ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

اثر شکل دانه، شکل جعبه و ضریب اصطکاک برکمیت و کیفیت نیرو های وارد بر کف جعبه های حمل میوه با استفاده از شبیه سازی عددی المانهای مجزا

سعید هاشمی نیاسری؛ محمد حسین عباسپورفرد؛ مهدی خجسته پور
بترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

امروزه یکی از روش های متداول حمل و نقل و نگهداری میوه جعبه می باشد که به صورت گسترده در صنعت و بازار مورد استفاده می باشد. محصول درون این جعبه ها بر اثر نیروها وتنش های ناشی از انباشتگی، طول مدت انبارداری، تهویه نامطلوب درون جعبه و دیگر عوامل در معرض آسیب دیدگی و خرابی می باشند. در تحقیق حاضر برای بررسی و تحلیل این نیروها در کف جعبه از روش شبیه سازی عددی المانهای مجزا (DEM) استفاده گردید. در این روش دانه های کروی و غیر کروی درون جعبه های مستطیل مربعی بر اثر نیروی ثقل انباشته شده، نیروهای وارد بر دانه ها در کف جعبه استخراج و در قالب مشخصه های نیرویی ارزیابی گردیدند. در این تحقیق اثرات شکل جعبه (ابعاد جعبه)، ضریب اصطکاک دانه ها، شکل دانه، بر مشخصه های نیرویی شامل انحراف از معیار نیروها، میانگین نیروها، بیشینه نیرو و تخلخل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که در جعبه های حاوی دانه های کروی، ابعاد جعبه بر مشخصه های نیرویی تاثیری ندارند. ولی در جعبه های حاوی دانه های غیر کروی، باریک شدن جعبه باعث قرار گرفتن نامنظم محصول و انتقال بخشی از وزن محصول به جداره ها می گردند. بنابراین می توان شرایط لهیدگی میوه های موجود در کف جعبه مورد بررسی قرار داده و ابعاد جعبه با نیروی حداقل در کف جعبه انتخاب نمود.

کلید واژه: شبیه سازی، المان های مجزا، تحلیل نیرویی، جعبه میوه، لهیدگی

مقدمه

دانش مربوط به مواد دانه ای و تکنولوژی آن روز به روز در حال گسترش است و علت آن لزوم درک رفتار دانه ها در مقیاس بزرگ با توجه به رفتار آن ها در مقیاس کوچک (دانه) می باشد. یکی از زمینه هایی که به صورت گسترده با مواد دانه ای و رفتار آنها به صورت توده ای سر و کار دارد کشاورزی می باشد. روش های مختلفی برای بررسی رفتار اینگونه محصولات وجود دارد. از آن جمله روشهای آزمایشگاهی و روشهای عددی است. روش های آزمایشگاهی اگرچه دقیق و قابل اعتماد هستند ولیکن دارای معایبی چون عدم توانایی در تخمین دقیق دینامیک داخلی بین دانه ها، نیاز به تعمیم آزمایشات به مقیاس بزرگ که در برخی موارد خطا در این بزرگنمایی گزارش شده است (Ooi et al., 1998). اما روش های عددی دارای مزایایی چون سرعت حصول نتیجه، سهولت در تغییر داده های ورودی به جای انجام آزمایشات مکرر، بدست آوردن نقاط بهینه با تغییر پیوسته متغیر بر روی دامنه، اعمال متغیرهای

متفاوت در عین واحد، مدل سازی یک پدیده در مقیاس واقعی و کم هزینه بودن می باشند. یکی از این روش های عددی، روش شبیه سازی المان های مجزا (DEM)[1] می باشد. روش شبیه سازی المان های مجزا اساسا یک روش و تکنیکی عددی است برای مدل کردن سامانه های حاوی دانه که در تماس و برخورد با یکدیگر و محیط پیرامونی می باشند. این روش قادر به استخراج اطلاعات دینامیکی از قبیل راستا و اندازه نیروهای آنی وارد به دانه های منفرد می باشد.

یکی از عوامل قابل توجه در تلفات میوه ها، آسیب های مکانیکی ای است که در حلقه تولید تا مصرف ایجاد می شود. صدمات عمده ناشی از ضربه و فشردگی و نوسانات در طول عملیات برداشت، حمل و نقل، و ذخیره سازی و انبار سازی به شکل توده ای می باشد. برای نمونه بافت های زیر پوستی نشاهای سیب زمینی توسط فشار دچار رنگ رفتگی می شوند و ممکن است تا ۲۰ درصد تلفات داشته باشند (Baheri, 1997). لهیدگی[2] در سیب به عنوان منبع اصلی افت کیفیت به کرات در تحقیقات گزارش شده است (Batram, 1983).

ضرورت درک عواملی که بر روی لهیدگی تاثیر می گذارند به واسطه فشار بین میوه ها در فرایند کنترل و حمل و نقل، محققان را بر آن داشت که وسیله ای برای بررسی ارتباط بین لهیدگی و پارامترهای داخلی توده محصول ابداع نمایند. تلاشها منجر به ساخت وسیله ای به نام کره هوشمند[3] جهت ذخیره تاریخچه برخوردها (ذخیره نیروها بر اساس زمان) گردید. این وسیله اطلاعاتی راجع به رابطه بین نیروهای برخورد و لهیدگی می دهد، لکن این روش دارای معایبی است، از جمله این که تنها قادر به اندازه گیری شتاب و در نتیجه برآیند نیروها می باشد و تک تک نیروها که باعث تنش می شوند قابل اندازه گیری نیستند (تینگ و همکاران، ۱۹۹۵).

