بسم الله الرحمن الرحيم

پایان نامه کارشناسی ارشد (دکتری)

تحلیل نیرویی جعبه های حمل میوه با استفاده از روش شبیه سازی عددی المانهای مجزا (DEM)

سعید هاشمی نیاسری

استاد راهنما
دکتر محمدحسین عباسپور فرد

استاد مشاور
دکتر مهدی خجسته پور

شهریور 1388

تصویب نامه

این پایان نامه با عنوان تحلیل نیرویی جعبه های حمل میوه با استفاده از روش شبیه سازی عددی المانهای مجزا (DEM) توسط سعید هاشمی نیاسری در تاریخ 1388/6/30 با نمره . . . . و درجه ارزشیابی . . . . در حضور هیات داوران با موفقیت دفاع شد.

هیات داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت در هیات	امضاء
1	آقای دکتر محمدحسین عباسپور فرد	دانشیار	استاد راهنما	
2	آقای دکتر مهدی خجسته پور	استادیار	استاد مشاور	
	آقای دکتر عمادی	استادیار	استاد مدعو	
	آقای دکتر صدرنیا	استادیار	استاد مدعو	
	آقای دکتر	استادیار	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: " تحلیل نیرویی جعبه های حمل میوه با استفاده از روش شبیه سازی عددی المانهای مجزا (DEM)"

اینجانب **سعید هاشمی نیاسری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مکانیک ماشینهای کشاورزی**

دانشکده **کشاورزی** دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی **دکتر محمدحسین عباسپور فرد** متعهد می شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد دیگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل با نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در صورت استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آنها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

تاریخ

نام و امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده

امروزه علیرغم وجود روشها و ابزار پیشرفته حمل و نقل و نگهداری میوه و سبزیجات؛ یکی از روش های متداول حمل و نقل و نگهداری میوه استفاده از جعبه های مخصوص حمل و نقل میوه می باشد که به صورت گسترده در صنعت و بازار مورد استفاده می باشد. محصول انباشته شده 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 المانهای مجزا (DEM) استفاده گردید. در این روش دانه ها با شکل چند کره ای درون جعبه های مستطیل مربعی مدل سازی می شوند و بر اثر نیروی ثقل در جعبه انباشته می گردند. نیروهای وارد بر دانه ها در کف جعبه استخراج شده و در قالب مشخصه های نیرویی مختلف ارزیابی گردیدند. در این تحقیق اثرات شکل جعبه (ابعاد جعبه)، ضریب اصطکاک دانه ها با همدیگر و با جعبه، شکل دانه، ضریب میرایی و درصد پرشدگی جعبه بر مشخصه های نیرویی شامل انحراف از معیار نیروهای وارد بر دانه ها، میانگین نیرو، بیشینه نیرو و تخلخل محصول درون جعبه مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایشات شبیه سازی شده در ۴ حالت شکل دانه (تک کره ای، جفت کره ای با همپوشانی ۹۵، ۵۰ و ۵ درصد)؛ هر حالت شکل دانه چهار تکرار با ضریب اصطکاک متفاوت (۰/۱، ۰/۵، ۱/۰، ۱/۵) و در هر تکرار ۵ حالت شکل جعبه (نسبت طول به عرض ۱/۱، ۱/۹، ۲/۷، ۴/۸ و ۵/۶) انجام گرفتند. نتایج نشان دادند که در دانه های کروی ابعاد جعبه بر مشخصه های نیرویی تاثیری ندارند. در دانه های غیر کروی باریک شدن جعبه باعث افزایش با شیب کم در انحراف از معیار و بیشینه نیرو گردیدند ولی در میانگین نیروها اثر کاهشی داشتند. در دانه های کروی افزایش اصطکاک باعث افزایش مشخصه های انحراف از معیار، میانگین نیروها و بیشینه نیرو شد که حاکی از نامطلوب بودن شرایط نیرویی در کف جعبه دارد. در دانه های کشیده افزایش اصطکاک باعث انتقال بخشی از بار محصول به واسطه پدیده گرفتگی محصول و پل زدن محصول، به دیواره می گردد. دانه های غیر کروی در اصطکاک پایین انحراف از معیار بالایی دارند و میانگین نیز بالاست که باعث لهیدگی محصول در کف جعبه می گردد. نتایج درصد پرشدگی جعبه نشان دادند که روند افزایش مشخصه های نیرویی با افزایش ارتفاع روندی خطی است و همچنین در دانه های کروی و دارای سطح صاف افزایش ارتفاع باعث اثرات نامطلوب بر لایه های زیرین می گردد.

