱۳	A	b	c	d	E	R ²
----	---	---	---	---	---	----------------

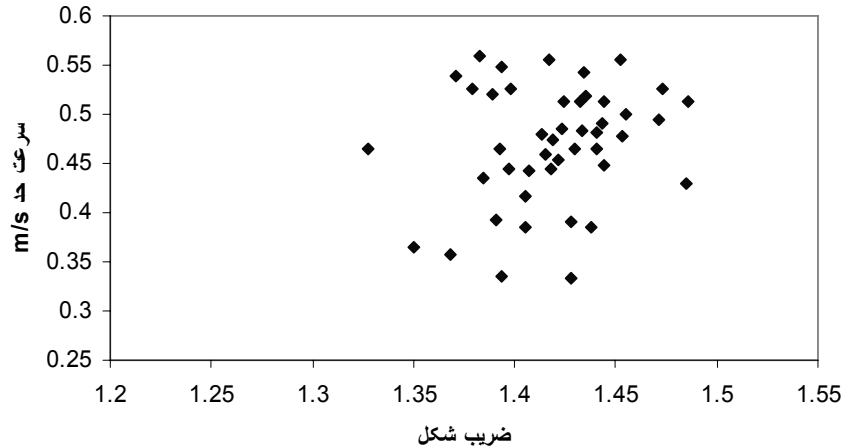
۱	۰/۸۱۸	۰/۲۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۱/۸۰۴	۰/۵۸
۲	۶/۱۰۷	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰	۰/۰۰۰	-۶/۵۷۱	۰/۶۸
۳	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۴/۷۸۱	۰/۳۵۵	۰/۰۴
۴	۰/۰۰۲	۱/۱۲۴	۰/۰۰۰	۰/۸۲۰	۰/۰۰۳	۰/۵۹
۵	۴/۹۴۸	۰/۰۰۰	۰/۰۳۴	۰/۰۹۱	-۵/۳۴۰	۰/۷۱
۶	۳/۱۲۷	۰/۰۳۰	۰/۳۲۰	۰/۰۰۰	-۳/۸۸۴	۰/۶۹
۷	۲/۴۷۲	۰/۰۳۷	۰/۰۴۴	۰/۱۴۶	-۳/۱۵۶	۰/۷۲



شکل ۴. سرعت حد (S) سیب‌های رقم ردسپار در مقابل حجم (cm^3) آن‌ها.



شکل ۵. سرعت حد (S) سیب‌های رقم ردسپار در مقابل تفاضل جرم حجمی آب و سیب (kg/m^3).



شکل ۶. سرعت حد (S) سیب‌های رقم ردسپار در مقابل ضریب شکل آن‌ها.

مدل ۲ با ضریب تبیین بیشتر (۰/۶۸) از مدل ۱ (۰/۵۸) و همچنین همان طوری که از شکل‌های ۴ و ۵ پیداست، می‌توان گفت که حجم سیب رقم ردسپار نسبت به **تفاضل جرم حجمی آب و سیب** تاثیر بیشتری بر سرعت حد آن داشته است. همان طوری که در جدول ۴-۵ آمده است، مدل ۳ دارای ضریب تبیین ۰/۰۴ می‌باشد که نشان می‌دهد ضریب شکل میوه سیب رقم ردسپار کمترین تاثیر را بر سرعت حد آن داشته است. نامنظم بودن نقاط در شکل ۶ این نتیجه را تایید می‌کند.

در مدل ۴ تاثیر گذاری **تفاضل جرم حجمی آب و سیب** رقم ردسپار با ضریب شکل آن بررسی شده است که ضریب تبیین این مدل برابر ۰/۵۹ بود. در مدل شماره ۵ تاثیر گذاری **حجم سیب** رقم ردسپار با ضریب شکل آن بررسی شده است که ضریب تبیین این مدل برابر ۰/۷۱ بوده است. در مدل شماره ۶ تاثیر گذاری **حجم سیب** رقم ردسپار با **تفاضل جرم حجمی آب و سیب** بررسی شده است که ضریب تبیین این مدل برابر ۰/۶۹ بوده است. با افزودن تاثیر ضریب شکل در مدل ۶، مدل ۷ بدست آمده که دارای بیشترین ضریب تبیین برابر با ۰/۷۲ می‌باشد.

مدل ۶ با ضریب تبیین قابل قبول نشان می‌دهد که مهم‌ترین پارامترهای موثر بر سرعت حد سیب رقم ردسپار، **حجم آن و تفاضل جرم حجمی آب و سیب** رقم ردسپار می‌باشند.

$$R^2=0.69 \quad V_t = 3.127(\rho_w - \rho_f)^{0.030} V^{0.032} - 3.884 \quad (24)$$

(ب) سرعت حد کیوی

با توجه به تئوری KHAT 4 معادله زیر را می‌توان برای سرعت حد کیوی تخمین زد. برای مدل کردن سرعت حد کیوی رقم هایوارد ۶ مدل آزمایش شده است. این مدل ها در جدول ۲ آمده‌اند.

$$V_t = A(\rho_f - \rho_w)^b V^c S_h^{-d} + E \quad (25)$$

جدول ۲. مدل‌های مختلف سرعت حد کیوی رقم هایوارد بر اساس معادله ۲۵ با ضرایب تعیین مربوطه.

