بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی

بررسی اثر دما، نوع سطح ضربه‌زن و رقم بر حجم کوفتگی سیب ناشی از ضربه و مدلسازی آن به روش شبکه عصبی مصنوعی

استاد راهنما:

دکتر امیر حسین افکاری سیاح

اساتید مشاور:

دکتر حسین شایقی مغانلو

مهندس علی‌اکبر شکوهیان

توسط:

صدیقه شکربیگی

دانشگاه محقق اردبیلی

تابستان ۸۸

تقدیم به عزیزترین الطاف خداوند

به زیباترین واژه ها

پدر و مادر مهربانم

که سایه شان بر سرم همه مهر است و نثارم به پایشان همه شرم و . . .

وجودشان گواهی است بر مهربانی خداوند.

و تقدیم به

برادران و خواهران عزیزم

سپاسگزاری

شکر و سپاس فراوان خداوند متعال را که همواره در سایه عنایاتش بوده‌ام، خدایی که با الطاف بیکران خود توفیق به اتمام رساندن پایان نامه حاضر را به بنده‌ی حقیر مرحمت فرمود. در اینجا لازم می‌دانم که از کسانی که مرا در گردآوری این اثر همراهی نمودند، قدردانی بنمایم.

از زحمات و محبت‌های خانواده عزیزم که همراهی‌شان دلگرمی من در راه رسیدن به اهدافم بوده و همیشه مدیون آنان هستم، از صمیم قلب سپاسگذارم.

از استاد راهنمای ارجمندم، جناب آقای دکتر امیر حسین افکاری سیاح که با راهنمایی‌های ارزشمند علمی و تلاش‌های بی‌شائبه، مرا در به ثمر رسیدن این پایان نامه یاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر یوسف عباسپور گیلانده که در طول تحصیل از محضر ایشان کسب علم و فیض نموده‌ام، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر حسین شایقی مغانلو و جناب آقای مهندس علی‌اکبر شکوهیان که با همکاری بی‌دریغ خود، مشاوره این پایان نامه را به عهده داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

از اساتید محترم هیات داوران جناب آقای دکتر حسین نوید و جناب آقای دکتر عبدالله گلمحمدی که زحمت بازخوانی و داوری پایان نامه را بر عهده گرفتند، تشکر می‌نمایم.

از دوستان عزیزم خانم‌ها الهام صنعتگر دلشاد، طیبه محمدی فرانی، سمیه افتخاری، مریم بیرانوند، فاطمه رحیمی اجدادی، الهام پناهی، معصومه اسماعیلی و سهیلا یاوری که اینجانب را مورد لطف و محبت خود قرار دادند صمیمانه سپاسگذاری می‌نمایم.

صدیقه شکربیگی-تابستان ۱۳۸۸

نام خانوادگی دانشجو: شکربیگی **نام**: صدیقه

عنوان پایان نامه: بررسی اثر دما، نوع سطح ضربه‌زن و رقم بر حجم کوفتگی سیب ناشی از ضربه و مدلسازی آن به روش شبکه عصبی مصنوعی

استاد راهنما: دکتر امیر حسین افکاری سیاح

اساتید مشاور: دکتر حسین شایقی مغانلو و مهندس علی‌اکبر شکوهیان

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی کشاورزی **گرایش**: مکانیک ماشین‌های کشاورزی **دانشگاه**: محقق اردبیلی

دانشکده: کشاورزی **تاریخ فارغ التحصیلی**: ۸۸/۷/۱۴ **تعداد صفحه**: ۱۰۳

کلید واژه‌ها: ضربه، کوفتگی، سیب، دما، سطح ضربه‌گیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی

چکیده: ضربه یکی از مهم‌ترین علل ایجاد ضایعات در محصولات آبدار و فاسدشدنی است. ضایعاتی که در انواع میوه نظیر سیب ایجاد می‌گردد، خساراتی است که بر اقتصاد کشور تحمیل می‌گردد. لذا بررسی عوامل مرتبط با میزان کوفتگی برای کاهش تلفات، طراحی و بهینه‌سازی ماشین‌های برداشت و پس از برداشت از اهمیت برخوردار است. در تحقیق حاضر با استفاده از دستگاه ضربه‌زن آونگی و انجام آزمون‌های ضربه طی یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثر عوامل مستقل دما (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس)، رقم (گلدن‌دلیشز و رددلیشز)، سطح ضربه‌گیر (کارتن، لاستیک و آهن گالوانیزه) و انرژی ضربه (۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌ژول) بر میزان حجم کوفتگی در میوه سیب بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دما، رقم، سطح ضربه‌گیر و انرژی ضربه بر میانگین حجم کوفتگی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. با افزایش دما حجم کوفتگی در هر دو رقم کاهش و با افزایش سطح انرژی سینتیک حجم کوفتگی در هر دو رقم افزایش یافت. رقم گلدن‌دلیشز نسبت به رددلیشز مقاومت بیشتری در برابر آسیب ناشی از ضربه داشت، در حالی‌که بیشترین حجم کوفتگی مربوط به رقم رددلیشز در برخورد با آهن گالوانیزه و کمترین آن به رقم گلدن‌دلیشز در برخورد با کارتن بود. برای پیش‌بینی حجم کوفتگی، از شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) استفاده شد. شبکه-های عصبی به دلیل ساختار ریاضی غیرخطی می‌توانند جایگزین مناسبی برای مدل‌های پیچیده باشند. آموزش شبکه‌ها با چهار نوع الگوریتم آموزشی انجام گرفت، الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ساختار ۱-۲۶-۴ و تابع انتقال لگاریتم سیگموئید در لایه مخفی در مقایسه با سایر الگوریتم‌های آموزشی از عملکرد بهتری برخوردار بود. با این الگوریتم میانگین دقت پیش‌بینی در مراحل آموزش، ارزیابی و آزمون به ترتیب ۹۲/۴۸، ۸۸/۹۴ و ۸۷/۷۲ درصد محاسبه شد. همچنین ضریب همبستگی (R) در رگرسیون خطی بین داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های واقعی ۰/۹۷۵ بدست آمد.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف ۵

۱-۳- اهمیت محصول سیب ۵

۱-۳-۱- خاستگاه و تاریخچه ۵

۱-۳-۲- سطح زیر کشت ۵

۱-۳-۳- ارزش غذایی ۶

۱-۳-۴- رقم گلدن‌دلیشز ۶

۱-۳-۵- رقم رددلیشز ۶

۱-۴- آسیب‌های مکانیکی در محصولات کشاورزی ۷

۱-۴-۱- علل و شکل‌های ایجاد آسیب ۷

۱-۴-۲- کوفتگی ۸

۱-۴-۳- متابولیسم آسیب ۸

۱-۴-۴- واکنش بیولوژیکی و شیمیایی بعد از آسیب ۹

۱-۵- ضربه ۱۰

۱-۵-۱- بارگذاری ضربه‌ای ۱۰

۱-۵-۲- مراحل چهارگانه ضربه ۱۳

۱-۵-۳- کاربرد مواد ضربه‌گیر ۱۴

۱-۶- تخمین حجم کوفتگی ۱۴

۱-۷- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۱۶

۱-۷-۱- تاریخچه شبکه‌های عصبی ۱۶

۱-۷-۲- کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی ۱۶

۱-۷-۳- شبکه‌های عصبی بیولوژیکی ۱۷

۱-۷-۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۱۸

۱-۷-۵- مدل ریاضی نرون‌ها ۱۸

۱-۷-۵-۱- مدل تک ورودی ۱۸
۱-۷-۵-۲- مدل چند ورودی ۱۹
۱-۷-۶- طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی ۲۰
۱-۷-۷- انواع یادگیری ۲۱
۱-۷-۸- الگوریتم LMS ۲۱
۱-۷-۹- شبکه‌های پرسپترون تک لایه (SLPR) و قانون یادگیری آن‌ها ۲۲
۱-۷-۱۰- پرسپترون چند لایه‌ای (MLP) ۲۳
۱-۷-۱۱- مسائل اجرایی در شبکه‌های عصبی مصنوعی ۲۴
۱-۷-۱۲- الگوریتم پرسپترون چند لایه‌ای ۲۷
۱-۷-۱۳- الگوریتم پس انتشار ۲۸
۱-۷-۱۳-۱- توقف آموزش BP ۲۹
۱-۷-۱۳-۲- الگوریتم پس‌انتشار کاهش شیب با ممنتم ۲۹
۱-۷-۱۳-۳- الگوریتم پس‌انتشار با نرخ یادگیری تطبیقی و قانون ممنتم (gdx) ۳۰
۱-۷-۱۴- الگوریتم گرادیان توام ۳۱
۱-۷-۱۴-۱- الگوریتم cgf ۳۱
۱-۷-۱۵- الگوریتم شبه نیوتن ۳۱
۱-۷-۱۶- الگوریتم لونبرگ-مارکوارت ۳۲
۱-۷-۱۷- شبکه‌های پیشخور ۳۳
۱-۷-۱۸- مقداردهی آغازین به وزن‌ها ۳۴
۱-۷-۱۹- شبیه سازی ۳۴
۱-۷-۲۰- آموزش شبکه ۳۴
۱-۷-۲۱- پیش پردازش و پس پردازش ۳۵
۱-۷-۲۲- آنالیز اجزای اصلی ۳۶
۱-۷-۲۳- آنالیز پس از آموزش ۳۶
۱-۷-۲۴- بهبود عمومیت شبکه ۳۷
۱-۷-۱۷- مزایا و معایب شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۸