Rong et al.(1993) یک مدل ساده با تعداد معدودی دانه دایره ای با یک مدل تماسی خطی جهت مطالعه رفتار دینامیکی بسته های درهم سیب بر روی بارکش که تحت بارهای خارجی ناشی از دست انداز جاده در حین حرکت بارکش روی می دهد، ارائه دادند. آنها با در نظر گرفتن نیروی میرایی[4] در جهت عمودی و افقی، سیب را به عنوان ماده ویسکوالاستیک فرض کردند. آنها ضریب میرایی را توسط ضریب ارتجاعی[5] سیب مشخص کردند. با در نظر گرفتن سرعت و نیروی تماس در سیب ها آنها ۱۱ روش مختلف بسته بندی جهت حمل و نقل پیشنهاد کردند.

جعبه ها یکی از معمول ترین ابزار حمل و نقل و انبارداری محصولات کشاورزی بخصوص میوه جات به صورت فله هستند. از عمده ترین مشکلات این روش صدماتی است که به محصول وارد می شود از جمله لهیدگی، ترک و شکستگی، پوست شدن و نهایتا گندیده شدن که باعث تلفات محصول می شود. با توجه به اینکه درصد قابل توجهی از ضایعات، مربوط به مرحله حمل و نقل می باشد و از طرفی در ایران این جابجایی از طریق جعبه صورت می گیرد، لذا بررسی اثرات نامطلوب ناشی از این روش حمل و نقل ضروری به نظر می رسد. طراحی بهترین جعبه ها با ابعاد مختلف برای بهینه کردن نیروهای وارده به محصول یکی از گامهای اساسی در کاهش تلفات به نظر

[1] Discrete Element Method
[2] Bruising
[3] Instrumented sphere
[4] Damping
[5] Coefficient of restitution

می رسد. این پژوهش بر آن است تا تاثیر ابعاد جعبه (نسبت طول به عرض و ارتفاع) را با توجه به شکل و اندازه متوسط میوه بر نیروهای بین میوه و کف جعبه و نیروهای بین میوه ها را بررسی و تحلیل نماید.

مواد و روشها

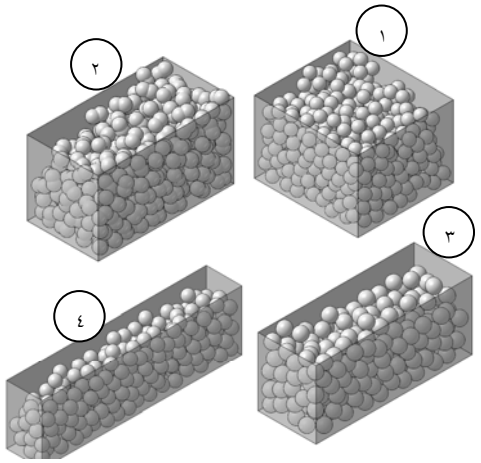
در این پژوهش از یک مدل که اولین بار توسط Cundall (1971) بر اساس اصول روش المانهای مجزا تولید شده بود استفاده گردید. این برنامه با نام CONBAL شناخته شده است که برای مدل کردن سامانه های دانه ای، از المان های دایره ای یا کروی و دیواره های مسطح بعنوان محده پیرامونی استفاده شده است. این برنامه توسط محققین مختلف گسترش و تکامل یافت ولی همچنان المان های مورد استفاده در مدل بصورت دایره (در سیستم های دو بعدی) و یا کروی (در سیستم های سه بعدی) باقی ماند. این مدل بعداً توسط Abbaspour-Fard (2001) به گونه ای بهبود یافت که قادر بود المان های کروی و هم غیر کروی را تولید و در برنامه مورد استفاده قرار دهد. در این تحقیق از همان برنامه ای که توسط Abbaspour-Fard (2001) ارائه شده و بعداً کارایی آن در خصوص مطالعه مواد دانه ای مورد ارزیابی قرار گرفت Abbaspour-Far (2004)، استفاده شده است. در این برنامه تولید دانه های غیر کروی از اتصال (با همپوشانی و یا بدون همپوشانی) یک یا چند کره استفاده می شود که به نام روش کرات متعدد[1] شناخته می شود. با این روش تولید دانه هایی بسیار شبیه میوه ها و دانه های محصولات کشاورزی امکان پذیر است. این برنامه از یک برنامه اصلی و بیش از ۳۰ زیر روال و تابع تشکیل یافته است که با تغییرات جزئی می توان مدلی دلخواه با تعداد زیادی المان کروی و یا غیر کروی تولید و مدلسازی نمود.

در این تحقیق با تعریف یک محیط مجازی با ٤ دیواره در کنار و یک دیواره در کف فضایی همانند جعبه های کشاورزی شبیه سازی گردید. در مرحله شبیه سازی دانه ها، المانهایی با شکل کروی و یا غیر کروی تولید و بدون هرگونه تماس اولیه در ارتفاع نیم متر از لبه جعبه مستقر و با اعمال شتاب ثقل بر آنها پر شدن جعبه ها از میوه شبیه سازی گردید. بعد از زمانی مشخص که مدل به پایداری رسید (هنگامی که میانگین دانه های در تماس با یک دانه به مقدار یکنواختی رسید، مدل پایدار شناخته می شود)، نیروهای وارد به تک تک دانه هایی که در کف جعبه انباشته گردیده اند، با توجه به موقعیتشان ذخیره شدند. سپس بر اساس مقدار این نیروها مشخصه های نیرویی شامل انحراف از معیار نیروها، میانگین نیروها، بیشینه نیرو و مجموع نیروها محاسبه گردیدند.

جهت بررسی اثر اصطکاک، شکل جعبه (تحت عنوان نسبت طول به عرض یا ضریب رعنایی) و شکل دانه ها در مشخصه های نیرویی، مدلسازی ها در ٤ حالت مختلف شکل دانه (تک کره ای، جفت کره ای با همپوشانی های ۹۵، ۵۰، ۵ درصد بین دو کره) و در چهار حالت مختلف ضریب اصطکاک بین دانه ها و بین دانه ودیواره (ضریب اصطکاک ۰/۱، ۰/۵، ۱/۰و ۱/۵) انجام گرفت. شکل ۱ نمونه هایی از جعبه های حامل میوه شبیه ساری شده را نشان می دهد. مشخصه های دانه ها درون مدل مقادیری انتخاب گردید که در محدوده محصولات کشاورزی هستند (جدول ۱).