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

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

1- مقدمه و اهداف 1

2-1 روشهای مدل سازی مواد دانه ای..... 3

1-2-1 روش شبیه سازی المان های مجزا 4

3-1طرح مسئله..... 5

4-1 هدف 6

2- بررسی منابع 7

1-2 روشهای آزمایشگاهی 8

2-2 روشهای مدل سازی جهت مطالعه مواد دانه ای 10

1-2-2 مکانیک پیوسته 10

2-2-2 مکانیک گسسته.....10

3-2 کاربرد روش المانهای مجزا 11

1-3-2 مطالعات در مواد دانه ای طبیعی 12

3- مواد و روشها.....15

1-3 تئوری روش المان های مجزا(DEM) 15

1-1-3 مراحل اصلی شبیه سازی 17

2-3 اصول شبیه سازی به روش المان های مجزا 19

1-2-3 رابطه نهایی 27

3-3 ساختار برنامه (کد) موجود 27

3-3-1 اجزای برنامه 28

4-3 تغییرات صورت گرفته در پروژه حاضر 36

4- نتایج و بحث 43

4-1 بررسی نتایج 45

4-1-1 نمایش نتایج 45

4-1-2 بررسی نتایج انحراف از معیار نیرو 46

4-1-3 بررسی نتایج میانگین نیروها 50

4-1-4 بررسی نتایج مجموع نیروها 54

4-1-5 بررسی نتایج بیشینه نیرو 56

4-1-6 بررسی نتایج تخلخل 58

4-1-7 نتایج درصد پرشدگی جعبه 60

4-1-8 بررسی الگوهای نیرویی در کف جعبه 62

5- نتیجه گیری و پیشنهادات 65

5-1 پیشنهادات 66

پیوست ها 69

پیوست 1 70

فهرست اسامی انگلیسی و معادل فارسی 72

منابع 75

فهرست اشکال

عنوان **شماره صفحه**

شکل 1-1 تعداد انتشارات مربوط به شبیه سازی المانهای مجزا در 20 سال اخیر..... 5

شکل 3-1 مشخصه های تماس الف) شکل صاف و غیر کروی ب) شکل صاف و کروی.....16

شکل 3-2 جابجایی عمودی (Δn) و جابجایی مماسی (Δ_{st}, Δ_{sr}) برای دو دانه در تماس 17

شکل 3-3 الگوریتم محاسبات در روش المانهای مجزا.....19

شکل 3-4 مدل تماسی در DEM 21

شکل 3-5 نمایش دانه های شبیه سازی شده در مرحله تولید دانه ها 31

شکل 3-6 نمایش دیواره های شبیه سازی شده در مرحله تولید اولیه.....31

شکل 3-7 نمایش دانه ها با شکل تک کره ای که در جعبه انباشته شده اند 32

شکل 3-8 نمودار عدد کوئوردیناسیون نسبت به زمان.....32

شکل 3-9 ساختار برنامه و مراحل اصلی شبیه سازی 35

شکل 3-10 شکل دانه های استفاده شده در مدل با حجم یکسان.....39

شکل 3-11 نمایه ای از کل آزمایشات صورت گرفته 41

شکل 4-1 شکل دانه های انباشته شده تهیه شده توسط نرم افزار Catia برای 4 حالت مختلف شکل دانه 45

شکل 4-2 نتایج انحراف از معیار نیروهای وارد بر دانه ها در کف جعبه بر اساس ضریب اصطکاک 47

شکل 4-3 نتایج انحراف از معیار نیروهای وارد بر دانه ها در کف جعبه بر اساس شکل دانه 49

شکل 4-4 نتایج میانگین نیروهای وارد بر دانه ها در کف جعبه بر اساس ضریب اصطکاک.....51