۱-۸- مروری بر تحقیقات گذشته ۳۸

فصل دوم: مواد و روش تحقیق ۴۹

۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها ۵۰

۲-۲- دستگاه آزمون ضربه ۵۰

۲-۳- دستگاه کنترل دما ۵۲

۲-۴- تعیین سختی سطوح ضربه‌گیر ۵۳

۲-۵- روش اجرای آزمایش ۵۳

۲-۶- تعیین ارتفاع سقوط بحرانی ۵۴

۲-۷- اندازه‌گیری ابعاد و حجم کوفتگی ۵۵

۲-۸- روش تجزیه و تحلیل آماری نتایج ۵۵

۲-۹- پیش‌بینی حجم کوفتگی با شبکه عصبی مصنوعی ۵۵

فصل سوم: نتایج ۵۷

۳- نتایج ۵۸

۳-۱- نتایج مشاهدات عینی ۵۸

۳-۱-۱- اندازه‌گیری برخی پارامترهای فیزیکی ۵۹

۳-۲- میانگین متغیرهای وابسته ۵۹

۳-۳- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری حجم کوفتگی سیب ۵۹

۳-۳-۱- مقایسه میانگین حجم کوفتگی در ارقام سیب ۶۱

۳-۳-۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر حجم کوفتگی ۶۱

۳-۳-۳- اثر دما بر حجم کوفتگی ۶۲

۳-۳-۴- اثر سطح ضربه‌گیر بر حجم کوفتگی ۶۴

۳-۳-۵- اثر انرژی سینتیک بر حجم کوفتگی ۶۵

۳-۳-۶- اثر رقم بر حجم کوفتگی ۶۶

۳-۳-۷- اثر متقابل دما در سطح ضربه‌گیر بر حجم کوفتگی ۶۷

۳-۳-۸- اثر متقابل سطح ضربه‌گیر در انرژی ضربه بر حجم کوفتگی ۶۸

۳-۳-۹- اثر متقابل دما در رقم بر حجم کوفتگی ۶۹
۳-۳-۱۰- اثر متقابل سطح ضربه‌گیر در رقم بر حجم کوفتگی ۷۰
۳-۳-۱۱- اثر متقابل انرژی ضربه در رقم بر حجم کوفتگی ۷۱
۳-۳-۱۲- اثر متقابل دما در سطح ضربه‌گیر در انرژی ضربه بر حجم کوفتگی ۷۲
۳-۳-۱۳- اثر متقابل دما در سطح ضربه‌گیر در رقم بر حجم کوفتگی ۷۳
۳-۴- مدل‌های پیش‌بینی آماری ۷۳
۳-۵- مقایسه میانگین درصد کوفتگی ۷۴
۳-۶- ارتفاع سقوط مجاز ۷۶
۳-۷- پیش‌بینی حجم کوفتگی با شبکه عصبی مصنوعی ۷۸
۳-۷-۱- ساختار بهینه شبکه‌های عصبی مصنوعی ۷۸
۳-۷-۲- مقایسه مقادیر کوفتگی محاسباتی و پیش‌بینی شده با شبکه عصبی ۸۵

فصل چهارم: بحث ۸۶

۴-۱- خلاصه نتایج اثر عوامل مختلف بر حجم کوفتگی در اثر ضربه ۸۷
۴-۲- خلاصه نتایج پیش‌بینی حجم کوفتگی با شبکه عصبی مصنوعی ۸۷
۴-۳- پیشنهادها ۸۸
منابع ۹۰
پیوست‌ها ۹۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱-منحنی‌های تغییرشکل-زمان در پدیده‌ی ضربه ۱۴

