مقایسه‌ی مدل اجزای محدود و مدل اجزای گسسته در شبیه سازی بار وارده به میوه سیب

سعید توفیقیان
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید
saeed_st_2006@yahoo.com

چکیده

انتقال میوه ها و سبزیجات از باغستان به سوپر مارکت بسیار پیچیده می باشد و شامل تعدادی فرآیند مانند بسته بندی ، طبقه بندی، ذخیره ، حمل و نقل و انتقال می باشد . در طول این فرآیند کیفیت میوه ها و سبزیجات باید به دقت حفظ شود و از آسیب رسیدن به آن ها جلوگیری شود. پدیده ضربه اغلب در مواقع انتقال، جابجایی و عمل آوری توده محصولات کشاورزی روی می‌دهد. محصولات در اینگونه عملیات بهم یا به جدارهای احاطه کننده ضربه می زنند. میوه ها بوسیله میوه های مجاور خود، شاخه های درختان و سطوحی که روی آنها می افتند ضربه می بینند . این در واقع تعیین کننده آسیب وکوفتگی میوه های تازه بدون ایجاد سوراخ در پوست آن ها می باشد. دو نمونه از روش هایی که در زمینه‌ی شبیه سازی بار وارده به محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد، عبارت اند از روش اجزای محدود و روش اجزای گسسته که در این پژوهش به مقایسه‌ی این دو روش می پردازیم. نتایج حاکی از آن است که در روش اجزای محدود می بایست حوزه مسئله را به اجزای کوچکتری تقسیم بندی نمود که آن را شبکه اجزای محدود (Mesh) می‌نامند. دربرخی مسائل ایجاد چنین شبکه ای بویژه در حالتی که نیاز به تجدید های متوالی باشد، بسیار پر هزینه است. پس عملا روش اجزای گسسته نسبت به روش اجزای محدود، توانایی بیشتر و دقیق تری در شبیه سازی بار وارده به میوه‌ی سیب دارد.

واژه‌های کلیدی: روش اجزای محدود، روش اجزای گسسته، شبیه سازی، کوفتگی

مقدمه

محصو لات کشاورزی در اثر ضربه آسیب زیادی می بینند . در مدت برداشت ، حمل و نقل ، جابجایی در عمل آوری، محصولات با اجسام ثابت و متحرک برخورد می کنند که این خود باعث افزایش آسیب در فرایند محصولات می شود. در نتیجه کیفیت محصولات مستقیما پایین می آید و در برخی موارد فساد سریع محصولات بدنبال آسیبهای حاصل از ضربه بوجود خواهد آمد و بدین ترتیب مواد کاملا از بین خواهند رفت . محصولات فاسد شده در مدت طولانی نگهداری در انبار، مواد سالمی را که با آنها در تماس هستند به خطر خواهند انداخت. هدف عمده و اساسی از این عمل و فعالیت در واقع پیشرفت ابزارها و وسایل طراحی عددی برای ارزیابی انواع عوامل افت در محصول (برای مثال میوه سیب) و طبقه بندی امکانات و کاهش احتمال تیره شدن سیب ها می باشد. تستهای آزمایشگاهی نسبتا زیادی در مورد ضربه بر روی محصولات کشاورزی انجام شده است. ذکر این نکته ضروری است

که انجام تستهای آزمایشگاهی هم نیاز به صرف هزینه و وقت زیاد دارد و هم از طرفی ممکن است در هنگام استفاده از آنها خطاهایی نیز رخ دهد. به همین دلایل از حوزه های جدیدی در مطالعه ضربه همچون مدلسازی کامپیوتری استفاده می شود.,

ون زیبروک و تیجسکن در سال ۲۰۰۵و۲۰۰۶ ، لو و ابت در سال ۱۹۹۷ کسانی بودند که در این زمینه گام های قابل قبولی برداشته اند.

شیوه های نوین حاصل شده جهت مطالعه ضربه وارد به محصولات کشاورزی عبارتند از:

۱. شبیه سازی (مدلسازی)با استفاده از روش اجزاء محدود۱
۲. شبیه سازی (مدلسازی)با استفاده از روش اجزاء گسسته۲

در این پژوهش به معرفی و مقایسه‌ی روش های مذکور در شبیه سازی میوه‌ی سیب پرداخته شده است. امید است که نتایج این تحقیق سبب ایجاد آشنایی بیشتر با روش های شبیه سازی بارهای وارده به محصولات زراعی گردد.

مواد و روش‌ها

شبیه سازی(مدلسازی) با استفاده از روش اجزاء محدود:

از روشهای آزمایشی مختلفی برای مطالعه بار گذاری ضربه ای و جنبشی سیب ها استفاده شده است که شامل آزمایشات سقوطی ساده (Pang et al,۱۹۹٤) و آزمایشات آونگی می باشند که به آسانی موجب کنترل فشارهای وارد شده بر سیب ها می شود.(Bollen et al, ۲۰۰۲ و Berardinelli ۲۰۰۱ و Ragni) .نتایج بدست آمده از مطالعه نشان می دهد که تیره شدن در نتیجه ی تماس و برخورد سخت و شدید ایجاد می شود. از تکنیک المان محدود عددی پیش تر برای بررسی حرکات لرزنده (تکان دهنده) در سیب استفاده شده است (Lu, 1996 وAbbott).