شکل 4-5 نمایی از پدیده پل زدن محصول و کیفیت انتقال نیرو در آن 52

شکل 4-6 نتایج میانگین نیروهای وارد بر دانه ها در کف جعبه بر اساس شکل دانه 53

شکل 4-7 نتایج مجموع نیروهای وارد بر دانه ها از کف جعبه بر اساس ضریب اصطکاک 55

شکل 4-8 نتایج بیشینه نیروی وارد بر دانه در کف جعبه بر اساس ضریب اصطکاک.....57

شکل 4-9 نتایج نسبت تخلخل محصول درون جعبه بر اساس ضریب اصطکاک 59

شکل 4-10 نتایج مدل سازی برای حالات مختلف پرشدگی 61

شکل 4-11 الگوی نیروهای وارد بر دانه ها در کف جعبه.....63

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۲-۱ ضایعات مربوط به سیب در مراحل مختلف (شرافتیان، ۱۳۶۲). ۸

جدول ۳-۱ مقادیر داده های اولیه ورودی به کد شامل مشخصات فیزیکی محصول و مشخصات کد..... ۳۶

جدول ۳-۲ حجم و جرم دانه ها با همپوشانی مختلف ۴۱

جدول ۴-۱ نتایج تعداد ۵ بار تکرار مدل سازی در شرایط یکسان و تفاوت در نحوه آرایش دانه ها ۴۴

جدول ۴-۲ تعداد دانه ها در کف جعبه برای حالات مختلف شکل دانه و ضریب اصطکاک ۴۸

فهرست علائم و اختصارات

نماد	معادل انگلیسی	معادل فارسی
$\mathrm{k_n}$	Normal stiffness	سختی عمودی
$\mathrm{k_t}$	Tangential stiffness	سختی مماسی
F_d	Damping force	نیروی میرایی
F_{dn}	Normal damping force	نیروی میرایی عمودی
F_{ds}	Tangential damping force	نیروی میرایی مماسی
F_n	Normal force	نیروی عمودی
F_s	Tangential force	نیروی مماسی
G_{max}	Maximum shear modulus	بیشترین مدول برشی
G_s	Shear modulus	مدول برشی
R_e	Equivalent radius	شعاع میانگین
R_{min}	Radius of the smallest particle	شعاع کوچکترین دانه
c_n	Normal contact damping	ضریب میرایی عمودی
c_t	Tangential contact damping	ضریب میرایی مماسی
m_{min}	Mass of the smallest particle	جرم کوچکرین دانه
$\dot{n}$	Normal relative velocity	سرعت نسبی عمودی
$\dot{s}$	Tangential relative velocity	سرعت نسبی مماسی
$\dot{x}$	Relative velocity	سرعت نسبی
$\boldsymbol{V}_p$	Particle velocity vector	بردار سرعت خطی دانه
δ_n	Virtual normal overlap	همپوشانی مجازی عمودی

بردار سرعت زاویه ای دانه	Particle rotational velocity vector	$\boldsymbol{\omega_p}$
بازه زمانی	Time step	Δt_{cr}
درصد همپوشانی	_	a
عدد کوردیناسیون	Co-ordination number	CN
فاصله مرکز یک کره از مرکز دانه	_	d
مدول الاستیسیته	Elasticity modulus	E
شعاع کره	Radius	R
حجم دانه	Volume	V
میرایی تماسی	Contact damping	D
شعاع محدوده تماس	Radius of the contact area	a
ضریب جهش	Coefficient of restitution	e
ثابت میرایی عمومی	Proportionality constant for global damping	f
سختی	Stiffness	k
بردار گشتاور	Moment vector	$\boldsymbol{M}$
نسبت میرایی	Damping ratio	β
ضریب تناسبی	Proportionality constant	γ
ضریب اصطکاک	Friction coefficient	μ
ضریب پواسون	Poisson’s ratio	ν
چگالی	Density	ρ
پارامتر وابسته به ضریب پواسون	Parameter dependant on the Poisson ratio	ψ