شکل ۱-۲- قطر و عمق کوفتگی ۱۵

شکل ۱-۳- ساختمان یک نرون بیولوژیکی ۱۸

شکل ۱-۴- مدل نرون تک ورودی ۱۹

شکل ۱-۵- مدل نرون چند ورودی ۲۰

شکل ۱-۶- تابع انتقال پلکانی با علامت قراردادی آن ۲۲

شکل ۱-۷- شبکه پرسپترون چند لایه ۲۳

شکل ۱-۸- تابع محرک تانژانت سیگموئید با علامت قراردادی آن ۲۶

شکل ۱-۹- تابع محرک لگاریتم سیگموئید با علامت قراردادی آن ۲۶

شکل ۱-۱۰- تابع محرک خطی با علامت قراردادی آن ۲۶

شکل ۲-۱- نمونه واقعی و شماتیک دستگاه ضربه ۵۱

شکل ۲-۲- دستگاه کنترل دما ۵۳

شکل ۲-۳- موقعیت‌های بارگذاری در سیب ۵۴

شکل ۳-۱- اثر دما بر میانگین حجم کوفتگی ۶۳

شکل ۳-۲- اثر سطح ضربه‌گیر بر میانگین حجم کوفتگی ۶۴

شکل ۳-۳- اثر انرژی سینتیک بر میانگین حجم کوفتگی ۶۶

شکل ۳-۴- اثر رقم بر میانگین حجم کوفتگی ۶۷

شکل ۳-۵- اثر متقابل دما در سطح ضربه‌گیر بر میانگین حجم کوفتگی ۶۸

شکل ۳-۶- اثر متقابل سطح ضربه‌گیر در انرژی ضربه بر میانگین حجم کوفتگی ۶۹

شکل ۳-۷- اثر متقابل دما در رقم بر میانگین حجم کوفتگی ۷۰

شکل ۳-۸- اثر متقابل سطح ضربه‌گیر در رقم بر میانگین حجم کوفتگی ۷۱

شکل ۳-۹- اثر متقابل انرژی سینتیک در رقم بر میانگین حجم کوفتگی ۷۱

شکل ۳-۱۰- مساحت کوفتگی رقم گلدن‌دلیشز در برابر ارتفاع سقوط ۷۶

شکل ۳-۱۱- مساحت کوفتگی رقم رددلیشز در برابر ارتفاع سقوط ۷۷

شکل ۳-۱۲- روند تغییرات خطای داده‌های آموزش، ارزیابی و تست ۸۰

شکل ۳-۱۳- نمودار عملکرد شبکه lm با ۲۶ نرون در لایه پنهان ۸۱
شکل ۳-۱۴- نمودار رگرسیون شبکه با ۲۶ نرون در لایه پنهان ۸۲
شکل ۳-۱۵- نمودار رگرسیون شبکه در مراحل آموزش، ارزیابی، تست و مجموع ۸۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- خواص مکانیکی ارقام گلدن‌دلیشز و رددلیشز (مسعودی و همکاران، ۲۰۰۴) ۷

جدول ۳-۱- میانگین برخی پارامترهای فیزیکی نمونه‌های سیب و میانگین ارتفاع سقوط در سه سطح انرژی سینتیک... ۵۹

جدول ۳-۲- نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری حجم کوفتگی سیب ۶۰

جدول ۳-۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر میانگین حجم کوفتگی سیب ۶۲

جدول ۳-۴- سختی سطوح ضربه‌گیر و ضخامت آن‌ها..... ۶۵

جدول ۳-۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل دما در سطح ضربه‌گیر در انرژی ضربه بر میانگین حجم کوفتگی... ۷۲

جدول ۳-۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل دما در سطح ضربه‌گیر در رقم بر میانگین حجم کوفتگی..... ۷۳

جدول ۳-۷- مدل‌های رگرسیون حجم کوفتگی برای رقم ردلیشز..... ۷۴

جدول ۳-۸- مدل‌های رگرسیون حجم کوفتگی برای رقم گلدن‌دلیشز ۷۴

جدول ۳-۹- مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه حجم کوفتگی برای رقم گلدن‌دلیشز و رددلیشز..... ۷۴

جدول ۳-۱۰- اثر دما بر میانگین درصد کوفتگی ارقام..... ۷۵

جدول ۳-۱۱- اثر سطح ضربه‌گیر بر میانگین درصد کوفتگی ارقام..... ۷۵

جدول ۳-۱۲- اثر انرژی سینتیک بر میانگین درصد کوفتگی ارقام..... ۷۵

جدول ۳-۱۳- ارتفاع سقوط مجاز ارقام سیب ۷۸

جدول ۳-۱۴- شبکه‌های ساخته شده با استفاده از الگوریتم آموزشی لونبرگ-مارکوارت ۷۹

جدول ۳-۱۵- شبکه‌های طرح شده با استفاده از پنج الگوریتم آموزشی با تعداد بهینه نرون در لایه مخفی ۸۴

فهرست علائم و نمادها

نماد	توضیحات	واحد
m	جرم	kg
v	سرعت	$\frac{m}{s}$
v_1	سرعت قبل از ضربه	$\frac{m}{s}$
v_2	سرعت بعد از ضربه	$\frac{m}{s}$
F(t)	نیروی وارد بر سطح ضربه	N
t_1	زمان شروع ضربه	s
t_2	زمان پایان ضربه	s
R	شعاع کره	m
F_{max}	بیشینه نیرو روی سطح برخورد	N
T_{con}	زمان برخورد	s
k	مقدار ثابت	-
E	مدول کشسانی	Pa
υ	ضریب پواسون	-
C	مقدار ثابت	-
σ_i	بیشینه تنش برخورد	Pa
g	شتاب جاذبه	$9.8\frac{m}{s^2}$
h	ارتفاع سقوط	m
π	مقدار ثابت	۳/۱۴
B.V	حجم کوفتگی	mm^3
d	عمق کوفتگی	mm
D	قطر کوفتگی	mm
A	مساحت کوفتگی	mm^2
a	شعاع بزرگ	mm
b	شعاع کوچک	mm