[1] Multi Sphere Method (MSM)

تعداد دانه های درون جعبه با توجه به جعبه های گوجه فرنگی موجود در بازار تعداد ۲۷۰ عدد و شعاع یک برای محصول گوجه ۲۷ میلی متر برای دانه های کروی فرض شد (Mohsenin, 1970). شعاع کرات در حالات شکل غیرکروی به گونه ای قرار داده شد که حجم دانه در شکل های مختلف مساوی و برابر شکل کروی باشند.



شکل۱ نمونه هایی از جعبه های حامل میوه شبیه ساری شده: ۱) دانه های جفت کره ای با همپوشانی ۵ درصد در جعبه مربعی ۲) دانه های جفت کره ای با همپوشانی ۵۰ درصد در جعبه با ضریب رعنایی ۱/۸۷ ۳) دانه های جفت کره ای با همپوشانی ۹۵ درصد در جعبه با ضریب رعنایی ۲/۷۱ . ٤) دانه های تک کره ای در جعبه با ضریب رعنایی ٤/۸

جدول۱- مشخصات مدل

مشخصه	مقدار	مشخصه	تعداد/ مقدار
چگالی دانه* (gr/cm^3)	۱/۰۰۵	تعداد کل دانه ها در مدل	۲۷۰
ضریب الاستیسیته* (MPa)	۳/۵	گام زمانی (ثانیه)**	$۵/۰\times۱۰^{-۶}$
ضریب میرایی**	۰/۱	تعداد حلقه تکرار مدلسازی	۵۰۰۰۰۰
ضریب پواسون**	۰/۳	کل زمان شبیه سازی (ثانیه)	۲/۵

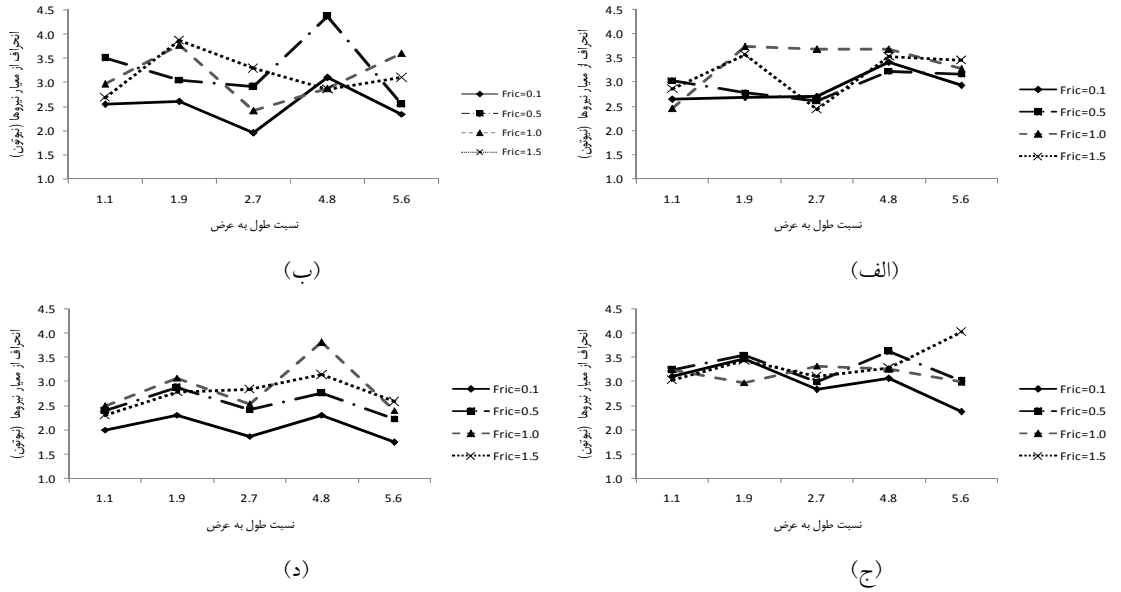
*منبع: Mohsenin(1970) **منبع: Abbaspour-Fard (2001)

نتایج و بحث

از متغیرهای وابسته ای که در این مدل مورد ارزیابی قرار گرفت، انحراف از معیار نیروهای وارد بر کف جعبه که شاخصی است جهت بررسی پراکندگی نیروهای وارد بر کف جعبه. این پارامتر میزان عدم یکنواختی نیرو های وارد بر کف را نشان می دهد. یکی از عوامل مهم این غیر یکنواختی را می توان مربوط به گرفتگی دانه بین دانه های دیگر و یا قفل شدگی[1] دانه ها با همدیگر و بعضا پل زدن[2] محصول دانست. همچنین مقدار کم آن نشان از یکنواختی نیروها و سیال گونه بودن دانه ها درون جعبه دارد. شکل۲ نتایج مربوط به انحراف از معیار نیروها در ضریب اصطکاک های متفاوت را نمایش می دهد. نتایج (شکلهای۲ الف و ب) بیانگر آن است که در دانه های کروی تغییر ابعاد جعبه تاثیری بر مقدار انحراف معیار نیروهای وارد بر کف ندارد. این موضوع بیانگر این واقعیت است که دانه های کروی در درون جعبه سیال گونه انباشته می شوند. ولیکن در دانه های غیر کروی و کشیده (شکلهای۲ ج و د) و در حالتی که اصطکاک بین دانه ای بالا باشد (ضریب اصطکاک ۱ و ۱/۵) روند افزایشی