۱- مقدمه و اهداف

دانش مربوط به مواد دانه ای[1] و تکنولوژی آن روز به روز در حال گسترش است و علت آن لـزوم درک رفتـار دانه ها در مقیاس بزرگ[2] با توجه به رفتار آن ها در مقیاس کوچک[3] (دانه) می باشد. تحقیقات گسترده ای که به طـور گسترده در این زمینه صورت گرفته باعث گسترش فهم ما از عملیات دربرگیرنده مواد دانه ای گردیده است. بـا توجـه به نیازهایی که برای توصیف رفتار مواد توده ای و دانـه ای وجـود دارد از جملـه در مـواد غـذایی و کشـاورزی مـواد دارویی، پلیمرها، مواد شوینده، و صنایع شیمیایی؛ بررسی های زیادی برای مطالعه رفتار این گونه مواد صورت گرفتـه است و کتاب های متعددی منتشر شده است. (اُدا، ۱۹۹۹؛ دوران، ۲۰۰۰ و مونجیزا و همکاران، ۲۰۰۴)

یکی از راه های بررسی رفتار مواد دانه ای استفاده از روشهای آزمایشـگاهی و تجربـی اسـت کـه بـه صـورت گسترده مورد استفاده بوده و امروزه نیز از اهمیت برخوردار است. از مزایای روشهای آزمایشگاهی نتـایج بسـیار قابـل اعتماد و مطابق با واقعیت آن است. چنین اطلاعاتی برای گسترش فرایند های مربوط به مواد دانه ای اجتناب ناپـذیر است. اما این روش دارای محدودیت هایی است:

- اصولا اغلب آزمایشات و مطالعات در مقیاسی کوچکتر از مقیاس واقعی انجام می شوند. لذا بـرون یـابی آنهـا بـه مقیاس واقعی فرایندی همراه با خطا می باشد.

[1] Particulate materials
[2] Macroscopic
[3] Microscopic

- روشهای آزمایشگاهی محدود هستند. به عنوان مثال قادر به تخمین دقیق دینامیک داخلی بین دانه ها در مجموعه دانه نمی باشند.

- مراحل کار آزمایشگاهی از جمله انتخاب بهترین روش آزمایشگاهی جهت حصول نتایج مورد نظر، طراحی و تهیه دستگاه یا وسیله، کالیبره کردن دستگاه با استفاده از یک سری داده های حقیقی، تهیه محصول در شکل و اندازه های مورد نظر (بخصوص در محصولات کشاورزی که زمینه هایی چون خرابی یا نارس بودن محصول را دارند)، بررسی یک متغیر به طوری که متغیرهای دیگر بر روی نمونه تاثیر نگذارند، ایجاد شرایط مناسب محیطی (از جمله مهارت شخص آزمایش کننده) جهت کمینه کردن خطا در نتایج بدست آمده، تفسیر نتایج که به صورت خام هستند و نیاز به تبدیل دارند (مثلا داده های کرنش سنج صرفا یک سری داده های الکتریکی و خام هستند) و مواردی از این قبیل این نوع روشها را دچار محدودیت هایی از جمله دشواری طی مراحل، زمان بر و پرهزینه بودن کرده است.

- یکی از محدودیت های عمده روش های آزمایشگاهی در دادن اطلاعات در مقیاس توده می باشد.

با توجه به رشد و گسترش رایانه های پرسرعت کنونی و ظهور روشهای عددی در توصیف پدیده های مختلف طبیعت، بهره بردن از این توانایی ها جهت مطالعه و شبیه سازی رفتار مواد متشکل از دانه ها و اجزای مجزا امری طبیعی می باشد. این روشها مزایای بسیاری چون سرعت حصول نتیجه، تغییر متغیرها، سهولت در تغییر داده های ورودی به جای انجام آزمایشات مکرر در روشهای آزمایشگاهی، بدست آوردن نقاط بهینه با تغییر پیوسته متغیر بر روی دامنه، اعمال متغیرهای متفاوت در عین واحد، راحتی مدل سازی حالت های مختلف یک پدیده و در مقیاس واقعی، تفسیر راحت نتایج و کم هزینه بودن را دارا می باشند.