مدل	A	b	c	d	E	R ²
۱	۰/۰۵۷	۰/۲۶۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۸۴
۲	۰/۰۰۶	۰/۴۹۴	۰/۰۰۰	۰/۹۶۸	۰/۰۶۷	۰/۸۷
۳	۰/۰۲۸	۰/۲۷۸	۰/۱۸۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۸۷
۴	۳/۹۳۲	۰/۰۰۰	۰/۰۳۶	-۰/۱۱۵	-۳/۸۹۰	۰/۵۶
۵	۰/۰۰۵	۰/۴۹۲	۰/۱۲۲	-۰/۷۵۹	۰/۰۷۱	۰/۸۸
۶	۰/۰۲۵	۰/۳۱۶	۰/۰۷۴	-۰/۴۱۲	۰/۰۰۰	۰/۸۸

همان طوری که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در مدل ۱، فقط میزان تاثیر تفاضل جرم حجمی آب و کیوی بررسی شده است که ضریب تعیین آن ۰/۸۴ بود. با افزودن تأثیر ضریب شکل به مدل ۱ ضریب تعیین به ۰/۸۷ افزایش یافت. در مدل ۳ میزان تاثیر تفاضل جرم حجمی آب و کیوی و حجم کیوی بررسی شده است که ضریب تعیین آن برابر با ضریب تعیین مدل ۲ بود. در مدل ۴ میزان تاثیر حجم و ضریب شکل کیوی بررسی شده است که ضریب تعیین آن کم و برابر با ۰/۵۶ بود. در مدل ۵ میزان تاثیر هر سه مشخصه یعنی تفاضل جرم حجمی آب و کیوی، حجم و ضریب شکل کیوی بررسی شده است که ضریب تعیین آن برابر با ۰/۸۸ بود. با حذف پارامتر E در مدل ۵ مدل ۶ بدست آمد که ضریب تعیین آن تغییری نکرد.

لذا مدل ۳ با ضریب تعیین قابل قبول نشان می‌دهد که مهم‌ترین پارامترهای موثر بر سرعت حد کیوی رقم هیاورد، حجم آن و تفاضل جرم حجمی آب و کیوی می‌باشند.

$$v_t = 0.028(\rho_w - \rho_f)^{0.278} V^{0.184} \quad R^2 = 0.87 \quad (26)$$

تشکر و قدردانی

از گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و گروه علوم باغبانی دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود. از جناب آقای مهندس قاسمی، آقای مهندس شریفی، آقای یوسفلو، آقای مهندس سپهوند و آقای مهندس رحیمی سپاسگذاری می‌شود. از بنیاد ملی نخبگان کشور به خاطر حمایت این مقاله قدردانی می‌شود.

خیرعلی پور، ک. ۱۳۸۷. تعیین سرعت حد دو رقم سیب ردسپار و دلباراستیوال با استفاده از ستون آب پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران.

Crowe, C. T., Elger, D. F., & Roberson, J. A. (2001). *Engineering Fluid Dynamics*. 7th ed. New York, N.Y, John Wiley and Sons.

Jordan, R. B., & Clark, C. J. (2004). Sorting of kiwifruit for quality using drop velocity in water. *ASAE*, 47 (6), 1991–1998.

K. Kheiralipour, A. Tabatabaeefar, H. Mobli, S. Rafiee, A. Jafari, A. Rajabipour and E. Mirzaee. 2008. Modeling of Terminal Velocity of Kiwi Fruit in Water. *Australian Journal of Applied Sciences Research*. 4(11): 1574-1580.

Mohsenin, N.N. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, second ed. Gordon and Breach Science Publishers, New York 1986.

Vanoni, V. A. 1975. *Sedimentation Engineering*. ASCE Manual 54. New York, N.Y. ASCE.

Abstract

In this study, firstly, the terminal velocity of fruits with density more than and less than water density was theoretically formulated and four equations for both fruit types in different condition were proven. then terminal velocity of apple as a fruit with density less than water density and kiwi as a fruit with density more than water density experimentally measured using water column and digital camera. Effective physical characteristics on terminal velocity of the fruits were determined using standard methods. Experimental curves showed that fruit will reach terminal velocity within a few centimeters of starting from rest. Experimental models for fruits were investigated using SPSS software. In this study the effectiveness of three parameters on terminal velocity was individually investigated. The best models for terminal velocity of apple and kiwi fruit were obtained with $R^2=0.69$ and $R^2=0.87$, respectively.

Keywords: Fruit Terminal velocity; Hydro-Sorting; Hydro-Separating; Hydro-Handling.