[1] Inter locking
[2] Arching

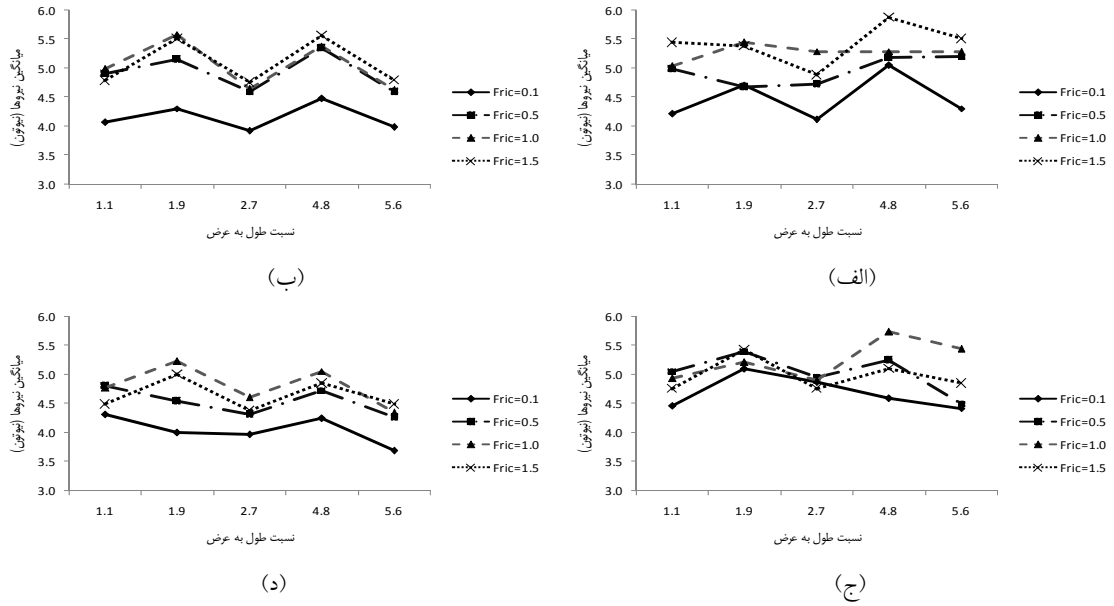
انحراف از معیار با افزایش نسبت طول به عرض جعبه مشاهده می گردد. با فاصله گرفتن از شکل مربعی جعبه در حالتی که جعبه حاوی دانه های کشیده می باشد، پدیده قفل شدگی بین دانه ها ایجاد و گسترش می یابد. در این جعبه ها در ضلع تنگ جعبه امکان پل زدن و قفل شدن دانه ها سهل تر از حالتی است که این ضلع تنگ وجود ندارد. این بدان معناست که بخشی از بار محصول بر اثر این پدیده ممکن است به دیواره ها منتقل شود.



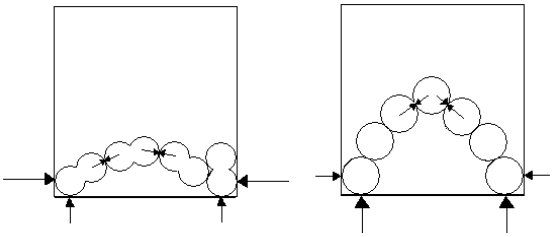
شکل۲ انحراف از معیار نیروهای وارد بر کف جعبه بر اساس ضریب اصطکاک بین دانه ای در حالات مختلف شکل جعبه (بصورت نسبت طول به عرض) و شکل دانه: الف) تک کره ای ب) جفت کره ای با ۹۵٪ همپوشانی ج) جفت کره ای با ۵۰٪ همپوشانی د) جفت کره ای با ۵٪ همپوشانی

از متغیرهای دیگری که مورد بررسی قرار گرفت، میانگین نیروهای وارد بر کف جعبه است. نتایج مربوط به میانگین نیروهای وارد بر کف جعبه در شکل ۳ نمایش داده شده است. با توجه به شکل۳ ملاحظه می شود که در دانه های کروی (نمودارهای الف و ب) با افزایش اصطکاک میانگین نیرو افزایش می یابد. این نشان می دهد که در دانه های کروی افزایش اصطکاک تاثیر مناسبی بر نیروهای وارد بر دانه های کف ندارد زیرا با زیاد شدن اصطکاک، دانه ها به شکلی در جعبه قرار می گیرند که دانه های کمتری در کف قرار می گیرند و از طرفی انتقال نیروها به دیواره ها به خوبی صورت نمی گیرد. با کشیده شدن شکل دانه (نمودارهای ج و د) روند افزایشی میانگین با افزایش اصطکاک برقرار نیست و همچنین فاصله بین میانگین نیروها در اصطکاک های پایین و بالا کمتر می شود. به خصوص در دانه های با ۵ درصد همپوشانی که اصطکاک های مختلف نتایجی تقریبا مشابه به هم دارند و اصطکاک های ۱ و ۱/۵ از اصطکاک ۰/۵ میانگین کمتری دارند. بنابراین در دانه های غیرکروی اگرچه با افزایش اصطکاک، انحراف از معیار نیرو روند افزایشی دارد و تعدا دانه ها در کف جعبه نیز کاهش می یابد (جدول ۲)؛ با رخ دادن انتقال نیرو به دیواره ها حاصل از پدیده گرفتگی و قفل شدگی و پل زدن دانه ها، میانگین نیروی وارد به هر دانه در اصطکاک بزرگ تر به اصطکاک کوچک تر نزدیک می شود. در اینجا لازم است عنوان شود که پل زدن محصول درون جعبه به شرطی مطلوب است که نیروی بیشتری را به دیواره ها منتقل کند. این امر بستگی به زاویه پل و زاویه انتقال نیرو از یک دانه به دانه های همجوار دارد. اگر انحنای پل زیاد باشد (شعاع قوس کوچکتر)، بیشتر نیرو به

صورت عمودی به دانه های اطراف وارد می شود و بار به آنها و نهایتا به دانه های کف منتقل می شود و اگر انحنای آن کم باشد (شعاع قوس بزرگتر باشد)، نیرو بیشتر به صورت افقی به دانه های مجاور و نهایتا به دیواره منتقل می شود. در چنین شرایطی بخشی ازنیروی وزن محصول به دیوار ها منتقل خواهد شد. این پدیده در شکل٤ تشریح گردیده است.