بنابراین هدف نهایی به صورت طبیعی این است که پایه ها و اساس یک تئوری برای رفتار این گونه مواد را پایه ریزی نماید. یک مدل مناسب شبیه سازی ما را قادر به تشخیص نواحی بحرانی در یک عملیات ویژه می سازد، راهنمای بهبود کنترل آن عملیات بوده، منجر به طراحی عملیات هایی می شود که کمترین آسیب را در بر داشته باشند.

۲-۱ روشهای مدل سازی مواد دانه ای

این روشها به طور کلی عبارتند از:

۱- روشهای پیوسته: بسیاری از مواد را می توان به صورت توده پیوسته در نظر گرفت و بر این اساس روشهای متنوع بررسی مواد پیوسته را به کار برد. مطالعات گسترده ای در این زمینه انجام شده است و هم اکنون نیز در حال انجام است (مسعودی و بویل، ۲۰۰۱؛ ون بارس، ۲۰۰۵).

۲- روشهای دینامیک دانه[1]: که به صورت وسیعی مرتبط با تکنیک شبیه سازی دانه محور[2] می باشد. این روش مدیون توانایی های کامپیوترهای پر سرعت کنونی است. در این روش معادلات حرکت به صورت عددی برای هر دانه منفرد در گذشت زمان با توجه به اثر نیروهای بین دانه-دانه یا دانه-دیواره، حل می شوند. این روش قادر به شبیه سازی سیر تکاملی یک مجموعه دانه در یک بازه زمانی با استخراج تمام جابجایی ها، سرعت ها و نیروهای مربوط به هر دانه می باشد. در یک گستره وسیع دینامیک مولکولی[3] منشاء و اصل روشهای دانه محور که شامل قانون های حرکتی نیوتون (قانون دوم) است، می باشد. البته بعضی از تفاوت ها در ماده مورد مطالعه تفاوت هایی را در نوع شبیه سازی منجر می شود. کاربرد دینامیک مولکولی در مواد دانه ای اولین بار توسط کاندال و استراک (۱۹۷۹) جهت مطالعه حرکت مواد سنگریزه ای صورت گرفت و به نام روش المانهای مجزا[4] نامگذاری شد. با توجه به این که اولین کاربرد آن در حیطه ژئوفیزیک بوده است لذا در زمینه های مشابه دیگری مثل معدن، عمران و مهندسی مواد و به مرور در زمینه های دیگری چون مهندسی عملیات[5]،مهندسی کشاورزی، مهندسی صنایع و صنایع داروسازی گسترش یافت. این روش یک روش بسیار منعطف و وفق پذیر شبیه سازی می باشد. این روش توسط محققین جهت مطالعه پدیده های گوناگون در مواد دانه ای مورد استفاده بوده است.

همچنین در سال های اخیر تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. همگام با گسترش روشهای شبیه سازی دانه ای تا به حال چندین روش و تکنیک شبیه سازی[6] شامل روشهای Montecarlo و Cellularautomato به ظهور رسیده است.

---

[1] Particle dynamics approach
[2] Particle-based simulation(PBS)
[3] Molecular dynamic(MD)
[4] Discrete(distinct) element method (DEM)
[5] Process engineering
[6] Simulation, modeling

