

# اثر دما و سطح ضربه‌گیر بر حجم کوفتگی سیب در اثر ضربه و پیش‌بینی آن به روش شبکه عصبی مصنوعی

صدیقه شکرپیگی<sup>۱</sup>، امیرحسین افکاری سیاح<sup>۲\*</sup>، حسین شایقی مغاللو<sup>۳</sup> و علی اکبر شکوهیان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دانشیار گروه برق، دانشگاه محقق اردبیلی

۴- مربی گروه باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۲ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۱۸)

## چکیده

ضایعات مکانیکی که در انواع محصولات کشاورزی ایجاد می‌شود، خساراتی است که بر اقتصاد کشور تحمیل می‌گردد. کوفتگی یکی از نشانه‌های این نوع ضایعه است که بررسی آن در کاهش تلفات 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، اثر عوامل دما (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس)، رقم (گلدن‌دلشیز و رد‌دلشیز)، سطح ضربه‌گیر (کارتن، لاستیک و آهن گالوانیزه) و انرژی ضربه (۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌ژول) بر میزان کوفتگی در میوه سیب بررسی شد. نتایج آماری 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 حجم کوفتگی در هر دو رقم به‌طور خطی افزایش یافت. در حالی که رقم گلدن‌دلشیز نسبت به رد‌دلشیز مقاومت بیشتری در برابر آسیب داشت. همچنین بیشترین حجم کوفتگی مربوط به رقم رد‌دلشیز در برخورد با آهن گالوانیزه و کمترین آن به رقم گلدن‌دلشیز در برخورد با کارتن اختصاص داشت. با کمک شبکه عصبی مصنوعی امکان پیش‌بینی حجم کوفتگی بر اساس هر چهار عامل دما، انرژی ضربه، سطح ضربه‌گیر و رقم فراهم شد. برای پیش‌بینی حجم کوفتگی از شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) استفاده شد. الگوریتم لونیبرگ-مارکواریت با ساختار ۱-۲۶-۴ و تابع انتقال لگاریتم سیگموئید در لایه مخفی در مقایسه با توپولوژی‌های دیگر نتایج بهتری را ارائه کرد. 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.

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

## ۱- مقدمه

درصد زیادی از محصولات باغی از جمله سیب هر ساله به دلیل صدمات مکانیکی از بین می‌روند، این در حالی است که سیب یکی از مهمترین محصولات تولیدی کشور محسوب می‌گردد و تولید بالای سیب در ایران در مقابل صادرات ناچیز آن

به دلیل ضایعات فراوان و عدم کسب استانداردهای لازم برای صادرات می‌باشد. این محصول در مسیری که از باغ به مراکز فروش منتقل می‌شود تحت عملیاتی چون برداشت، بسته‌بندی، درجه‌بندی، ذخیره‌سازی و حمل و نقل قرار می‌گیرد. طی این

\* مسئول مکاتبات: ahafkari@gmail.com

درجه سلسیوس حجم کوفتگی افزایش می‌یابد [۸]. همچنین ون لانکر<sup>۸</sup> (۱۹۷۹) و هاید<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۱) گزارش نمودند که برای رقم گلدن دلیشز با افزایش دما حجم کوفتگی کاهش می‌یابد [۹ و ۱۰].

با توجه به پیچیدگی‌های موجود در این پدیده و تعدد عوامل موثر بر کوفتگی، استفاده از روش‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی در این زمینه در حال توسعه می‌باشند. امروزه با پیشرفت فناوری پردازش رایانه‌ای از شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱۰</sup> برای پیش‌بینی و طبقه‌بندی بسیاری از فرآیندها در کشاورزی استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی به کمک فرآیند یادگیری و استفاده از پردازشگرهایی به نام نرون، با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاهی بین فضای ورودی و فضای مطلوب برقرار می‌سازند. این شبکه‌ها به دلیل ساختار ریاضی غیرخطی، قدرت تعمیم، دقت و سرعت بالا می‌توانند جایگزین مناسبی برای اکثر مدل‌ها باشند. در این زمینه پیش‌بینی حجم ضایعه تحت تاثیر عوامل متعدد از طریق شبکه عصبی مصنوعی ابزاری است که می‌تواند به محققین در درک بهتر پدیده کوفتگی کمک کرده و در نهایت به کاهش کوفتگی سیب منجر شود. در ارتباط با کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در تعیین کیفیت محصولات کشاورزی، کاودیر و گویر<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۴) سیب‌های رقم گلدن دلیشز و امپایر را با استفاده از شبکه‌های عصبی پس انتشار و روش آماری بر اساس کیفیت میوه از لحاظ ویژگی ظاهری دسته‌بندی کردند [۱۱]. همچنین یانگ<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از مدل‌های پس انتشار شبکه عصبی مصنوعی گیاه ذرت را از ۴ نوع علف هرز در مزرعه تشخیص دادند [۱۲].

در این تحقیق به بررسی اثر دما و سطوح ضربه گیر بر روی پدیده کوفتگی در سطوح انرژی متفاوت و برای ارقام متداول سیب (گلدن دلیشز و رد دلیشز) پرداخته شد و حجم کوفتگی به روش شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی گردید.