در مطالعات اولیه ویژگی های مختلف در هر نقطه از سیب مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. که این نواحی و مناطق شامل پوست میوه ، مغز میوه و هسته بودند و در جدول شماره (۱) نشان داده شده اند. (Lu,وAbbott ۱۹۹٦و mohsenin, ۱۹۷۰) در اینجا از مدول یانگ و ضریب پواسون برای تشخیص میزان اهمیت تأثیر بسامد و فراکانس طبیعی از تکان ها و لرزه ها و نیز برای شبیه سازی جنس سیب استفاده شده است.

جدول ۱ .مدول یانگ، ضریب پواسون در قسمت های مختلف (پوست، مغز، هسته) سیب زرد رنگ

نواحی سیب	پوست	مغز میوه	هسته
مدول یانل(مگا پاسگال)	۲۰	۴	۸
ضریب پواسن	۰.۳	۰.۳	۰.۳

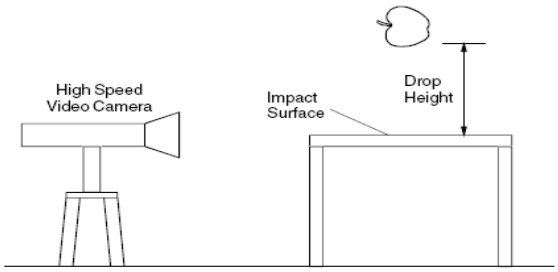
1. Finite element method
2. discrete element method

تکنیک اجزای محدود(FE) اخیراً برای بررسی نواحی و مناطق مورد تماس و ایجاد بار گذاری در سیب های ساکن استفاده شده است (Lewis ، Yoxall ، Marshall وCanty) و اطلاعات خوبی از آن بدست آمده است.

شکل واقعی سیب با مطالعه بسیار توسط اشعه لیزر بوجود آمد. این امر بسیار مهم بود زیرا مناطق و نواحی و فشارهایی که در نتیجه وجود تماس ها و برخوردهای هندسی ایجاد می شد شدیداً حساس بودند. ابتدا تکنیک آزمایش سقوطی را مورد بررسی قرار می دهیم. این تکنیک بیشتر برای شبیه سازی واقعی بین چیزی که ممکن بود واقعاً در سیب اتفاق افتد استفاده شده است. اگر چه ممکن است کنترل نقطه بار گذاری مشکل باشد(R.Lewis, A.Yoxall, L.A.Candy, E.Reina Romo ۲۰۰۷).

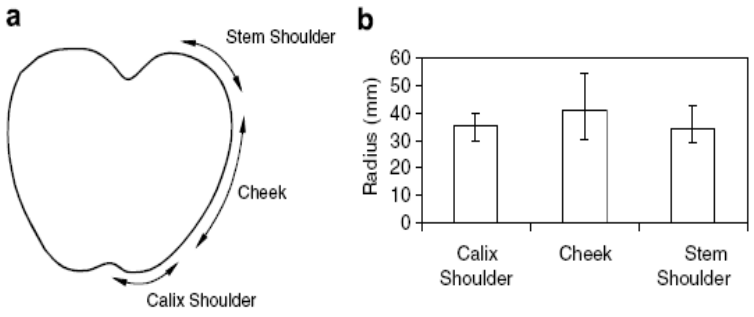
دستگاه آزمایش:

دستگاه آزمایش سقوط نسبتاً ساده می باشد و در تصویر شماره (۱) نشان داده شده است. این آزمایش بر روی سطوح مختلفی از مواد همچون چوب، فولاد، مقوای نازک، لاستیک وغیره صورت گرفت. در بسیاری از آزمایشات از دوربین هایی با سرعت بالا و نیز از فیلم هایی استفاده می کردند که برای تعیین سرعت برخورد و مسافت مورد نیاز و نیز محاسبه انرژی جذب شده در طول مدت برخورد بکار برده می شدند .



شکل ۱.دستگاه تست سقوط و دوربین نصب شده

در این آزمایش از سیب های سیبهای زرد رنگ (golden delicious) استفاده می شد این تغییرات و گوناگونی ها در نتیجه ایجاد پوست رنگ رفته بوده بدین معنی که میزان بی رنگ شدن بیش از تیره شدن در سیب ها مشاده می شد . ازیک منحنی سنج برای اندازه گیری شعاع انحنای سیب درسه منطقه، ساقه (Stem shoulder)، لبه سیب (Cheek) و فاصله غلاف سیب (Calyx shoulder) به منظورارتباط بین کوفتگی و مکان ضربه در سیب ها استفاده شد. تعدادی از مواد مختلف در آزمایشات سقوطی در سطوح ضربه ای و تماس مورد استفاده قرار گرفته بودند(Lu,وAbbott۱۹۹٦ و mohsenin, ۱۹۷۰).