۱-۱- مقدمه

یکی از نتایج ناگوار افزایش سطح مکانیزاسیون در کشاورزی افزایش میزان ضایعات مکانیکی است و آنچه این پدیده ناخواسته به همراه دارد افزایش میزان فساد و کاهش کیفیت محصول خواهد بود. برای تولید انواع محصولات کشاورزی در کشور مقادیر عظیمی انرژی، نیروی انسانی و نهاده‌های متعدد صرف می‌شود لیکن متاسفانه پس از تولید، درصد بالایی از این محصولات به عنوان ضایعات تلف می‌شود که نه تنها اتلاف منابع ملی به شمار می‌رود بلکه آسیب به محیط زیست نیز محسوب می‌گردد. میزان این تلفات در ایران به طور کلی بین ۱۰ تا ۳۵ درصد بسته به محل، نوع محصول و . . . تخمین زده می‌شود و برای برخی محصولات به رقم سرسام‌آور ۵۰ درصد نیز می‌رسد. در مواردی که نیاز به ذخیره‌سازی محصولات آسیب دیده باشد حتی خطر خرابی و فساد محصولات سالم نیز وجود خواهد داشت. بنابراین هر نوع کوششی که بتواند به کاهش آسیب و تخریب مکانیکی در مواد کشاورزی بیانجامد مطمئناً از لحاظ اقتصادی ارزشمند خواهد بود (افکاری‌سیاح و مینایی، ۱۳۸۸).

سیب‌ها در مسیر انتقال از باغ تا مراکز خرده‌فروشی مراحل مختلفی را طی می‌کنند. این مراحل شامل برداشت، جداسازی، درجه‌بندی، بسته‌بندی، ذخیره‌سازی و حمل و نقل است. طی این سلسله عملیات سیب تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی متعددی قرار می‌گیرد که سبب ایجاد آسیب در میوه می‌شوند. بارهای دینامیکی وارد شده به میوه شامل ضربه و ارتعاش می‌باشند. ضربه در هنگام چیدن، درجه‌بندی و جداسازی در اثر سقوط روی سطوح متفاوت یا برخورد با میوه‌های دیگر روی می‌دهد، ارتعاش هم عموماً در طول حمل و نقل ایجاد می‌شود. فشار وارد بر میوه نمونه‌ای از بار استاتیکی به شمار می‌رود (لویس[1] و همکاران، ۲۰۰۸).

1- Lewis

در میوه و سبزی دست‌یابی به کیفیت بالا از مهمترین اهداف تولید کننده است. برای رسیدن به چنین هدفی ضروری است که تا حد ممکن کنترل بیشتری بر فرآیندهای تولید، جابجایی و توزیع محصولات داشت. ضایعه مکانیکی را می‌توان نتیجه یک بار یا نیروی خارجی دانست که از حدی مجاز فراتر رفته و با اعمال تنش، کرنشی متناسب با آن در محصول ایجاد کند (افکاری‌سیاح و مینایی، ۱۳۸۸).

در سال ۱۳۸۰ میزان صادرات سیب در ایران ۹۰ هزار تن بوده و ۳۳ هزار تن سیب به کنسانتره تبدیل شده است (مولوی، ۱۳۸۰). تولید بالای سیب در ایران در مقابل صادارت ناچیز آن، به دلیل ضایعات فراوان و کسب نکردن استانداردهای لازم برای صادرات می‌باشد. هر نوع ضایعات در مراحل پس از برداشت خسارات مالی قابل ملاحظه‌ای به باغداران وارد می‌نماید.

در کشور بلژیک ارزش اقتصادی ضایعات ناشی از آسیب مکانیکی در میوه سیب محاسبه شد. بیشترین آسیب در هنگام درجه‌بندی و جداسازی رخ داده و برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به ترتیب معادل ۱۵ درصد و ۸ درصد برآورد شد. قیمت فروش سیب‌های صدمه دیده یک سوم قیمت سیب‌های سالم بود. طبق این تحقیق تنها با کاهش ۱۰ درصد در سیب‌های صدمه دیده افزایش درآمدی معادل ۸۹۲ هزار یورو در سال ۲۰۰۰ و ۵۹۵ هزار یورو در سال ۲۰۰۱ حاصل شد (ون زیبروک[1]، ۲۰۰۳).