## ۲- مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایشات از دو رقم متداول سیب به نام‌های گلدن دلیشز و رد دلیشز استفاده شد. نمونه‌ها مربوط به باغات شهرستان مراغه بود. از هر رقم ۱۸۰ عدد به طور تصادفی برای

مراحل بارهای استاتیکی و دینامیکی متعددی بر تک تک سیب‌ها وارد شده که منجر به آسیب و کوفتگی می‌شود [۱]. در این ارتباط، نیروهای دینامیکی به مراتب کوفتگی بیشتری ایجاد می‌کنند [۲] و ضربه یکی از بارهای دینامیکی است که در اثر سقوط بر روی سطوح متفاوت و برخورد با سیب‌های دیگر روی می‌دهد [۱]. کوفتگی آسیب وارد شده به بافت سیب است و باعث تغییر رنگ آن می‌شود و معمولاً بدون ایجاد گسیختگی در پوست روی می‌دهد [۳]. هنگامی که غشاء سلول‌های بخش بافت دچار صدمه‌ی فیزیکی می‌گردد، آسیب وارده سبب مخلوط شدن آنزیم‌ها از سیتوپلاسم<sup>۱</sup> با ترکیبات فنلی<sup>۲</sup> از واکوئل<sup>۳</sup> خواهد شد، این واکنش منجر به قهوه‌ای شدن بافت و به اصطلاح کوفتگی می‌شود [۴]. تحقیقات راجع به کوفتگی ناشی از ضربه بیش از چهار دهه است که انجام می‌گیرد [۵] و این ناشی از مکانیزم نسبتاً پیچیده‌ی این پدیده است.

لوئیس<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی به بررسی کوفتگی ناشی از ضربه در رقم گلدن دلیشز پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مساحت و حجم کوفتگی با افزایش شعاع انحناء در محل برخورد و انرژی ضربه افزایش می‌یابند. همچنین با افزایش ضریب کشسانی سطوح ضربه‌گیر حجم کوفتگی افزایش یافته و بیشترین کوفتگی در قسمت گونه‌ی سیب مشاهده می‌شود [۱].

ونزیروک<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۷) اثر پارامترهای مختلف میوه سیب را روی قابلیت کوفتگی آن بررسی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که افزایش دما (۱۰، ۱۵، ۲۰°C) باعث کاهش کوفتگی می‌گردد [۶]. طی تحقیقات انجام شده، گزارشات متناقضی از اثر دما بر کوفتگی سیب منتشر شده است. اسکورل و هالت<sup>۶</sup> (۱۹۷۷) اثر زمان ذخیره‌سازی و دما را روی کوفتگی سیب‌های رقم جاناتان، دلیشز و گرانی اسمیت بررسی کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که مقاومت به کوفتگی ارقام متفاوت با افزایش زمان ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد، اما تغییرات دما تاثیری بر مقاومت به کوفتگی ندارد [۷]. سالتویت<sup>۷</sup> (۱۹۸۴) برای دو رقم سیب گزارش نمود که با افزایش دما از صفر تا ۳۰

1. Cytoplasm
2. Phenolic
3. Vacuole
4. Lewis
5. Van Zeebroeck
6. Schoorl and Holt
7. Saltveit

8. Van Lancker
9. Hyde
10. Artificial Neural Network
11. Kavdire and Guyer
12. Yang

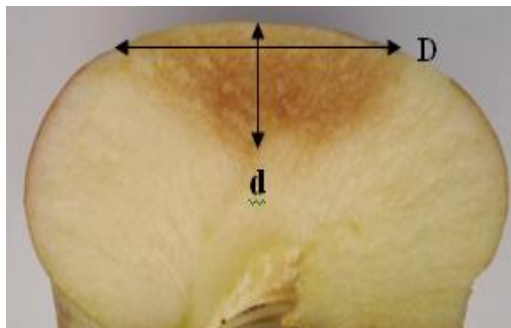
دستگاه آونگی را کاملاً موجه می‌سازد. در این تحقیق محل ضربه روی گونه‌ی سیب انتخاب شد زیرا احتمال وقوع ضربه در این محل بیشتر است. بعد از محاسبه‌ی جرم سیب از رابطه-ی زیر ارتفاع سقوط تعیین شد.

$$E = mgh \quad (1)$$

که در آن  $E$  انرژی سینتیک بر حسب (J)،  $m$  جرم سیب بر حسب (kg)،  $g$  شتاب جاذبه بر حسب  $(\frac{m}{s^2})$  و  $h$  ارتفاع سقوط بر حسب (m) است. سطوح انرژی مورد آزمایش ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌ژول می‌باشند [۱۳]. نمونه مورد آزمایش در انتهای آونگ در داخل گیره حلقوی قرار گرفته و از ارتفاع  $(h = L - L \cos \alpha)$  رها می‌گردد.  $L$  طول سیم آونگ است که در  $0/5$  (m) در نظر گرفته شده و  $\alpha$  زاویه برخورد می‌باشد. نمونه‌ها پس از ضربه خوردن به مدت ۲۴ تا ۷۲ ساعت در محیط آزمایشگاه به منظور پیدایش لکه نگهداری شدند [۱۴]. در سطوح انرژی پایین، علائم کوفتگی از روی پوست قابل مشاهده نیست. بنابراین با یک چاقوی تیز پوست سیب را در محل ضربه برداشته و قطر سطح لهیده شده اندازه‌گیری شد، سپس با ایجاد برشی عمود بر سطح کوفتگی، عمق کوفتگی نیز اندازه‌گیری شد و از تقریب زیر برای محاسبه‌ی حجم کوفتگی استفاده گردید [۱۵]:

$$BV = \frac{\pi}{6} dD^2 \quad (2)$$

که در آن  $BV$  حجم کوفتگی بر حسب  $(mm^3)$ ،  $d$  عمق کوفتگی بر حسب (mm) و  $D$  قطر کوفتگی بر حسب (mm) می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲ نحوه اندازه‌گیری قطر و عمق کوفتگی در یک نمونه برش خورده سیب

انجام آزمایشات جدا گردید. نمونه‌ها در دمای  $20^{\circ}C$  نگهداری شدند و پیش از انجام آزمون ضربه وزن نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت  $0/01$  گرم اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی اثر دما (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس) بر روی حجم کوفتگی از دستگاه کنترل دما استفاده شد. این دستگاه دارای سیستم برودتی، سیستم حرارتی و واحد کنترل (میکروکنترلر) بوده و محدوده‌ی دمای آن از  $-1$  تا  $50$  درجه سلسیوس بود (شکل ۱). برای اینکه سیب‌ها از دمای اتاق به دماهای ذکر شده برسند، لازم بود که نمونه‌ها به مدت ۳ تا  $3/5$  ساعت در داخل محفظه این دستگاه قرار گیرند تا کل بافت سیب و به ویژه بافت خارجی آن به دمای تعادلی مورد نظر برسد.



شکل ۱ دستگاه کنترل دما

برای تعیین سختی سطوح ضربه‌گیر (آهن گالوانیزه، لاستیک و کارتن) از دستگاه بارگذاری فشاری تک محوری ساخت شرکت سنتام<sup>۱</sup> استفاده شد. برای انجام بارگذاری به صورت نقطه‌ای از ساچمه‌ای به قطر  $15/80$  (mm) و سرعت بارگذاری  $(\frac{mm}{min})$  ۲۰ استفاده شد. سطوح ضربه‌گیر روی فک ثابت تحت یک بار پیوسته قرار گرفتند و شیب منحنی نیرو-تغییر شکل در محدوده‌ی کشسان به عنوان ملاک سختی مد نظر قرار گرفت. ضخامت سطوح ضربه‌گیر با هم متفاوت بود، بنابراین برای محاسبه سختی سطوح از کرنش یکسان  $0/15$  در هر سه سطح استفاده شد.

برای انجام آزمایشات ضربه از دستگاه آزمون ضربه که پیش از این در تحقیقی در گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی ساخته شده بود (افکاری سیاح و همکاران، ۱۳۸۵) استفاده شد [۱۳]. انجام ضربه در نقاط مشخص از سطح محصول با قابلیت کنترل بر میزان انرژی سینتیک استفاده از

به دلیل سرعت و دقت بالا برای آموزش شبکه‌ها استفاده شد. همچنین در کلیه شبکه‌ها از نرخ یادگیری و ضریب گشتاور  $0.1/3$  استفاده شد. در نهایت بر اساس معیار ضریب همبستگی (R) بین مقادیر کوفتگی واقعی و پیش‌بینی شده و میانگین مربعات خطا (MSE)، تعداد بهینه نرون و بهترین تابع تبدیل معرفی شد. دقت پیش‌بینی مدل<sup>1</sup> (P.A) به صورت نسبت اختلاف بین داده‌های واقعی با داده‌های پیش‌بینی شده به داده‌های واقعی محاسبه شد. کل شبکه‌های طرح شده در محیط نرم‌افزار MATLAB (version 7.6) اجرا شدند.

### ۳- نتایج و بحث

در بیشتر موارد بافت صدمه دیده در هر دو رقم به قهوه‌ای روشن تغییر رنگ داد. این تغییر رنگ در سطح انرژی  $9.00$  میلی ژول حداقل پس از دو ساعت ایجاد می‌شد. بر اساس مشاهدات عینی رقم ردلیشز در دمای صفر درجه سلسیوس و برخورد با آهن گالوانیزه دارای رنگ قهوه‌ای تیره در بافت ضایعه شده و رقم گلدن دلشز در برخورد با کارتن در دمای  $30$  درجه سلسیوس دارای کوفتگی با رنگ قهوه‌ای روشن بود و سطح کوفتگی در اکثر موارد به شکل بیضی بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به حجم کوفتگی سیب در جدول (۱) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج اثرات اصلی دما، سطح ضربه‌گیر، انرژی سینتیک و رقم بر حجم کوفتگی در سطح احتمال  $1\%$  معنی‌دار است. اثرات متقابل رقم در دما و رقم در انرژی سینتیک بر حجم کوفتگی در سطح احتمال  $1\%$  معنی‌دار می‌باشد، همچنین اثر متقابل رقم در سطح ضربه‌گیر بر حجم کوفتگی در سطح احتمال  $5\%$  معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی دما، سطح ضربه‌گیر، انرژی سینتیک و رقم در جدول (۲) ارائه شده است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال  $5\%$  انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار حجم کوفتگی در دمای صفر درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین در بررسی اثر سطوح ضربه‌گیر کمترین میزان کوفتگی در برخورد با کارتن بدست آمد و با افزایش انرژی ضربه حجم کوفتگی افزایش یافت.