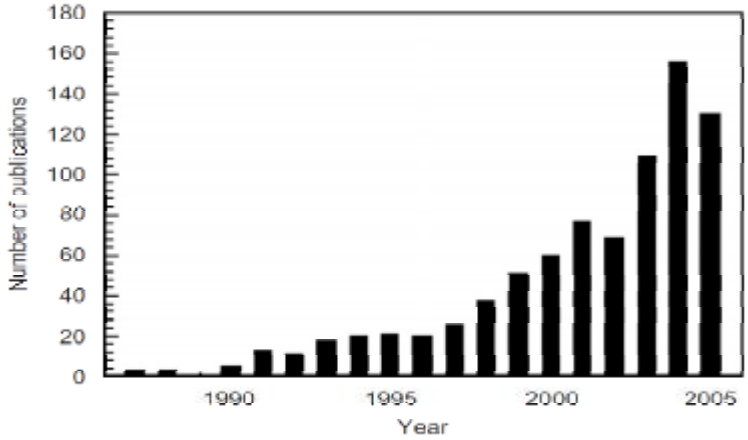
۱-۲-۱ روش شبیه سازی المان های مجزا

روش شبیه سازی المانهای مجزا اساسا یک روش و تکنیکی عددی است برای مدل کردن سامانه های حاوی دانه که در تماس و برخورد با یکدیگر و با دیواره می باشند. در این روش هر دانه در سامانه دانه دانه[1] به صورت یک عضو محدود[2] و مجزا و منفرد عمل می کند. معادلات حرکت به صورت عددی در زمان های مختلف با هم جمع می شوند تا سرعت و موقعیت دانه در بازه زمانی بعدی بدست می آید لذا در این روش مسیر حرکت هر دانه و تاریخچه برخوردها برای هر دانه قابل بازیابی و در دسترس است. رفتار مواد در برخورد و ضربه توسط مدل نیروی تماس[3] بررسی می شوند که این مدل تغییر شکل در محل تماس را با نیروی تماس مرتبط می سازد. مدل نیروی تماس همان نقشی را در DEM بازی می کند که معادلات پیوستگی در روش المان محدود[4]؛ در نتیجه معادلات اصلی مسئله محیط های پیوسته به یک سری معادلات دیفرانسیلی معمولی حرکت تبدیل می گردد که با قانون نیروی تماس پشتیبانی می شود. مدل های تماس کلید دقت شبیه سازی المان های مجزا را در دست دارند. مدل های مختلفی برای توصیف مدل نیروی تماس برای مواد الاستیک موجود است (هرتز، ۱۸۸۲؛ میندلاین، ۱۹۴۹). مدل های تماس از طرفی باید دقیق و از طرفی باید ساده باشند تا قابل محاسبه در کامپیوتر باشند و این دو همیشه در یک چالش جدی با یکدیگر هستند.

رفتار مواد دانه ای در مقیاس بزرگ وابسته به برخورد بین تک تک دانه ها و دانه با محیط بیرونی آن می باشد. از این جهت در این نوع تحقیقات نیاز به پژوهش در مقیاس دانه (میکرودینامیک[5]) می باشد. لذا نتایج پژوهش های آزمایشگاهی اطلاعات اولیه این نوع مدلها هستند ونقش شایان توجهی در هر چه حقیقی تر شدن نتایج دارند.

شبیه سازی به روش المان های مجزا قادر به استخراج اطلاعات دینامیکی از قبیل راستا و اندازه نیروهای آنی وارد به دانه های منفرد می باشد که اگر بخواهند به وسیله روشهای آزمایشگاهی صورت پذیرند بسیار دشوار ودور از دسترس می باشند. لذا در این دو دهه اخیر استفاده از این تکنیک ها به صورت فزاینده مورد استفاده بوده است. (زو و همکاران، ۲۰۰۷). رشد فزاینده استفاده از این روشها در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

[1] Granular
[2] Rigid body
[3] Contact force model
[4] Finite element method(FEM)
[5] Micro dynamic



شکل ۱-۱ تعداد انتشارات مربوط به شبیه سازی المانهای مجزا در ۲۰ سال اخیر (زو و همکاران، ۲۰۰۷)

۱-۳طرح مسئله

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. امروزه استفاده از روشهای عددی در این زمینه گسترش قابل توجهی داشته است. مواد کشاورزی عمدتا به صورت توده رفتار می کنند سامانه ی توده ای از دانه ها با اشکال و اندازه های متفاوت تشکیل شده که موجب رفتار مکانیکی متفاوت در آنها می شود. مواد توده ای همیشه به صورت قابل توجهی رفتار متفاوت از دانه های منفرد را دارند. گسترش و بهبود طراحی ماشین های کشاورزی به خصوص ماشین های برداشت و فرآوری نیاز به گسترش دانش در مورد رفتار فیزیکی و دینامیکی محصولات دارد. مزایای روشهای عددی[1] (اسکمبری و هریس، ۱۹۹۶) نشان دادند که این روشها می توانند به عنوان جایگزین روشهای آزمایشگاهی جهت استخراج داده های لازم برای عملیات طراحی مورد استفاده قرار بگیرند.