همان‌طور که گفته شد در خلال عملیات برداشت و جابجایی سیب برای انتقال به انبار یا بازار مصرف، محصول تحت بارهای متعدد قرار می‌گیرد که در بسیاری موارد این شرایط به تخریب بافت سلولی آن‌ها منجر می‌گردد. ضربات شدید می‌توانند منجر به ایجاد پارگی یا دو تکه شدن گردند. ضربات آرام‌تر نیز ممکن است تنها به ایجاد ضرب‌دیدگی در محصول بیانجامند. در هر دو حال گسیختگی در سطح سلولی سبب تماس آنزیم و محتویات سلول با عوامل بیرونی شده و نتیجه آن تولید اتیلن به مقدار زیاد است. علاوه بر این تغییر رنگ بافت آسیب‌دیده که مربوط به تولید ملانین[2] است، یکی دیگر از اثرات سوء آن محسوب می‌گردد. نتیجه ایجاد چنین شرایطی برای محصول افزایش ضایعات در مرحله

1- Van Zeebroeck 2- Melanin

پس از ذخیره‌سازی خواهد بود که نهایتاً به افزایش هزینه کارگر، افزایش ضایعات وزنی مستقیم و کاهش کیفیت محصول می‌انجامد (افکاری سیاح و همکاران، ۱۳۸۵).

سیب یکی از حساس‌ترین محصولات در پذیرش آسیب‌های مکانیکی است به طوری که به سهولت به واسطه اعمال بارهای فشاری، ضربه‌ای و نوسانی دچار آسیب می‌گردد. اعمال بارهای ضربه‌ای عمدتاً منجر به کوفتگی، ایجاد یک ضایعه دائمی و کاهش کیفیت محصول می‌گردد. تحقیقات گسترده‌ای نیز در این زمینه انجام شده است و داده‌های جمع‌آوری شده دلالت بر ایجاد کوفتگی به ویژه در مراحل برداشت و درجه‌بندی دارد.

امروزه با توسعه فناوری پردازش رایانه‌ای و ایجاد نرم‌افزارهای مربوطه از فناوری هوش مصنوعی برای حل مسائل مربوط به مدل‌سازی سیستم‌ها و پیش‌بینی فرآیندها استفاده می‌شود. برای پیش‌بینی حجم کوفتگی هم می‌توان از شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] استفاده کرد. این شبکه‌ها از سیستم عصبی و بیولوژیکی انسان الهام گرفته‌اند و به کمک فرآیند یادگیری و استفاده از پردازشگرهایی به نام نرون سعی می‌کنند با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها نگاشتی بین داده‌های ورودی و خروجی برقرار سازند. شبکه-های عصبی به دلیل ساختار موازی دارای قدرت تشخیص، تعمیم بالا و سرعت زیاد در حل مسائل پیچیده بوده و در طبقه‌بندی، پیش‌بینی و بسیاری از مسائل دیگر کاربرد دارند.

در این تحقیق از طریق آزمون ضربه اثر رقم، دما، انرژی ضربه و نوع سطح ضربه‌گیر بر میزان کوفتگی میوه سیب در دو رقم متداول بررسی شد. به طوری که بتوان از این طریق کاهش حساسیت محصول به کوفتگی را از طریق انتخاب رقم مناسب، شرایط مناسب نگهداری از لحاظ دما و سطوح ضربه‌گیر کاهش داد. همچنین از آنجا که ارتفاع سقوط در ماشین‌های برداشت و دستگاه‌های سورتینگ و درجه‌بندی باید در حد مجاز آن باشد، اطلاع از این محدوده در ارقام متداول ضروری است. تحقیقات راجع به کوفتگی ناشی از ضربه روی میوه سیب دارای سابقه‌ای حدود ٤٥ سال است (ونزیبروک و همکاران، ۲۰۰۷). علت این امر ناشی از مکانیسم نسبتاً پیچیده‌ی ایجاد کوفتگی و تاثیر عوامل متعدد بر آن می‌باشد. با این

1- Artificial Neural Network

همه در این تحقیق سعی شده که تاثیر عواملی که تاکنون کمتر به آنها توجه شده در بررسی مد نظر قرار گیرد.

۱-۲- اهداف

۱- بررسی نحوه تاثیر چهار عامل رقم، دما، انرژی ضربه و سختی سطح ضربه‌گیر بر میزان کوفتگی میوه سیب.

۲- تخمین میزان ضایعات در سیب به صورت حجم کوفتگی با توجه به شرایط مختلف تیماری در اثر ضربه.

۳- بررسی اثر متقابل عوامل مستقل رقم، دما، انرژی ضربه و سختی سطح ضربه‌گیر بر میزان کوفتگی میوه سیب.

٤- بررسی امکان استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی حجم کوفتگی.