شکل۳ میانگین نیروی وارد بر هر دانه درکف جعبه ها با نسبت طول به عرض مختلف، بر اساس ضریب اصطکاک در حالات مختلف شکل دانه: الف) تک کره ای، ب) جفت کره ای با ۹۵٪ همپوشانی، ج) جفت کره ای با ۵۰٪ همپوشانی، د) جفت کره ای با ۵٪ همپوشانی



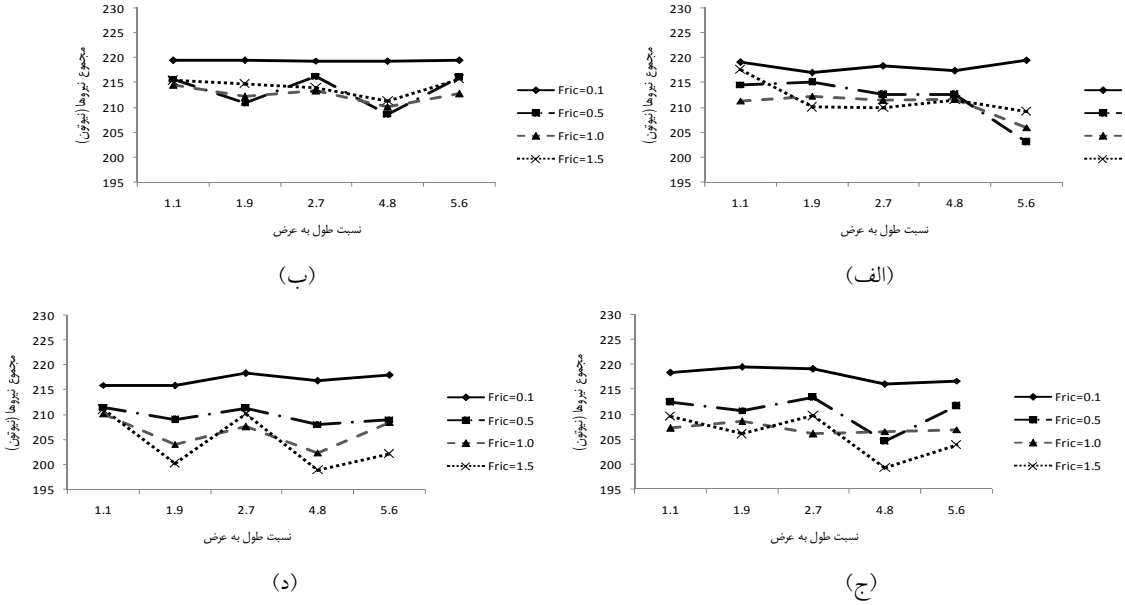
شکل٤ نمایی از پدیده پل زدن محصول و کیفیت انتقال نیرو در آن در دو حالت دانه کروی (راست) و کشیده (چپ)

جدول ۲- تعداد دانه در کف جعبه (میانگین حالات مختلف شکل جعبه) برای حالات مختلف شکل دانه و ضریب اصطکاک

شکل دانه	ضریب اصطکاک بین دانه ها			
	۰/۱	۰/۵	۱/۰	۱/۵
کروی	۵۰/٤	٤۱/۸	۳۹/٦	٤۱/٤
جفت کره ای با همپوشانی ۹۵٪	٤۹	٤۳	٤۰	۳۹/۲
جفت کره ای با همپوشانی ۵۰٪	۵۳/۸	٤٦/٤	٤۳/۲	٤٤/۲
جفت کره ای با همپوشانی ۵٪	٤٦/٤	٤۲	۳۹/۸	٤۱/۲

از متغیرهای دیگری که مورد بررسی قرار گرفت مجموع نیروهای وارد به کف جعبه از طرف دانه ها می باشد. در تمام نمودارها ی شکل۵ مشاهده می شود که در اصطکاک ۰/۱، که به واسطه کمی اصطکاک، نیرویی به