تحقیقات بسیار گسترده جهت مطالعه رفتار پدیده های مختلف با روشهای مختلف شبیه سازی صورت گرفته است. از جمله بسته بندی و حمل و نقل مواد دانه ای، فرایند هایی که مواد به صورت کپه در می آیند، انبارداری، جریان سیلوها، مخلوط کردن و دانه دانه سازی محصولات می باشد. ترکیب روش المانهای مجزا با دینامیک محاسباتی سیالات[2] جهت شبیه سازی و توصیف جریان مواد دانه ای چون انتقال بادی دانه ها مورد استفاده است.

[1] Numerical
[2] Computational fluid dynamic(CFD)

۱-۴ هدف

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، وذخیره 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 (باهری، ۱۹۹۷). لهیدگی[1] در سیب به عنوان منبع اصلی افت کیفیت به کرات در تحقیقات گزارش شده است (بترم، ۱۹۸۳). شدت آسیب به صورت کلاسیک با استفاده از روشهای آزمایش پاندولی یا آزمایش سقوط آزاد مورد بررسی قرار گرفته است (محسنین و همکاران، ۱۹۷۸). این گونه روشها (پاندولی، سقوط آزاد و کلا روشهای آزمایشگاهی) مشکلات زیر را دارند:

- در مواد دانه ای ضربه و فشار متغیر است (میوه-میوه، میوه-دیواره، نیروی عمود یا مایل) که در این روشها قابل بررسی نیست و عمدتا شبیه سازی به روش پاندولی دشوار می باشد.
- اطلاعات به دست آمده جهت گیری روشنی برای بهبود ماشین ها فراهم نمی کند.
- عملیات قابل توجهی لازم دارند و کلا زمان بر هستند.

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. این صدمات ناشی از عواملی چون تراکم محصول بر روی هم، عدم تهویه مناسب، عدم برودت لازم، رسیدگی زیاد محصول و طول مدت حمل و نقل و انبارداری می باشد. یکی از اصلی ترین متغیرهایی موثر در میزان تلفات، شدت نیروهای وارده به محصول و به تبع آن تنش وارد به آن می باشد. طراحی بهترین جعبه ها با ابعاد مختلف برای بهینه کردن نیروهای وارده به محصول یکی از گامهای اساسی در کاهش تلفات به نظر می رسد. در این پژوهش بر آنیم که 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 کنیم.

[1] Bruising

۲- بررسی منابع

براساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی (فائو[1])، ایران در تولید ۱۵ محصول زراعی و ۲۵ محصـول بـاغی در جهان مقام نخست تا دهم را دارد و از نظر تنوع تولید مقام سوم را به خود اختصاص داده است. ولـی بـه رغـم وجـود امکانات بالقوه فراوان و تولید قابل ملاحظه انواع محصولات کشاورزی در کشور، سالیانه شاهد ضایعات بـیش از حـد محصولات کشاورزی بویژه سبزیها، صیفی جات و میوه ها می باشیم. چراکه به دلایل گوناگون از جملـه عـدم وجـود صنایع تبدیلی، بسته بندی، نگهداری مناسب و کـافی و عـدم احـداث صـنایع در قطبهـای عمـده تولیـد محصـولات کشاورزی به صورت مجتمع های کشت و صنعت، مقادیر زیـادی از ایـن تولیـدات در اثـر حمـل و نقـل و نگهـداری طولانی و نامناسب ضایع می شود و از بین می رود. ضایعات مواد غذایی یکی از چالش های صنعت کشـاورزی اسـت که ابعاد نگران کننده ای یافته است. میزان ضایعات در ایران از میزان متعارف در کشورهای توسعه یافته بالاتر است.

از عواملی که باعث بروز ضایعات پس از برداشت محصولات کشاورزی می شوند می توان بـه مـواردی اشـاره نمود:

- نامناسب بودن مواد اولیه بسته بندی جهت حمل و نقل
- نامناسب بودن وسایل حمل و نقل محصولات کشاورزی. میزان ضایعات محصولات کشاورزی بواسطه نامناسب بودن حمل و نقل ۳-۷ درصد می باشند.