شکل ۲.(a) .مناطقی که شعاع منحنی اندازه گیری شده (b) مقادیر شعاع

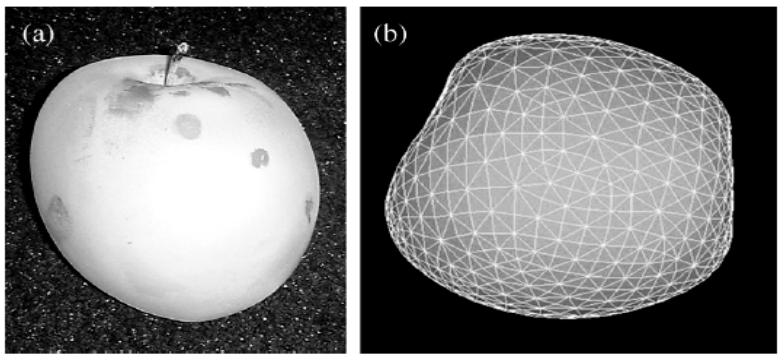
سیب ها در ارتفاعی با رنج ۰/۱ تا ۱/۲ متر روی سطوح پلاستیک، فولاد، لاستیک(روی فولاد)، مقوای نازک(روی پلاستیک) و چوب، برخورد سیب با سیب را به خوبی شبیه سازی کردند .آزمایشات برای هر ارتفاع به منظور اطمینان از صحت نتایج دسته کم سه بار تکرار شده است. کنترل موقعیت تماس و برخورد کاملاً مشکل بوده است . تعدادی از این آزمایشات برای ارزیابی چگونگی نواحی و مناطق تیره و کدر شده انجام شده است.

جدول۲ . خصوصیات سطوح تماس.

جنس سطوح برخورد	ضخامت(میلی متر)	ضریب الاستیک	ضریب پواسن(υ)
پلاستیک شفاف	٥	۲.۳٥	۰.۳۸
فولاد	٥	۲۰۰	۰.۳
لاستیک	۳	۰.۱	۰.٥
چوب(کاج)	۸	۸.۸۹	۰.۳٤
مقوای نازک	۳	۰.۰۰۲٦	۰.۰۱

نتایج بدست آمده از این آزمایشات نشان دهنده مکان هایی از نقاط ضربه ای در سیب می باشد که میزان حجم تیرگی در آن ها بدست آمده است. مقدار شعاع برای سه منطقه لبه سیب، ساقه سیب و فاصله غلاف سیب به صورت تقریبی ٤۰ و ۳۰ و ۳٥ میلی متر بود، از آنجا که بیشترین تیرگی ها درناحیه لبه ی سیب مشاهده شده بود، بنابراین موضوع ارتباط بین شعاع و میزان حجم تیرگی ها وجود داشت . این امر نشان می دهد که نواحی تیره و حجم و درجه آن ها بوضوح با افزایش میزان شعاع دایره افزایش می یابند(R.Lewis et al). در طرح ریزی تکنیک اجزای محدود (FE) از اشکال هندسی واقعی سیب استفاده می شود. بدین صورت که یک اسکن لیزری از سیبی زرد رنگ (golden delicious apple) انجام گرفت و سپس وارد نرم افزار انسیس (Ansys Ls-Dyna) شد و به صورت شبکه های مشبک در آمد. سیبهای آماده شده برای اسکن (Scan) در تصویر شماره (۳) نشان داده شده اند. سیب ها با گرده های سفیدی آغشته می شوند تا سطوح انعکاسی را برای اسکنر لیزری فراهم آورند. این شکل هندسی واقعی سیب، کاملاً پیچیده و غیر متقارن بود و حجم آن دارای شبکه های مشبک آزاد با عناصر چهار ضلعی بود که در تصویر شماره (۳b) نشان داده شده است و در حدود ۱۷۰۰۰ جزء المان بود. از تجزیه و تحلیل دینامیکی، برای شبیه سازی سقوط آزاد سیب های مش شده درارتفاع ۰/۲ تا ۱/۲ مترسطوح تماس استفاده می شود. سطوح تماس دارای برخی ویژگی ها می باشند که در جدول شماره (۲) نشان داده شده اند . این طرح ها برای تماس با پلاستیک و چوب و مقوا انجام می گیرند. سرعت های ضربه ای برای ارتفاع های سقوط طبق رابطه (۱) محاسبه شده و در جدول شماره (3) نشان داده شده است.

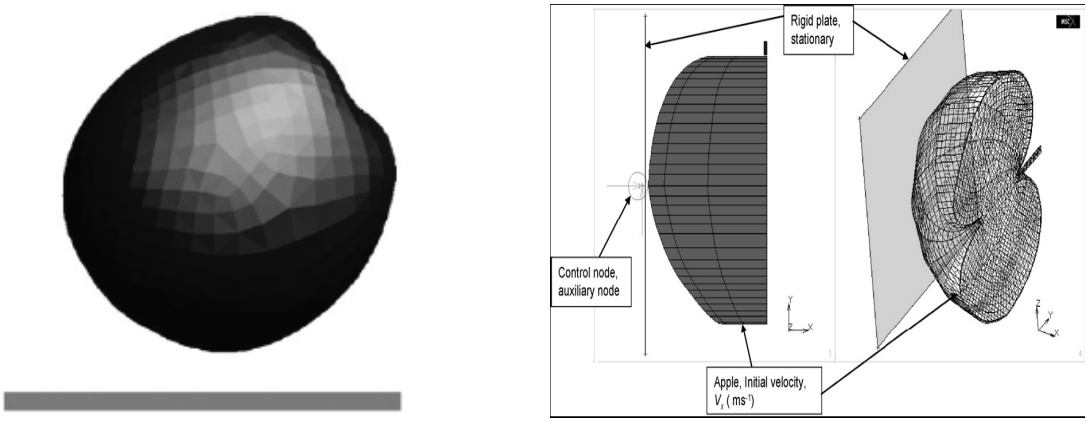
$$v = \sqrt{2gh} \qquad (۱)$$



شکل۳. سیبهای آماده شده برای اسکن

a) سیب آغشته به گرده سفید رنگ قبل از اسکن لیزری

b) مدل اجزای محدود نمایش سیب مش شده در نر افزار Ansys Ls Dyna



شکل٤. سمت راست مدل اجزای محدود نیمه سیب و سطح ضربه، سمت چپ مدل اجزای محدود سیب و سطح ضربه .