برای تحلیل نتایج، از طرح آزمایش کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل در  $5$  تکرار استفاده شد و در مجموع  $360$  آزمون ضربه انجام شد. برای ارائه نتایج به صورت نمودار از نرم‌افزار اکسل Excel و برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج از نرم‌افزار MSTAT-C استفاده گردید.

### طراحی مدل شبکه عصبی مصنوعی

در این تحقیق از شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه<sup>۱</sup> برای پیش‌بینی حجم کوفتگی ناشی از ضربه استفاده شد. شبکه‌های عصبی پرسپترون ابزارهایی هستند که در توپولوژی شبکه‌های عصبی مصنوعی کاربرد گسترده‌ای دارند. این شبکه‌ها دارای لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و لایه خروجی می‌باشند. شمار لایه‌ها و نرون‌ها در لایه مخفی به طور معمول از روش آزمون و خطا مشخص می‌شود. روش یادگیری MLP به صورت پس‌انتشار خطا<sup>۲</sup> است زیرا خطای خروجی مدل به عقب و به داخل سیستم برگردانده می‌شود تا تجدید و تنظیم وزن‌های لایه‌های پنهان انجام گیرد. در این حالت با تصحیح پیوسته خطا وزن‌های مناسب برای سیستم به دست می‌آید. سپس از طریق مقایسه نتایج مدل با نتایج مطلوب در مورد کارایی مدل قضاوت می‌شود. برای مقایسه عملکرد شبکه‌های ساخته شده از میانگین مربعات خطا<sup>۳</sup> (MSE) استفاده شد. یکی از مشکلات موجود در آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی بیش‌برازش<sup>۴</sup> می‌باشد. یک روش برای افزایش تعمیم‌پذیری شبکه روش توقف زودرس می‌باشد، در این حالت  $25\%$  داده‌ها برای آزمون،  $25\%$  برای ارزیابی و  $50\%$  برای آموزش شبکه در نظر گرفته شد. این داده‌ها به صورت تصادفی از میان نمونه‌های ورودی انتخاب شدند.

برای طراحی شبکه، در لایه ورودی ویژگی‌های مربوط به متغیرهای دما، رقم، انرژی سینتیک و سطح ضربه‌گیر به کار گرفته شد و در لایه خروجی از یک نرون برای پیش‌بینی مقادیر حجم کوفتگی استفاده شد. از توابع تبدیل تانژانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید در لایه پنهان و تابع تبدیل خطی در لایه خروجی استفاده شد و از الگوریتم لئونبرگ-مارکوآرت<sup>۵</sup> (Im)

1. Multilayer Perceptron (MLP)
2. Back Propagation
3. Mean Square Error
4. Over Fitting
5. Levenberg- Marquardt

1. Prediction Accuracy

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری حجم کوفتگی سیب (CV=۱۹/۳۵)

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۴۰/۹۳**	۱۶۱۹۰۳۹۲/۶۶	۴۸۵۷۱۱۷۷/۹۷	۳	دما
۴۳۴/۲۴**	۲۱۱۳۴۷۸۸۳/۱۴	۴۲۲۶۹۵۷۶۶/۲۷	۲	سطح ضربه‌گیر
۱۲/۹۸**	۵۱۳۶۷۴۰/۹۲	۳۰۸۲۰۴۴۵/۵۰	۶	سطح ضربه‌گیر×دما
۱۰۰/۱۴**	۳۹۶۰۶۰۶۶۹/۸۳	۷۹۲۱۲۱۳۳۹/۶۶	۲	انرژی
۰/۷۱ <sup>ns</sup>	۲۷۸۹۹۶/۱۸	۱۶۷۳۹۷۷/۱۰	۶	انرژی×دما
۱۷/۳۱**	۶۸۴۹۴۲۶/۴۴	۲۷۳۹۷۷۰۵/۷۸	۴	انرژی×سطح ضربه‌گیر
۳/۲۸**	۱۲۹۷۸۷۵/۳۵	۱۵۵۷۴۵۰۴/۲۲	۱۲	انرژی×سطح ضربه‌گیر×دما
۳۸۱/۶۰**	۱۵۰۹۶۴۸۳۱/۵۰	۱۵۰۹۶۴۸۳۱/۵۰	۱	رقم
۴/۴۸**	۱۷۷۲۰۶۵/۴۳	۵۳۱۶۱۹۶/۲۸	۳	رقم×دما
۴/۲۶*	۱۶۸۴۱۴۱/۲۵	۳۳۸۱۲۸۲/۵۰	۲	رقم×سطح ضربه‌گیر
۲/۵۷*	۱۰۱۵۹۰۷/۳۹	۶۰۹۵۴۴۴/۳۲	۶	رقم×سطح ضربه‌گیر×دما
۸۳/۵۴**	۳۳۰۵۰۷۹۲/۸۲	۶۶۱۰۱۵۸۵/۶۴	۲	رقم×انرژی
۱/۹۶ <sup>ns</sup>	۷۷۴۲۰۱/۷۱	۴۶۴۵۲۱۰/۲۷	۶	رقم×انرژی×دما
۲/۰۲ <sup>ns</sup>	۸۰۰۳۴۲/۹۸	۳۲۰۱۳۷۱/۹۲	۴	رقم×انرژی×سطح ضربه‌گیر
۱/۷۴*	۶۸۸۳۰۸۷۰	۸۲۵۹۷۰۴/۳۵	۱۲	رقم×انرژی×سطح ضربه‌گیر×دما
-	۳۹۵۶۰۷/۸۸	۱۱۳۹۳۵۰۷۰/۰۱	۲۸۸	خطا
-	-	۱۷۰۰۷۴۲۶۱۳/۳۰	۳۵۹	مجموع