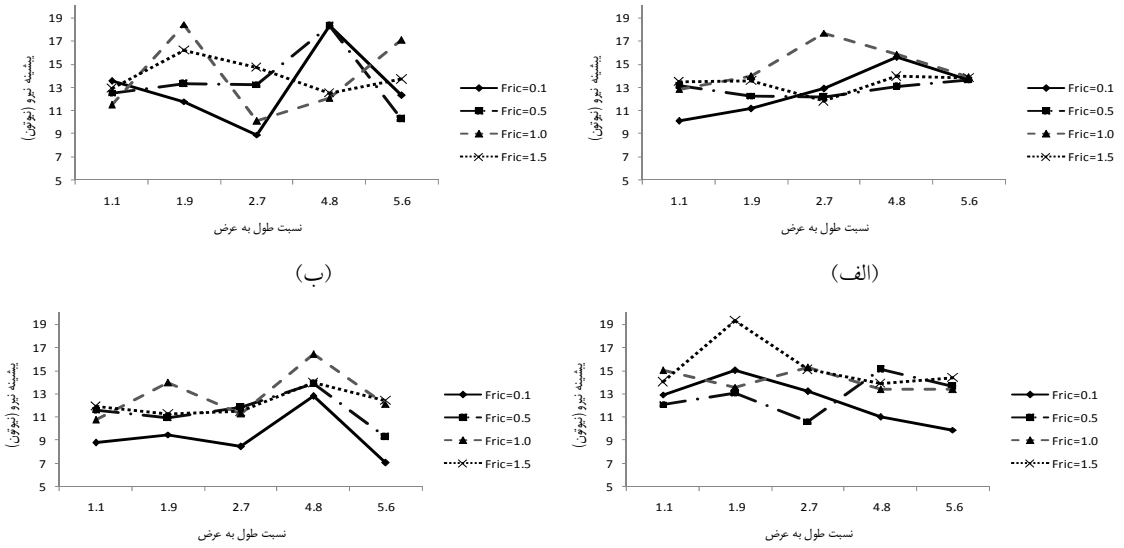
دیواره ها منتقل نمی شود، مجموع نیروها تقریباً مساوی مقدار وزن کل دانه ها یعنی ۲۲۰ نیوتون می باشد. در تمام این نمودارها مشاهده می شود که با افزایش اصطکاک نیروی کل وارد بر کف کاهش چشمگیری می یابد. این نتیجه نشان می دهد که بطور کلی صرف نظر از شکل دانه و جعبه با افزایش اصطکاک امکان انتقال نیروی وزن دانه ها به دیواره ها افزایش می یابد و دانه های زیرین کمتر دچار لهیدگی می شوند. نکته جالب توجه در تمام نمودارهای این شکل اینست که افزایش بیش از حد اصطکاک تاثیر زیادی بر روی کاهش نیرو های وارد بر کف ندارد. ولی در تمام نمودار ها تفاوت معنی داری بین دانه های بدون اصطکاک (۰/۱) و با اصطکاک وجود دارد. بعبارت دیگر ایجاد ضریب اصطکاک جزئی برای این منظور کفایت می کند. با بررسی روند منحنی ها در نمودارهای ب، ج و د شکل۵ مشخص می شود که هر چقدر دانه کشیده تر شود انتقال نیرو به دیواره ها بیشتر رخ می دهد و در دانه های کشیده افزایش اصطکاک نیز باعث این انتقال می شود و دانه های با ضریب اصطکاک ۱/۵ از بیشترین انتقال نیرو برخوردار می باشند.



شکل۵ مجموع نیروهای وارد بر کف جعبه ها (با نسبت های مختلف طول به عرض) از طرف دانه ها بر اساس ضریب اصطکاک در حالات مختلف شکل دانه: الف) تک کره ای ب) جفت کره ای با ۹۵٪ همپوشانی ج) جفت کره ای با ۵۰٪ همپوشانی د) جفت کره ای با ۵٪ همپوشانی

یکی از مشخصه هایی که در تحلیل نیرو ها در جعبه های حمل میوه قابل اهمیت است، بیشترین نیرویی است که به یک میوه وارد می شود بطوریکه از حد تحمل آن (استانه لهیدگی) تنجاوز نماید. در بررسی نتایج بیشینه نیرو (شکل٦) و مقایسه دانه های با اصطکاک و بدون اصطکاک نشان می دهد که در حضور اصطکاک بین دانه ها بیشینه نیرو نسبت به دانه های بدون اصطکاک بیشتر است. این موضوع مجددا حکایت از این دارد که در این وضعیت پدیده قفل شدگی بین دانه ها توسعه می یابد و ممکن است در چنین شرایطی تعدادی از دانه ها تحت فشار بالاتری قرارگیرند، در صورتی که در حالت کم اصطکاکی، دانه ها سیال گونه در جعبه قرار داشته، همگی

تقریبا بمقدار مساوی تحت فشار قرار می گیرند، در نتیجه بیشینه نیرو کم می گردد. نتایج نشان داده شده در این شکل بطور قابل توجهی شبیه نتایج بدست امده برای انحراف از معیار نیروها (شکل۲) می باشد.



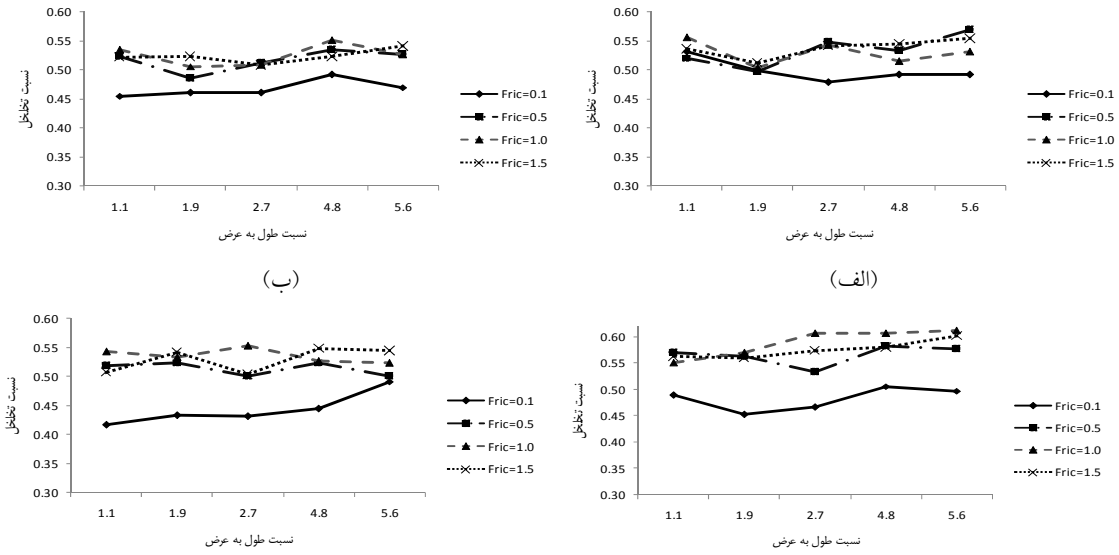
شکل٦ نتایج بیشینه نیروی وارد بر دانه در کف جعبه های مختلف بر اساس ضریب اصطکاک در حالات مختلف شکل دانه: الف) تک کره ای ب) جفت کره ای با ۹۵٪ همپوشانی ج) جفت کره ای با ۵۰٪ همپوشانی د) جفت کره ای با ۵٪ همپوشانی

در نمودارهای الف، ب و ج شکل٦ مشاهده می شود که منحنی های مربوط به ضریب اصطکاک ۱/۰ بیشترین مقدار بیشینه نیرو را دارا هستند. شرایط بحرانی محصول از نقطه نظر بیشینه نیرو مربوط به دانه های با ۵٪ همپوشانی و ضریب اصطکاک ۱/۵ است که در ضریب رعنایی ۱/۹ مقدار ۱۹ نیوتون را به خود اختصاص داده است. البته این مقدار از مقاومت نهایی میوه ای مثل سیب ردلیشنر کمتر است ولی باعث لهیدگی در میوه می شود. کمترین مقادیر نیز مربوط به دانه های با ۵۰ درصد همپوشانی ودر ضریب اصطکاک ۰/۱ می باشد.