جدول۳ . نتایج تحلیلی از محاسبات ضربه سیب

Drop height (m)	Velocity at impact (m/s)	δ_{max} (m)	P_{max} (N)	R' (mm)	k	E	E^* (N/m^2)	a (mm)	b (mm)	Area (mm^2)	Mod. area (mm^2)
0.2	1.98	0.00416	169.9	16.2	0.882	1.46	4.39×10^{-6}	9.80	9.98	276.03	195.51
0.4	2.80	0.00548	257.6	16.2	0.882	1.46	4.39×10^{-6}	10.11	11.47	364.23	284.49
0.6	3.43	0.00645	328.5	16.2	0.882	1.46	4.39×10^{-6}	10.96	12.44	428.36	350.42
0.8	3.96	0.00724	390.4	16.2	0.882	1.46	4.39×10^{-6}	11.61	13.17	480.60	395.98
1	4.43	0.00791	446.3	16.2	0.882	1.46	4.39×10^{-6}	12.14	13.77	525.47	441.37
1.2	4.85	0.00851	497.9	16.2	0.882	1.46	4.39×10^{-6}	12.59	14.28	565.22	476.15

a, b قطر کوچک و بزرگ بیضی

E: مدول یانگ

δ: ماکزیمم انحراف حداکثر

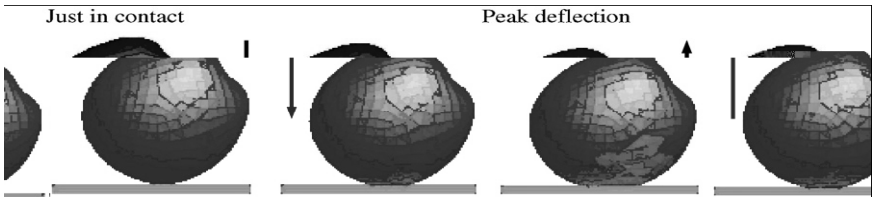
P0: ماکزیمم فشار برخورد

υ: ضریب پواسون

جرم سیب ۱۵۰ گرم

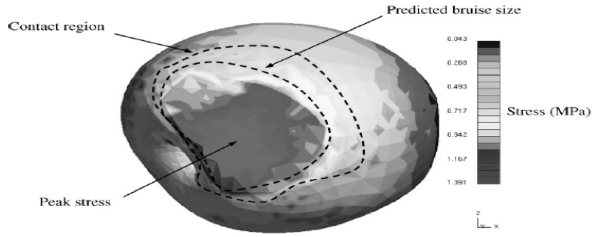
نتایج آزمایش مدل اجزای محدود:

شکل (۵) سیر تکاملی از یک سیب را در طول تماس با نوعی پلاستیک در ارتفاع m ۱/۲ نشان می دهد عکس و تصویر سمت چپ، تماس و ضربه ی اولیه با سطح ضربه ماده (Counter Face) را نشان می دهد در طول مدت برخورد، ناحیه تماس و فشار وارد بر آن افزایش می یابد و هر چه ارتفاع سقوط بیشتر باشد سبب ایجاد تیرگی بیشتر می شود .



شکل۵. سیب سقوط کرده بر روی نوعی پلاستیک از ارتفاع ۱/۲ متری.

تصویر شماره (٦) عکس فوری از نقاطی که تحت تنش ماکزیمم قرار گرفته اند را نشان می دهد .



شکل٦. مدل اجزای محدود برخورد سیب با نوعی پلاستیک از یک ارتفاع ۱/۲ متری در نقاطی که تحت تنش ماکزیمم(حداکثر تغییر شکل) قرار گرفته اند..

اطلاعاتی که از انجام این فعالیت ها بدست می آیند می توانند توسط طراحان، در برداشت محصول ، طبقه بندی کردن محصول، بسته بندی محصول و نیز در کاهش تیرگی موثر باشند. در اینجا سؤالی پیش می آید و آن اینکه چگونه و از چه طریق باید فهمید سیب ها خوب هستند بطوری که مشتری آنها را خریداری کند؟ شعاع نقطه برخورد به شدت در حجم کوفتگی مؤثر است. اگر نقطه برخورد در قسمت لبه سیب باشد میزان تیرگی وسیعتر و بزرگتر از قسمتهای ساقه و فاصله غلاف سیب می باشد که عموماً این قسمت ها نسبت به ناحیه لبه سیب دارای شعاع کوچکتر می باشند.(R.Lewis et al). این امر بسیار واضح است که نتیجه استفاده از مواد سطوح ضربه (Counter Face) با ظرفیت جذب انرژی بالا منجر به ایجاد کوفتگی کمتری در سیب می شوند. همچنین جالب اینجاست که مشاهده شد بیشترین کوفتگی در برخورد سیب با سیب (Apple-to-Apple) اتفاق افتاده است. (R.Lewis et al). و هر چه ارتفاع سقوط بیشتر باشد فشار ماکزیمم وارد بر سیب بیشتر می باشد.

مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی اجزای محدود با روش های تحلیلی و آزمایشی بر روی سطوح مختلف ضربه نشان می دهد که ناحیه کوفتگی حاصل از مدل عددی و تحلیلی کمتر از ناحیه کوفتگی واقعی است (R.Lewis et al) . اما مدل عددی به وضوح نشان می دهد که در صورت پیشرفت ابزار ها و طرح ریزی صنعتی

و استفاده از این ابزارها برای درو کردن و چیدن محصول سیب و حمل و نقل و بسته بندی، احتمال آسیب در محصولات (سیب) کاهش می یابد.

۲-۲- شبیه سازی(مدلسازی) با استفاده از روش اجزاء گسسته:

مدلسازی با استفاده از روش اجزاء گسسته (DEM) ،جدید ترین تکنیکی است که در شکل صدمه میوه حاصل از ضربه بکار گرفته می شود. یکی از کاربرد های روش اجزاء گسسته در کشاورزی و صنایع غذایی، بر روی صدمه حاصل از ضربه در هنگام حمل و نقل و عملیات دستکاری۱ میوه می باشد. بمنظور بهبود کنترل فرایند های مکانیکی دستکاری میوه (با توجه به کوفتگی میوه ها) ، تلاش برای ایجاد نوعی مدل کامپیوتری برای این فرایندها بر اساس روش اجزاء گسسته با تکیه بر قوانین اساسی مکانیک کلاسیک (قوانین حرکتی نیوتن و اویلر) و مدل نیروی تماسی به منظور شبیه سازی خط سیر و زمان ضربه، صورت گرفت. با استفاده از مدلهای کامپیوتری روش اجزاء گسسته ، می توان قسمتهای بحرانی فرایند ها را شناسایی کرد و در نهایت سیستم های حمل و نقل و دستکاری را به گونه ای طراحی کرد که خطر صدمه به میوه را کاهش دهد. آزمایشات مختلف نشان داد که روش اجزاء گسسته میتواند روشی مناسب برای پیشگویی صدمه حاصل از کوفتگی میوه ها باشد.(M.Van Zeebroeck et al)

نحوه آزمایش:

آزمایش به گونه ای است که از یک تکان دهنده هیدرولیکی برای لرزش جعبه استفاده می شود.(Hostens et al ۲۰۰۰).

سیب ها در یک جعبه شفاف به ابعاد۵۰ □٤٥ □٤٥ جمع آوری شده بودند.و یک سیگنال سینوسی ارتعاشی به دلایل زیر به منظور ارزیابی، انتخاب شده بود:

۱.کاربرد سیگنال های پیچیده مقدار مورد نظر را برای اهداف آزمایش بدست نمی آورد.

۲.سیگنال سینوسی به آسانی بین آزمون شبیه سازی و آزمون آزمایشی تطبیق داده می شود.

اطلاعات ذرات برای هر مرحله در یک فایل دودویی ذخیره می شود که فایل ورودی می تواند توسط نرم افزار مطلب (MATLAB) خوانده شود. اما در این جا مشکلی وجود دارد و آن اینکه ماکزیمم زمان واقعی شبیه سازی که به وسیله ی نرم افزار مطلب برای ۱٤۲ نمونه ذره، آنالیز شد سه دقیقه بود که این مقدار زمان زیادی می باشد و سبب می شود که دقت اندازه گیری پایین آید. راه حل این مشکل، پیش پردازش داده ها درنرم افزار C++ (DEMeter++)، به منظور کاهش نسبتاً زیاد اندازه داده های ورودی آنالیز شده در نرم افزار مطلب یا آنالیز کامل کوفتگی در نرم افزار(DEMeter++) C++ ، به گونه ای که از ورود داده ها به نرم افزار مطلب جلوگیری شود.

پیشگویی صدمه حاصل از کوفتگی میوه ها(سیبها) با استفاده از روش شبیه سازی اجزاء گسسته ، روی هم رفته، نتیجه کاربرد نرم افزار اجزاء گسسته DEMeter++ میباشد. (Tijskens et al) که مدل های نیروی برخورد را با پارامتر های اندازه گیری شده و مدل های کوفتگی به هم پیوند می دهد.

1. handling

برای ارزیابی شبیه سازی، نرم افزار DEMeter++3.1 بر اساس نرم افزار c++ نوشته شد که بوسیله یک فایل متنی ساده می توانستند شرایط اولیه و دیگر پارامتر های شبیه سازی را اجرا کنند و شرایط زیرمی تواند در آن لحاظ شود:

۱.تعداد ذرات: درنسخه اولیهDEMeter++ فقط می توانستیم محصولات را بصورت یک کره تخمین بزنیم(مانند: سیبهاو گوجه ها) اما در نگارش بعدیDEMeter++ ، قطعات با شکل غیر معمولی (مانند: سیب زمینی ها) بوسیله تعداد معینی از کره های صلب که با هم پوشانی دارد، تخمین زده شد.