۱-۳- اهمیت محصول سیب

۱-۳-۱- خاستگاه و تاریخچه

این گیاه متعلق به خانواده *Rosaceae*، زیرخانواده *Pomoideae* و جنس *Malus* می‌باشد. منشاء اولیه سیب کوه‌های قفقاز در آسیای مرکزی و کوه‌های هیمالیا در هندوستان و پاکستان می‌باشد. کاشت سیب در اروپا به ۱۰۰ سال قبل از میلاد مسیح بر می‌گردد. اولین کسانی که به کشت و کار این محصول اشتغال داشته‌اند، یونانی‌ها و رومیان بوده‌اند و بعد به وسیله مهاجرت‌ها و مسافرت‌ها به دیگر نقاط از جمله آسیا منتقل شده است (شکوهیان، ۱۳۸۵).

۱-۳-۲- سطح زیر کشت

بر اساس آمار سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد[1]، در سال ۲۰۰۳ سطح زیر کشت سیب در ایران حدود ۱۵۲ هزار هکتار، میزان تولید آن ۲/۳۵۸ میلیون تن و متوسط عملکرد آن برابر ۱۵/۵۱ تن در هکتار بوده است. شرایط اقلیمی مناسب موقعیت ممتازی برای پرورش سیب در ایران فراهم آورده است.

1- FAO

همچنین در سال ۱۹۹۸ ایران هفتمین کشور تولید کننده و یازدهمین کشور صادر کننده سیب با اختصاص ۳/٦ درصد از سهم صادرات جهانی به خود بوده است (فائو، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۳).

۱-۳-۳- ارزش غذایی

این محصول از نظر ارزش غذایی از جایگاه مهمی برخوردار است. ترکیبات غذایی موجود در ۱۰۰ گرم سیب تازه شامل ۸٤/۸ درصد آب، ۰/۲ درصد پروتئین، ۰/٦ درصد چربی و ۱٤/۱ درصد هیدراتهای کربن می‌باشد. همچنین سیب از نظر ویتامین‌ها و املاح معدنی دارای ۹۰ واحد ویتامین A، ۰/۲ میلی‌گرم B2، ۰/۳ میلی‌گرم B1، ۰/۱ میلی‌گرم B، ۷ میلی‌گرم ویتامین C، ۰/۷ میلی‌گرم کلسیم، ۱۰ میلی‌گرم فسفر، ۰/۳ میلی‌گرم آهن، ۱ میلی‌گرم سدیم و ۱۰ میلی‌گرم پتاسیم است (رسول‌زادگان، ۱۳۷۰).

۱-۳-۴- رقم گلدن دلیشز

مبدا اصلی این رقم ایالت ویرجینای غربی در ایالات متحده آمریکا بوده است. در ایران قبل از اینکه این رقم کاشته شود و به بار برسد از طریق واردات میوه سیب از لبنان در سال‌های قبل از ۱۳۳۰ به اسم سیب زرد لبنانی معروف بود. این رقم در شرایط فعلی مهم‌ترین رقم سیب کشور به شمار می‌رود. طول اقطار آن ٦۵ تا ۸۰ میلیمتر و ٦۵ تا ۷۵ میلیمتر است. پوست آن خیلی صاف در بعضی مناطق کم و بیش زنگاری است. رنگ سبز مایل به زرد دارد که به تدریج به زرد طلایی تبدیل می‌شود. دم میوه بلند، ظریف و کمی خشبی است. گوشت آن سفید مایل به زرد است که در موقع رسیدن کامل، زرد یکدست می‌شود. بر حسب مناطق از اواخر شهریور تا اواخر مهرماه برداشت می‌شود (منیعی، ۱۳۸۰).

۱-۳-۵- رقم رد دلیشز

این رقم مهم‌ترین رقم تجارتی سیب دنیاست. مبدا آن ایالت آیووای آمریکا شناخته شده است. طول اقطار این رقم ٦۵ تا ۸۵ میلیمتر و ٦۳ تا ۸۰ میلیمتر است. پوست آن صاف چرمی و رنگ زیر آن سبز یا مایل به سبز است که در بعضی زیر رقم‌ها کاملاً از رنگ قرمز پررنگ یکدست پوشیده شده و در بعضی دیگر قرمز با رگه‌های مشخص می‌باشد. گوشت آن سفید مایل به سبز است که موقع رسیدن کاملاً زرد می‌شود. زمان برداشت اواخر شهریور تا اواسط مهر ماه است اما بر حسب مناطق تمایل به ریزش ملایم

قبل از برداشت دارد بنابراین یک هفته تا ده روز زودتر از گلدن برداشت می‌شود (منیعی، ۱۳۸۰). برخی از مشخصه‌های مکانیکی ارقام گلدن‌دلیشز و رددلیشز در جدول (۱-۱) آورده شده است (مسعودی[1] و همکاران، ۲۰۰٤).