از دیگر مشخصه های مواد انباشته شده بصورت توده ای، تخلخل توده است که در جعبه های حمل میوه از آن جهت که حجم اشغال شده و تهویه جعبه را تحت تاثیر قرار می دهد، قابل توجه است. لذا در این تحقیق بر اساس ارتفاع محصول درون جعبه و حجم اشغال شده آن توسط میوه ها، تخلخل را مورد ارزیابی قرار دادیم. نتایج مربوط به تخلخل توده های انباشته شده در نمودارهای شکل۷ نشان داده شده است. نمودار الف نشان می دهد که توده با اصطکاک ۰/۱ درون جعبه های مربع کم ترین تخلخل را دارا می باشند. دلیل آن ناشی از این است که در اصطکاک ۰/۱ عمل انباشته شدن با شرایط بهتری صورت می گیرد و همچنین جعبه مربعی به علت متقارن بودن ابعاد جعبه نسبت به جعبه های مستطیلی، دانه ها را بهتر در خود جای می دهند.

با توجه به نمودار د شکل۷ می توان گفت که با افزایش نسبت طول به عرض جعبه، نسبت تخلخل با شیب کندی افزایش می یابد. علت این امر آن است که در جعبه هایی که درازای بیشتری دارند، دانه های غیر کروی کشیده در ضلع کوچک جعبه به خوبی جای نمی گیرند، در نتیجه نا منظم تر در جعبه انباشته می شوند. امری که در جعبه های نزدیک به سطح مقطع مربعی کمتر اتفاق می افتد. با بررسی بیشتر نمودارهای مختلف شکل۷ ملاحظه می شود که با افزایش ضریب رعنایی دانه (نسبت طول به عرض دانه)، تاثیر اصطکاک بین دانه ای بر روی تخلخل توده

می شود. این امر مجددا موید تاثیر مضاعف شکل دانه در شرایط اصطکاکی بیشتر بر نحوه قرارگیری دانه ها در درون جعبه دارد. بخصوص در دانه های با ۵ درصد همپوشانی (دانه هایی که بیشترین مقدار کشیدگی و یا کمترین کرویت را دارند) که به علت وجود فرورفتگی بین دو کره در هر دانه، درگیری و قفل شدگی تشدید می یابد.



شکل۷ نسبت تخلخل توده دانه ای درون جعبه بر اساس ضریب اصطکاک در حالات مختلف شکل دانه: الف) تک کره ای ب) جفت کره ای با ۹۵٪ همپوشانی ج) جفت کره ای با ۵۰٪ همپوشانی د) جفت کره ای با ۵٪ همپوشانی

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از شبیه سازی های صورت گرفته با جعبع های حاوی دانه های مختلف در جعبه هایی با سطح مقطع یکسان ولی ابعاد مختلف نشان داد که شکل دانه، مقدار اصطکاک بین دانه ای و شکل جعبه می تواند نحوه انباشت دانه ها و در نتیجه ساختار نیرویی و تخلخل آنها را تحت تاثیر قرار دهند. بطور مشخص تر نتایج نشان دادند که در دانه های کروی ابعاد جعبه تاثیر ثابتی بر مشخصه های نیرویی نداشتند. ولی در دانه های غیر کروی و کشیده با باریک شدن جعبه، انحراف از معیار نیروهای وارد بر کف جعبه روند افزایشی با شیب کم داشته و همینطور بیشینه نیرو و تخلخل روند افزایش داشتند که این نشان دهنده نامنظم قرار گرفتن دانه ها درون جعبه می باشد. از طرف دیگر در جعبه حاوی این دانه ها میانگین نیرو با افزایش ضریب رعنایی برای دانه ها با ضریب اصطکاک بالا روند کاهشی با شیب ملایم دارد که این حکایت از انتقال نیروها به دیواره از طریق پدیده پل زدن دارد.

اگر چه اصطکاک اثر افزایشی بر روی مشخصه انحراف از معیار نیرو داشت. ولی تاثیر آن بر روی میانگین نیروهای وارد برکف بسته به شکل دانه ها متفاوت بود. در دانه های کروی افزایش اصطکاک باعث افزایش میانگین و افزایش فشار بر دانه های کف جعبه داشت. در دانه های کشیده اگرچه همچنان ضریب اصطکاک ۰/۱ کمترین میانگین را داشت، ولی ضرایب اصطکاک ۱ و خصوصا ۱/۵ نتایجی نزدیک ضریب اصطکاک ۰/۱ داشتند و مقدارشان از ضریب اصطکاک ۰/۵ نیز کمتر بود. این امر بیانگر تاثیر مناسب افزایش اصطکاک بر فشار وارد به دانه های زیرین در دانه های کشیده می باشد. زیرا با رخ دادن پدیده درگیری و گرفتگی محصول (پل زدن محصول)

مقداری از بار محصول به صورت اصطکاک به دیواره ها منتقل می شود. مزیت دیگر این پدیده این است که در عین اینکه نتایج میانگین در دانه های کشیده در اصطکاک بالا مشابه نتایج اصطکاک ۰/۱ است، ضمنا تعداد دانه کمتری در کف جعبه این بار را تحمل می کنند و در نتیجه در معرض آسیب دیدگی بیشتر هستند. بیشترین مقدار میانگین نیرو در ضریب اصطکاک ۱/۵ و دانه با ۵۰ درصد همپوشانی و در جعبه هایی با ضریب رعنایی ٤/۸ (نسبت طول به عرض) رخ داد. در ضریب اصطکاک پایین مقدار میانگین نیرو برای دانه های کشیده بالا بود. این امر به دلیل رخ دادن درگیری دانه ها در یکدیگر است که باعث پل هایی می شود که تاثیر نامطلوب بر دانه های کف جعبه می گذارد.