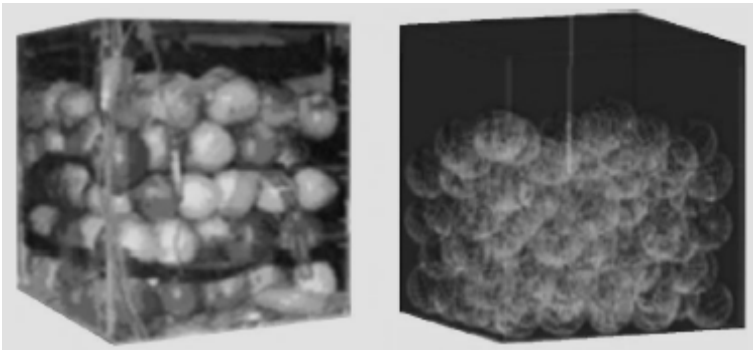
۲)شعاع ذرات: بین مینیمم و ماکزیمم مقدار در نظر گرفته شده است.

۳)دانسیته ذرات: دانسیته سیب ۸۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب می باشد.(mohsenin در سال ۱۹۸٦)

٤)ابعاد جعبه.

۵)زمان شبیه سازی و فاصله زمانی: برای سیب یک فاصله زمانی 0/0005 ثانیه ای یا کمتر نیاز می باشد تا نتایج صحیح و منطقی بدست آید. (فصله زمانی دقت انتگرالگیری میباشد که هر چند فاصله زمانی بیشتر باشد، دقت اندازه گیری کاهش می یابد.)

٦)موقعیت(مکان) اولیه ذرات درون جعبه: به طور تصادفی تعریف می شود.



شکل۷. سمت راست، جعبه سیب که توسط نرم افزار DEMeter++ تصور شده است.

۷)سرعت اولیه ذرات

۸)سیگنال ارتعاش: دامنه نوسان و سرعت زاویه ای می تواند تعریف شود.

۹)شبکه خطوط، الگوریتمی را برای تماس سخت آشکار می کند که زمان شبیه سازی را کاهش می دهد.

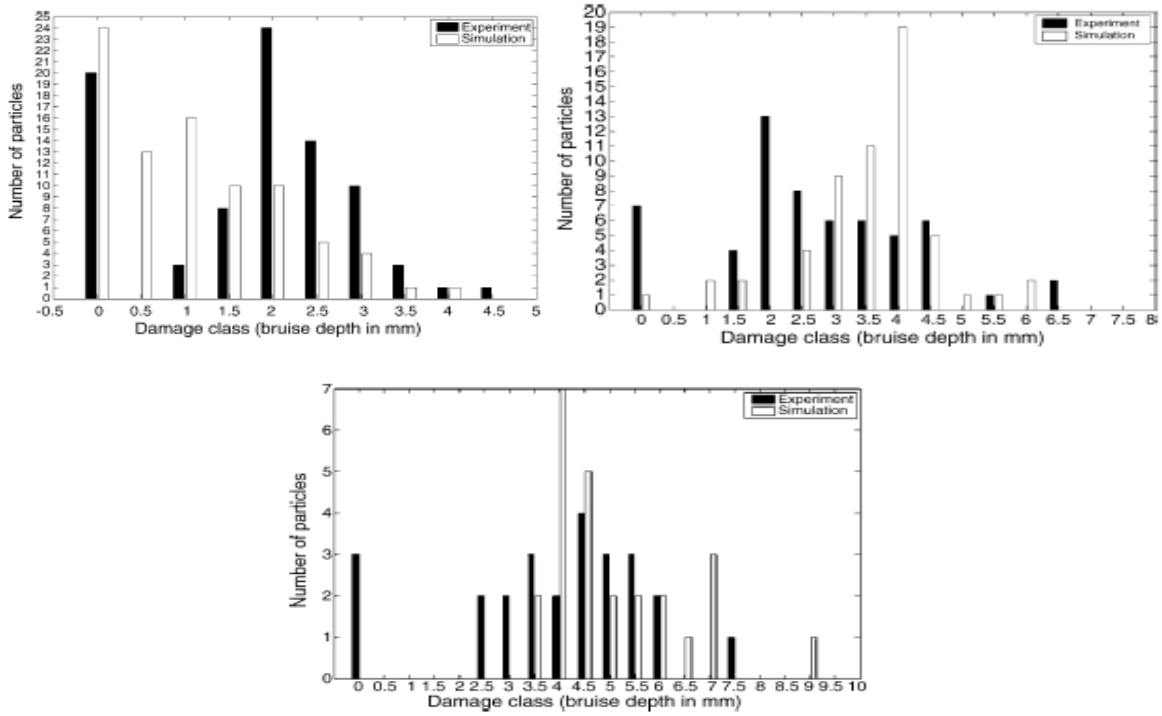
۱۰)رنگ ذرات: بعنوان مثال بصورت شدت رنگ قرمز، سبز یا آبی تعریف شده است.(RGB)

۱۱)پارامتر های مدلهای نیروی تماسی(عمودی و مماسی)