[1] FAO (Food and Agriculture Organization)

- فقدان ماشینهای درجه‌بندی و یا فرسوده بودن دستگاههای موجود. در این قسمت ۵-۳/۵ درصد از محصول ضایع می‌شود.

- کمبود سردخانه، سیلو و انبار. میانگین میزان ضایعات محصولات کشاورزی در این قسمت ۵-۲ درصد گزارش شده است.

- محدود بودن امکانات بسته بندی شامل مواد اولیه بسته بندی، دستگاههای بسته بندی و بالا بودن قیمت مواد اولیه بسته بندی و دستگاه‌های مدرن. در این قسمت ۲-۳/۵ درصد از محصولات کشاورزی ضایع می‌شود.

-طبق آمار و بررسی‌های بعمل آمده، متوسط ضایعات صیفی جات در ایران ۳۰ درصد می‌باشد(روزنامه همشهری، ۱۳۸۱). جدول (۲-۲) ضایعات مربوط به سیب در مراحل مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱ ضایعات مربوط به سیب در مراحل مختلف (شرافتیان، ۱۳۶۲).

عامل	قبل از برداشت	رسیدگی	نیروی انسانی	جعبه	حمل و نقل	سردخانه	درجه بندی	عمده فروشی و خرده فروشی	جمع
درصد ضایعات	۱۰	۲	۲	۳	۱	۲	۱	۷	۲۸

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 می‌رسد. بررسی نیروهایی که میوه ها در حین انبارداری به خصوص در کف جعبه متحمل می شوند برای بررسی لهیدگی میوه‌ها ضروری است. برای این بررسی می‌توان از روشهای مختلفی بهره برد که در ذیل آنها را بررسی می‌نماییم.

۲-۱ روشهای آزمایشگاهی

مطالعات آزمایشگاهی گسترده در رابطه با رفتار مکانیکی مواد کشاورزی در راستای گسترش و بهبود طراحی ماشینها به سال ۱۹۴۵ برمی‌گردد (سیتکی و استوارت، ۱۹۸۶)

مطالعات و بررسی ها بیشتر بر روی لهیدگی[1] در میوه ها متمرکز بودند.. همچنین تحقیقات زیادی بر روی مسائلی چون شکستگی و سطح تحمل در برابر بار و رفتار جریان مواد برای بهبود طراحی و کاهش مشکلات کنترل و حمل و نقل[2] مواد صورت گرفت.

با توجه به تفاوت های میان رفتار مواد در مقیاس توده و دانه، مطالعاتی جهت بررسی لهیدگی میوه ها و سبزیجات در مقیاس توده انجام گرفت. 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).

تحقیقات نشان دادند اگرچه روشهای آزمایشگاهی می توانند داده ها و مشاهداتی در مقیاس بزرگ بینی[4] ارائه بدهند (اویی و همکاران، ۱۹۹۸)، لکن این روشها برای فهم کامل رفتار مکانیکی مواد دانه ای در حین جریان ناکافی هستند. همچنین اغلب مطالعات آزمایشگاهی در مورد رفتار مواد دانه ای در مقیاس کوچکتر از واقعی صورت می گیرد و به موارد خیلی ساده محدود می شود. مشاهدات و داده های آزمایشگاهی باید به مقیاس واقعی برون یابی[5](بزرگ نمایی) شود بطوری که این امر همراه با خطاست و در گذشته نیز آزمایش هایی به این نحو اشتباه برآورد شده بودند (اویی و همکاران، ۱۹۹۸).

مزایای روشهای تحلیلی و عددی این روشها را تا حدودی جایگزین روشهای آزمایشگاهی جهت فراهم آوری اطلاعات لازم برای بهبود بخشیدن به کارایی عملیات ماشینهای کشاورزی کرده است. البته باید ذکر نمود که اطلاعات اولیه در این روشها همان داده های آزمایشگاهی هستند؛ لذا این روشها زمانی که رفتار محصول پیچیده و متغیر باشد بخصوص در مقیاس توده جایگزینی برای روشهای آزمایشگاهی هستند.

---

[1] Bruising
[2] handling
[3] Instrumented sphere
[4] Macroscopic
[5] Extrapolating