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪، \* معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و <sup>ns</sup> عدم اثر معنی دار

جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین اثرات دما، سطح ضربه‌گیر، انرژی و رقم بر حجم کوفتگی سیب

رقم	انرژی ضربه (mJ)	سطح ضربه‌گیر	دما (°C)				
۲۶۰۲/۷۶ <sup>b</sup>	گلدن دلیشز	۱۴۶۵/۳۳ <sup>c</sup>	۳۰۰	۴۳۲۱/۵ <sup>a</sup>	آهن	۳۸۷۱/۳۳ <sup>a</sup>	صفر
					گالوانیزه		
۳۸۷۹/۹ <sup>a</sup>	رددلیشز	۳۱۸۸/۴۸ <sup>b</sup>	۶۰۰	۳۶۶۳/۷۹ <sup>b</sup>	لاستیک	۳۱۷۱/۸۲ <sup>b</sup>	۱۰
		۵۰۹۷/۴ <sup>a</sup>	۹۰۰	۱۷۶۵/۷۱ <sup>c</sup>	کارتن	۲۹۵۹/۹۶ <sup>c</sup>	۲۰
						۲۹۹۸/۲۲ <sup>bc</sup>	۳۰

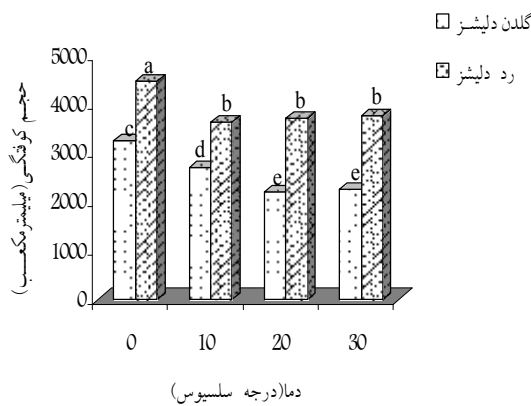
مقادیر میانگین دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵٪) با هم ندارند.

### اثر دما بر حجم کوفتگی

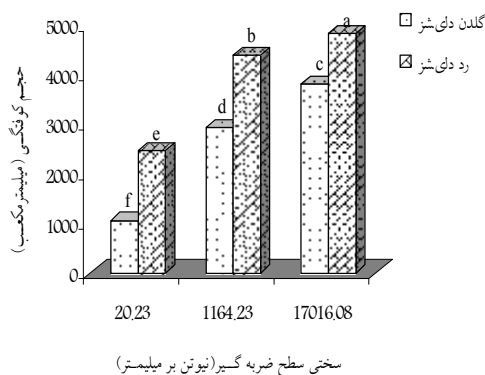
مقایسه‌ی میانگین‌ها (جدول ۲ و شکل ۳) نشان می‌دهد که با افزایش دما از ۰ تا ۲۰ درجه سلسیوس حجم کوفتگی کاهش یافته است اما با افزایش دما از ۲۰ به ۳۰ درجه سلسیوس میانگین حجم کوفتگی به میزان جزئی افزایش یافت و این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. این نتیجه با نتایج ون لانکر (۱۹۷۹)، هاید و همکاران (۲۰۰۱) و ونزیبروک و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد [۹، ۱۰ و ۱۶]. بیشترین مقدار میانگین حجم کوفتگی ۴۴۸۲/۸۹ میلی‌متر مکعب مربوط به رقم ردلیشز در دمای صفر درجه

سلسیوس و کمترین آن ۲۲۰۱/۰۱ میلی‌متر مکعب به رقم گلدن-دلیشز در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اختصاص داشت. تحلیل اثر دما بر کوفتگی سیب در منابع مختلف متناقض است و برای توجیه آن دلایل مختلفی ذکر شده است. اولین نکته‌ای که باید در نظر گرفت این است که دما بر روی خواص مکانیکی سیب اثرگذار است، بنابراین منطقی است که بر میزان کوفتگی هم تاثیر داشته باشد. برای مثال ضریب کشسانی به میزان دما وابسته است [۶]، به طوری که با افزایش دما ضریب کشسانی کاهش می‌یابد [۹]. هورسفیلد و همکاران، (۱۹۷۲) بر اساس تئوری برخورد