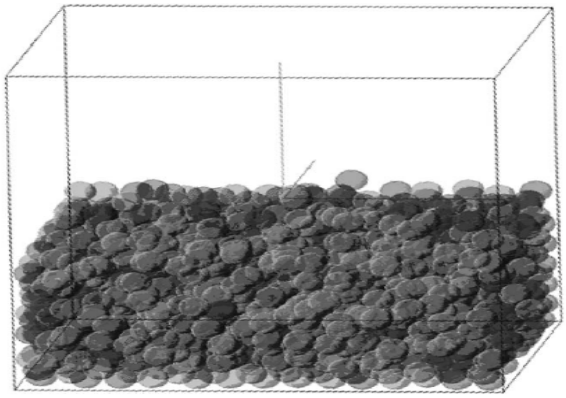
کاربرد روش اجزاء گسسته (DEM) برای پیشگویی آسیب حاصل از ضربه تأیید شده است.در نمودار (۱) مقایسه بین آزمون شبیه سازی و آزمون آزمایشی در هیستو گرام ذرات (سیب ها) با ماکزیمم عمق کوفتگی در یک کلاس آسیب خاص نشان داده شده است. این ارزیابی ها نشان می دهد که روش اجزاء گسسته می تواند در یک روش قابل قبول آسیب کوفتگی سیب را پیشگویی کند. (M.Van zeebroeck, E. Dintwa et al ۲۰۰٦)

نتایج آزمایش مدل اجزای گسسته:

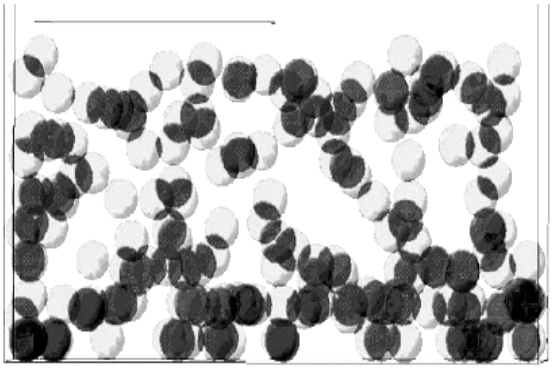
کوفتگی سیب با افزایش فرکانس ارتعاش، کاهش می یابد(M.Van zeebroeck et al). به علاوه در بررسی رابطه بین موقعیت(مکان) سیب در درون جعبه و کوفتگی چنین حاصل شد که به دامنه شتاب ، فرکانس ارتعاش و ارتفاع سیب درون جعبه بستگی دارد. برای حجم توده سیب آسیب کوفگی به تدریج از بالا به پایین برای شتاب زیر ۱.۳g در همه فر کانس ها افزایش می یابد و برای شتاب های بالاتر، لایه های بالا دچار اندکی آسیب کوفتگی بیشتری نسبت به لایه های زیرین هستند. آسیب کوفتگی سیب در لایه لایه های دیگر ، به هر حال از بالا به پایین به تدریج افزایش می یابد.



نمودار۱. نمودار های تعداد سیب های با ماکزیمم عمق کوفتگی در سه کلاس آسیب خاص(با استفاده از به کار بردن یک سیگنال شتاب معین)

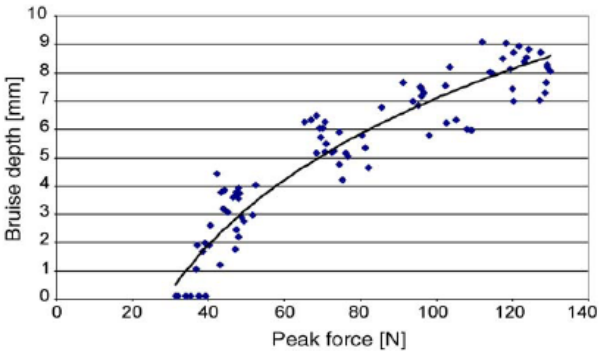


شکل۸. توزیع فضایی سیب ها با ماکزیمم کوفتگی به عمق 5mm و بیشتر برای یک دامنه شتاب معین ۱.۱g رنگ خاکستری تیره سیب هایی با ماکزیمم عمق کوفتگی بیشتر از 5mm ،رنگ خاکستری روشن سیب های باقیمانده



شکل۹. توزیع فضایی سیب ها با ماکزیمم کوفتگی به عمق 5mm و بیشتر برای یک دامنه شتاب معین۱.۱ سیب ها با ماکزیمم عمق کوفتگی کمتر از5mm به صورت نامرئی هستند.

در نمودار (۲) معادله رگرسیون برای عمق کوفتگی بدست آمده است.BDE عمق کوفتگی بر حسب میلیمتر و PF اوج نیروی برخورد بر حسب نیوتن می باشد. در این شکل رابطه بین اوج نیروی برخورد و عمق کوفتگی نشان داده شده است(M. Van Zeebroeck ۲۰۰۵).



نمودار۲. رابطه بین اوج نیروی برخورد(N) و عمق کوفتگی(mm).

BDE=5.67Ln(PF)-18.99 BDE: عمق کوفتگی PF: اوج نیروی برخورد

نتایج و بحث

امروزه روش اجزای محدود بعنوان ابزاری قدرتمند برای حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی بکارمیرود . باپیشرفتهای بدست آمده، این روش در بسیاری ازمسائل از دقت خوبی برخوردارمی باشد و شامل مزایای زیادی می باشد که می توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱.در این روش مدل های با اشکال بی قاعده به شکل های کاملاً آسان تبدیل می شوند.