جدول ۱-۱ خواص مکانیکی ارقام گلدن‌دلیشز و رددلیشز (مسعودی و همکاران، ۲۰۰۴)

رقم	مدول الاستیسیته(MPa)	تنش شکست(MPa)	کرنش شکست(٪)	انرژی شکست(N.mm)	سفتی (mj/mm^3)
گلدن‌دلیشز	۱/۵	۰/۱۸	۱۱/۳	۱۰/۷	۰/۰۰۹
رددلیشز	۱/٦	۰/۱	٦/۲	۳/٤	۰/۰۰۳

۱-۴- آسیب‌های مکانیکی در محصولات کشاورزی

۱-۴-۱- علل و شکل‌های ایجاد آسیب

آسیب‌های مکانیکی قبل از برداشت و بعد از برداشت با یکدیگر فرق دارند. وقتی که میوه هنوز روی درخت است از راه‌های مختلفی دچار آسیب می‌شود. در اثر برخورد با میوه‌های دیگر یا شاخه‌های درخت دچار خراشیدگی، سوراخ شدگی و کوفتگی می‌شود. همچنین حیوانات گیاه‌خوار، پرندگان و حشرات پوست را سوراخ کرده و مقداری از بافت آن را مصرف می‌کنند. از جمله دلایل دیگر آسیب، بادهای شدید و تگرگ می‌باشد. آسیب‌های ذکر شده آسیب‌های مکانیکی قبل از برداشت هستند و معمولاً به ندرت و به صورت پراکنده روی می‌دهند و به آسانی کنترل نمی‌شوند. آسیب‌های دیگر در هنگام برداشت توسط دست روی می‌دهند، اگر میوه به آسانی از درخت جدا نشود به وسیله نیروی دست آسیب می‌بیند. روش صحیح چیدن میوه توسط دو یا سه انگشت است، اما عموماً از تمام دست برای چیدن استفاده می‌شود (کنی و میلر[2]، ۲۰۰۲).

برداشت مکانیکی میوه‌ها سبب آسیب‌های مکانیکی قابل ملاحظه‌ای می‌شود. موقع تکان دادن درخت میوه‌ها بر شاخه‌ها، بر هم و بر سطح ضربه‌گیر ضربه می‌زنند. بافت زیرین پوست به وسیله ضربه تغییر

1- Mas'oudi 2- Knee and Miller

شکل می‌دهد، اگر تغییر شکل از حد تسلیم بیولوژیکی بیشتر شود، بافت در مدت کمی قهوه‌ای و سپس فاسد می‌شود. شکل‌های اصلی بروز آسیب مکانیکی شامل ساییدگی، کوفتگی، ترک‌خوردگی، بریدگی، سوراخ شدن، ترک‌خوردگی قطعه‌ای، ترک‌خوردگی پوست، شکافته شدن، پارگی، ترک‌خوردگی تورمی و واپیچش است. شکل آسیب بستگی به ساختمان فیزیکی و بیولوژیکی محصول و نوع بار دارد. محصولات کشاورزی اغلب به وسیله نیروهای استاتیکی یا دینامیکی و به ندرت به وسیله نیروهای داخلی آسیب می‌بینند. آسیب‌های مکانیکی که در اثر نیروهای داخلی به وجود می‌آیند، بستگی به شرایط فیزیکی داخلی مثل دما، مقدار رطوبت، تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی دارد (توکلی هشجین، ۱۳۸۲). نیروهای دینامیکی در طول حمل‌ونقل و برداشت به مراتب کوفتگی بیشتری ایجاد کرده و احتمال وقوع این نیروها بیشتر از نیروهای استاتیکی است (محسنین[1]، ۱۹۸٦).

۱-۴-۲- کوفتگی[2]

کوفتگی آسیب وارد شده به بافت سیب در اثر نیروهای خارجی است و باعث تغییر رنگ آن می‌شود و معمولاً بدون ایجاد گسیختگی در پوست روی می‌دهد (لاباویچ[3] و همکاران، ۱۹۹۸). شدت کوفتگی به شدت ضربه و میزان حساسیت محصول به ضربه بستگی دارد. کوفتگی را نمی‌توان به‌طور کامل حذف کرد، اما دو راه حل کلی برای کاهش آسیب‌های ناشی از ضربه عبارتند از (افکاری‌سیاح و مینایی، ۱۳۸۸):

۱- اصلاح و بهینه‌سازی ماشین‌هایی که در برداشت، جابجایی، درجه‌بندی و بسته‌بندی محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند (از لحاظ طراحی و نحوه استفاده).

۲- کاهش حساسیت به ضربه در محصولات مورد نظر.

۱-۴-۳- متابولیسم آسیب

گسیختگی‌ها و پارگی‌های حاصل در داخل و خارج مجموعه سلول‌ها در مدت آسیب دیدگی پیچیده است. آغاز گسیختگی در مجموعه سلول‌های محصولات بیولوژیکی به وسیله نقطه تسلیم بیولوژیکی

1- Mohsenin 2- Bruising 3- Labavitch