میلی متر مکعب مربوط به رقم رد دلشیز در سطح انرژی ۹۰۰ میلی-ژول و کمترین آن ۱۲۹۰/۰۷ میلی متر مکعب به رقم گلدن دلشیز در سطح انرژی ۳۰۰ میلی ژول اختصاص داشت. دلیل این امر را می توان به تفاوت خواص مکانیکی رقم گلدن دلشیز و رد دلشیز مرتبط دانست. ضریب کشسانی رقم رد دلشیز بالاتر از گلدن دلشیز است، با افزایش ضریب کشسانی بافت میوه، میزان کوفتگی افزایش می یابد. همچنین تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی شکست و سفتی رقم گلدن دلشیز بالاتر از رد دلشیز است [۱۸]. با افزایش تنش و کرنش گسیختگی یک رقم مقاومت آن رقم در برابر بارهای مکانیکی بیشتر شده و آسیب کمتری متحمل می شود، در نتیجه رقم گلدن دلشیز دچار کوفتگی کمتری شد.



شکل ۳ اثر دما بر حجم کوفتگی دو رقم سیب



شکل ۴ اثر سطح ضربه گیر بر حجم کوفتگی دو رقم سیب

هرتر معادله ای برای محاسبه تنش ایجاد شده طی برخورد دو جسم ارائه کردند که نشان می دهد تنش ایجاد شده در بافت میوه با ضریب کشسانی دو جسم برخورد شونده متناسب است [۱۶]. بر این اساس در ارتفاع سقوط ثابت، با فرض ثابت بودن سختی سطح ضربه گیر، ضریب کشسانی بیشتر سیب، باعث تنش برخورد بیشتر و آسیب کوفتگی بیشتر می شود. به همین علت بیشترین حجم کوفتگی نیز در دمای صفر درجه سلسیوس روی داد. از طرفی با کاهش دما ویسکوزیته افزایش می یابد و دیواره سلول ها شکننده تر می گردند و سفتی افزایش می یابد [۱۷]، بنابراین آسیب پذیری بیشتر می شود. این همان نتیجه ای است که در این پژوهش طی بررسی مشخص شد.

### اثر سطح ضربه گیر بر حجم کوفتگی

با توجه به شکل (۴) مشاهده می شود که مقاومت رقم گلدن دلشیز در برخورد با سطوح ضربه گیر متفاوت بیشتر از رقم رد دلشیز می باشد و کوفتگی کمتری در آن ایجاد می شود. همچنین جدول (۳) نشان می دهد که سختی سطح آهن گالوانیزه بیش از لاستیک و کارتن است، بنابراین کوفتگی بیشتری در اثر برخورد با این سطح ایجاد می شود. در واقع سطوح نرم مقداری از انرژی ضربه را جذب می کنند، در نتیجه کمترین کوفتگی در برخورد با کارتن ایجاد شده است. این نتیجه با نتایج لويس و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد [۱]. بیشترین مقدار میانگین حجم کوفتگی معادل ۴۸۳۳/۱ میلی متر مکعب مربوط به رقم رد دلشیز در اثر برخورد با آهن گالوانیزه و کمترین آن ۱۰۶۳/۱۳ میلی متر مکعب در اثر برخورد رقم گلدن دلشیز با کارتن ایجاد شده است.

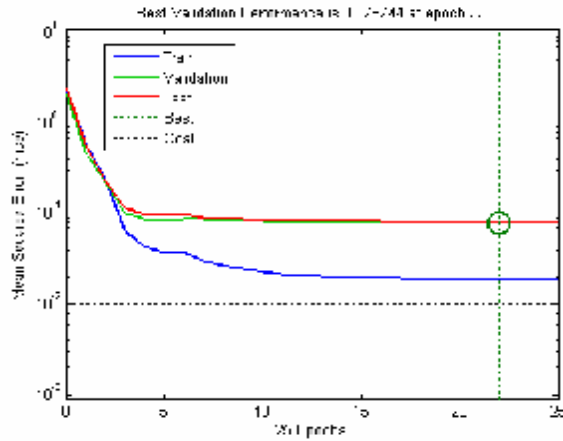
جدول ۳ سختی سطوح ضربه گیر و ضخامت آنها

کارتن	لاستیک	آهن گالوانیزه	سختی ( $N/mm$ )
۲۰/۲۳	۱۱۶۴/۲۳	۱۷۰۱۶/۰۸	
۴/۱	۵/۶۴	۴/۵	ضخامت (mm)