در مورد اثرات شکل دانه نتایج نشان دادند که کشیده شدن دانه، در اصطکاک پایین باعث افزایش میانگین و در اصطکاک بالا باعث کاهش آن شدند. یک استثناء در تمامی حالات وجود داشت که در مورد دانه ها با ۵۰ دصد همپوشانی بود. بطوریکه نتایج در این توده ها برای تقریبا تمامی مشخصه ها کمینه می باشد. علت آن دو امر ارزیابی شد؛ یکی کوچک تر بودن کره های متشکله آن نسبت به دانه های کروی و دانه های با ۹۵ درصد همپوشانی و دیگری پل زدنهای مکرر دانه ها که باعث انتقال قسمتی از وزن دانه ها به جدار جعبه می شد. در اصطکاک کم دانه های کروی از شرایط نیرویی مناسبتری برخوردارند و در اصطکاک بالا دانه های غیرکروی شرایط مطلوب تری از نقطه نظر میانگین نیرو های وارد بر کف را دارا بودند.

در جمع بندی نتایج می توان گفت که اصولا جعبه های حاوی دانه هایی با شکل غیر کروی در جعبه هایی با ضریب رعنایی حدود ۳/٤ بدلیل ساختار غیر یکنواخت می توانند بخشی از نیروی وزن خود را به جداره ها منتقل نمایند. اگر چه که ممکن است تعداد معدود ی از دانه ها در نتیجه پل بستن تحت فشار بیشتری قرار بگیرند. علاوه بر این در چنین جعبع هایی توده ها دارای تخلخل بیشتری بوده امکان تهویه بیشتری خواهند داشت.

منابع

Abbaspour-Fard, M. H. 2001. Discrete element modelling of the dynamic behaviour of non-spherical particulate materials. *Agricultural and Environmental sciences*. Newcastle university of Newcastle upon Tyne. *PhD thesis.*

Abbaspour-Fard, M. H. 2004. Theoretical Validation of a Multi-sphere, Discrete Element Model Suitable for Biomaterials Handling Simulation. Biosystems Engineering. Vol. 88, Issue 2, June 2004, Pages 153-161.

Baheri, M. 1997. Development of a method for prediction of potato mechanical damage in the chain of mechanized potato production. *Faculty of Agriculture and Applied Biological Sciences, KULeuven. PhD thesis.*

Batram, R., Fountain, J., Olsen, K., et al. 1983. Washington state apple condition at retail. *1982-83. Proc. Wash. State Hort. Soc. 79, 36.*

Cundall, P. A. 1971. A computer model for simulating progressive large-scale movement in Blocky rock system. *International symposium on rock fracture, pp.P. II, Nancy.*

Mohsenin, N. N. 1970. Physical properties of plant and animal materials Gordon and Breach science publisher.

Ooi, J. Y., Chen, J. F. and Rotter, J. M. 1998. Measurement of solids flow patterns in a gypsum silo. *Powder Technology 99(3): 272-284.*

Rong, G., Negi, S. C. and Jofriet, J. C. 1993. DEM simulation of in-transi fruit damage. *ASAE paper No.93-4018.*

Ting, J. M., Meachum, L. r. and Rowel, J. D. 1995. Effect of particle shape on the strength and deformation mechanism of ellipse shape granular assemblies. *Engineering computation 12: 99-108.*

Analysis of contact forces distribution at the bottom of boxes employed for bulk handling of fruits using Discrete Element Method

Abstract

Despite numerous advancements in fruits packaging and handling, still a high percentage of these biomaterials are world widely handled in bulk, using a variety of boxes. In this study the so-called Discrete Element Method (DEM) was employed to investigate and analyze the force distribution at the bottom of these handling boxes. The main objective of this study was to study the effect of box aspect ratio, particle shape and coefficient of friction between paticle-particle and wall-particle on the quality and quantity of force distribution pattern at the bottom of fruit handling boxes. Simulations were performed using some particles, corresponding to the number of fruits in a real box exists in the market. The spherical and non-spherical model particles were generated employing Multi-sphere method (MSM) (using two identical, overlapped spheres). Both spherical and non-spherical objects were considered (4 set of particles shape: One sphere, two sphere by 95%, 50%, and 5% overlapping) and deposited into the simulated boxes, with different dimensions (aspect ratios: 1.1, 1.9, 2.7, 4.8 and 5.6) with 4 fiffrente coeficients of friction (0.1, 0.5, 1.0, 1.5). In each set of simulations the amount and location of contact forces between particles and bottom of box were extracted from the model. This provided the force distribution at the bottom of box. The force analysis was performed using several criteria including, maximum, average, standard deviation of contact forces and prosity of fruits bulk. Simulation results for spherical particles in boxes with aspect ratio ranged from 7.6 to 1.07 showed that the pattern of contact force distribution at the bottom of box is not affected by shape characteristics of boxes. It was observed that the handling box with aspect ratio equal to 3.4 was the best dimension in terms of contact forces distribution and their deviation. The linear regression for standard deviation results shows that by increasing the aspect ratio, the distribution of contact forces at the bottom of handling boxes is moderately enhanced as the trend line of the standard deviation of contact forces is declining. This implies that by increasing the aspect ratio of boxes the contact forces become more uniform.

Keywords: DEM, force analysis, bruising, fruit handling, box.