۲.در این روش می توان مدل هایی با چندین مواد مختلف ساخت زیرا معادله هر جزء به طور مجزا ساخته می شود.

۳.در این روش امکان سرو کار داشتن با حالت های مختلف نیرو بدون هیچ گونه مشکل وجود دارد.

.....

اما در عین حال نقایصی بر آن وارد است، درروش اجزای محدود می بایست حوزه مسئله را به اجزای کوچکتری تقسیم بندی نمود که ان را شبکه اجزای محدود می نامند. در برخی مسائل ایجاد چنین شبکه ای بویژه در حالتی که نیاز به تجدید های متوالی باشد، بسیار پر هزینه است .از اینرو بسیاری از محققین به روشهای نقاط محدود که گسسته سازی مدل درآنها صرفا به وسیله تعدادی نقاط انجام میپذیرد وتغییرمختصات این نقاط بسیار آسان می باشد، روی آورده اند. با این روش می توان معادله دیفرانسیل مورد نظر را به شکل انتگرالی تبدیل نموده و بعلاوه پس ازجایگزینی انتگرال با مجموع عددی می توان توابعی نظیر توابع شکل را در اجزای محدود ساخت.

لازم به یادآوری است در بررسی برآورد دقت، طبیعتا روش اجزای گسسته فاقد دقت لازم در مجاورت مرزها می باشد(به علت محدود سازی نقاط) در حالی که روش اجزای محدود در بسیاری ازمسائل از دقت خوبی برخوردارمی باشد. همچنین در روش اجزای گسسته حداکثر تعداد ذرات و طول مدت شبیه سازی توسط قدرت محاسباتی محدود شده است (زمان شبیه سازی شرط است و زمان اجرا برنامه واقعی نیست). جریان معمولی حاوی میلیاردها ذره می باشد اما اخیراً توانسته اند همزمان با شبیه سازی مدل اجزاء محدود (DEM) در محاسبات بزرگ منابع، به اندازه ی کافی به این مقیاس نزدیک شوند.

منابع و مآخذ

به ترتیب حروف الفبا

۱. عباس مهدی زاده لیما دانشجوی کار شناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود حل مسئله تنش مسطح به روش نقاط محدود ٢٤ اردیبهشت ماه ۱۳۸۳.

<Books>

2. Mohsenin, N, Physical properties of plant and animal materials, pennsylvania state university , 1968.

<Review articles :>

3.Van zeebroeck, M., Van linden , V., Ramon, H., De Baerdemaeker, j., Nicolai, B.M., Tijskens,e., Impact damage of apple during transport and handling ,Postharvest Biology and Technology , 2007, 45: 157-167

4.R. Lewis *, A. Yoxall, L.A. Canty, E. Reina Romo Development of engineering design tools to help reduce apple bruising Journal of Food Engineering 83 (2007) 356–365

5.M. Van Zeebroeck ∗, E. Tijskens, E. Dintwa, J. Kafashan, J. Loodts, J. De Baerdemaeker, H. Ramon The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling: Case study of vibration damage during apple bulk transport Postharvest Biology and Technology 41 (2006) 92–100

6.Edward Dintwa ∗, Michael Van Zeebroeck, Herman Ramon, Engelbert Tijskens Finite element analysis of the dynamic collision of apple fruit Postharvest Biology and Technology 49 (2008) 260–276

7.D T Gethin, X-S Yang and R W Lewis; A Two Dimensional Combined Discrete and Finite Element Scheme for Simulating the Flow and Compaction of Systems Comprising Irregular Particulates, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 195, 2006, 5552–5565 (2006)

8.M. Van Zeebroeck ∗, E. Tijskens, E. Dintwa, J. Kafashan, J. Loodts, J. De Baerdemaeker, H. Ramon The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling: Model building and validation of DEM to predict bruise damage of apples
Postharvest Biology and Technology 41 (2006) 85–91

9.ShareAlike Discrete element method From Wikipedia, the free encyclopedia on 26 April 2010

10.Dary L. Logan A First course in the finite element method 2002

11.L. Ragni; A. Berardinelli Mechanical Behaviour of Apples, and Damage during Sorting and Packaging *J. agric. Engng Res.* (2001) 78 (3), 273}279

Abstract

Transfer vegetables and fruits from garden to the supermarket is very complex that includes numbers of process such as: packaging, sorting, storage, transportation and transfer. During this process for quality of fruits and vegetables should be carefully preservered and to prevent of damage them.
When we want to transfer and transportation mass of agricultural products, so, the phenomenon impact occurs. In this kind of operation products impacted to each other or surrounding walls. Fruits impacted by neighbouring itself fruits, branches of trees and the levels that fall of them. In fact, this factor is determined of damage and crushed of fresh fruits without created a hole in the skin of them.
Two kinds of method that use in back ground of simulation of push agricultural products such as: finite element method and descrete element method that in this research to compare two methods. The results show that finite element method in area of discussion should be divided to smaller parts, that called Mesh. In some problems to created as this network specially, when is necessary to restoration continuous is very expensive, so this method has more ability and accuracy to simulation of push to apple.

Keywords: Finite element method , Discrete element method, Simulation, Apple bruising