### اثر انرژی سینتیک بر حجم کوفتگی

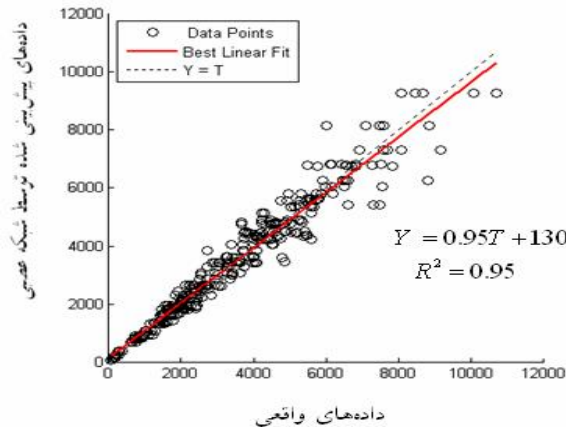
نتایج مقایسه میانگین در شکل (۵) نشان می دهد که با افزایش انرژی ضربه از ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلی ژول میانگین حجم کوفتگی به طور معنی داری افزایش می یابد، زیرا تنش برخورد بیشتر می شود. بیشترین مقدار میانگین حجم کوفتگی ۶۳۰۹/۷۳

درک عملکرد شبکه استفاده می‌شود. خطوط آبی، سبز و قرمز به ترتیب نشانگر روند تغییرات خطای داده‌های آموزشی، ارزیابی و آزمون می‌باشند و خط سیاه نشانگر مقدار خطای هدف (برابر ۰/۰۱) شبکه است. میانگین دقت شبیه‌سازی در مراحل آموزش، ارزیابی و آزمون به ترتیب ۹۲/۴۸، ۸۸/۹۴ و ۸۷/۷۲ درصد محاسبه شد. با استفاده از ۲۶ نرون در لایه میانی برای شبکه با تابع انتقال لگاریتم سیکلوییدی میانگین مربعات خطا در سیکل ۲۲ معادل ۰/۰۷۸۷۴۴ بدست آمد.

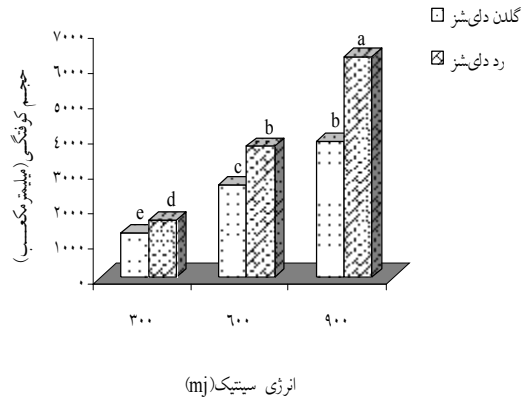


شکل ۶ نمودار عملکرد شبکه lm با ۲۶ نرون در لایه پنهان

شبکه ساخته شده با ۲۶ نرون دارای بیشترین ضریب همبستگی بود. در شکل (۷) بهترین خط برازش یافته بین مقادیر کوفتگی واقعی (T) و پیش‌بینی شده (Y) نشان داده شده است. مقایسه مدل‌های رگرسیون آماری در جدول (۴) و مدل رگرسیون خطی بدست آمده با شبکه عصبی نشان می‌دهد که مدل بدست آمده با شبکه عصبی دارای ضریب رگرسیون (۰/۹۵) بالاتری است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌بینی حجم کوفتگی با شبکه عصبی به مدل‌های رگرسیون آماری ارجحیت دارد.



شکل ۷ نمودار رگرسیون شبکه با ۲۶ نرون در لایه پنهان



شکل ۵ اثر انرژی ستیک بر حجم کوفتگی دو رقم سیب

### مدل‌های رگرسیون آماری

در جدول (۴) مدل‌های رگرسیون آماری برای دو رقم نشان داده شده است. در این مدل‌ها  $t$  دما بر حسب (C)،  $s$  سختی سطح ضربه‌گیر بر حسب (mm)،  $e$  انرژی ضربه بر حسب (mJ) و  $V$  حجم کوفتگی بر حسب (mm<sup>3</sup>) می‌باشد. مشاهده می‌شود که مدل‌های رگرسیون خطی با ضریب تعیین متوسط می‌توانند مقدار حجم کوفتگی را برآورد کنند.

جدول ۴ مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه پیش‌بینی حجم کوفتگی برای دو رقم سیب گلدن‌دلیشز و رد‌دلیشز

رقم	مدل رگرسیون خطی چندگانه	$R^2$
گلدن-دلیشز	$V = -35.59t + 0.12s + 4.32e - 160.5$	۰/۷۰۲
رد‌دلیشز	$V = -21.04t + 0.09s + 7.78e - 1008.97$	۰/۸۰۳

### پیش‌بینی حجم کوفتگی با شبکه عصبی مصنوعی

جدول (۵) ساختار بهینه بدست آمده برای شبکه‌های ساخته شده با استفاده از الگوریتم لونیگ-مارکوورت با یک لایه پنهان و تعداد نرون‌های متفاوت در لایه پنهان را نشان می‌دهد. بر اساس جدول (۵) تابع انتقال لگاریتم سیکلوییدی (logsig) از عملکرد بهتری در مقایسه با تابع تانژانت سیکلوییدی (tansig) برخوردار است. این تابع انتقال علاوه بر دقت پیش‌بینی و ضریب همبستگی بالا، تعداد نرون کمتر و MSE پایین‌تری دارد. در شکل (۶) نمودار میانگین مربعات خطا بر حسب تکرار (Epoch) ترسیم شده است. به تعداد تکرارها، میانگین مربعات خطا وجود دارد که از نمایش تغییرات آن به عنوان معیاری برای

جدول ۵ ساختار بهینه الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت

ضریب همبستگی (R)	میانگین دقت شبکه در داده‌های آزمایش (%)	میانگین مربعات خطا	تکرار	تعداد بهینه نرون در لایه میانی	تابع انتقال لایه میانی	الگوریتم آموزشی
۰/۹۷۳	۸۶/۶	۰/۰۷۹۰	۱۲	۳۰	تانژانت	Trainlm
۰/۹۷۵	۸۷/۷	۰/۰۷۸۷	۲۲	۲۶	سیکلونیدی لگاریتم سیکلونیدی	

#### ۴- نتیجه گیری

با توجه به بیشینه کوفتگی ایجاد شده در دمای صفر درجه سلسیوس، توصیه می‌شود که در هنگام جابجایی و فرآیندهایی که احتمال وقوع ضربه در آن‌ها وجود دارد، دمای میوه سیب تا حد ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس افزایش یابد. همچنین برای کاهش کوفتگی در سیب در ماشین‌های برداشت و پس از برداشت، از سطوح ضربه‌گیر با سختی کمتر مانند کارتن یا مواد مشابه آن، استفاده شود. انتخاب ارقامی از سیب که بتوانند انرژی زیادی را بدون آسیب دیدگی زیاد تحمل کنند از اهمیت برخوردار است که در این بین رقم گلدن دلشز بر رقم رد دلشز ارجحیت دارد. پیش‌بینی حجم کوفتگی با شبکه عصبی نسبت به مدل‌های رگرسیون آماری از دقت بالایی برخوردار است، به طوری که می‌توان با دقت ۸۷/۷۲ درصد حجم کوفتگی را بر اساس دما، میزان انرژی سینتیک، سختی سطح ضربه‌گیر و رقم پیش‌بینی نمود.

#### ۵- منابع

- [5] Van Zeebroeck, M., Van linden, V., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B.M., Tijskens, E. 2007a. Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biology and Technology*. 45: 157-167.
- [6] Van Zeebroeck, M., Van linden, V., Darius, P., De Ketelaere, B., Ramon, H., Tijskens, E. 2007b. The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology*. 46: 10-19.
- [7] Schoorl, D., Holt, J.E. 1977. The effects of storage time and temperature on the bruising of Jonathan, Delicious and Granny Smith apples. *Journal of Texture Studies*. 8: 409-416.
- [8] Saltveit, M. 1984. Effects of temperature on firmness and bruising of Starkrimson delicious and golden delicious apples. *HortScience* 19: 550-551
- [9] Van Lancker, J. 1979. Bruising of unpeeled apples and potatoes in relation with temperature and elasticity. *Lebensmittel Wissenschaft Technologie*. 12: 157-161.
- [10] Hyde, G.M., Baritelle, A.L., Varith, J. 2001. Fruit and vegetable conditioning to improve impact bruise threshold. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering. Potsdam Germany September. 11-14.
- [11] Kavdir, I., Guyer, D.E. 2004. Comparison of Artificial Neural Networks and Statistical Classifiers in Apple Sorting using Textural Features. *Biosystems Engineering*. 89(3): 331-344.
- [12] Yang, C.C., Prasher, S.O., Landry, J.A. 2002. Weed recognition in corn fields using back-propagation neural network models. *Canadian Biosystems Engineering Le genie des biosystemes au Canada*. 44: 7.15-7.22.
- [13] Afkari Sayyah, A. H., Minaei, S., Golmohammadi, A. 2006. Investigation of the effect of mechanical load on apple losses after storage. Unpublished Research Project, Univ. of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
- [1] Lewis, R., Yoxall, A., Canty, L.A., Reina Romo, E. 2007. Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. *Journal of Food Engineering*. 83: 356-365.
- [2] Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Second Edition. New York: Golden and Beach Science Publisher. USA.
- [3] Labavitch, J. M., Greve, L. C., Mitcham, E. 1998. Fruit bruising: It is more than skin deep. *Perishables Handling Quarterly*. 95: 7-9.
- [4] Lewis, R., Yoxall, A., Marshall, M.B., Canty, L.A. 2008. Characterising pressure and bruising in apple fruit. *Wear*. 264: 37-46.



- equipment for minimum bruising. *Transactions of the ASAE*. 15: 746–750.
- [17] Hertog, M.L.A.T.M., Ben-Arie, R., Roth, E., Nicolaï, B. M. 2004. Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures. *Postharvest Biology and Technology*. 33: 79–91.
- [18] Mas'oudi, H., Tabatabaeefar, A., Borghae, A.M. 2004. Mechanical Properties of Stored Apples (Uniaxial Test). <http://ica.ipan.lublin.pl/abstracts/Tabatabaeefar.pdf>
- [14] Van Zeebroeck, M. 2005. The Discrete Element Method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling. PhD thesis nr 643. Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, K.U. Leuven.
- [15] Chen, P., Sun, Z. 1981. Impact parameters related to postharvest bruising of apples. *ASAE Paper* No. 81- 3041, St Joseph, Michigan.
- [16] Horsfield, B.C., Fridley, R.B., Claypool, L.L. 1972. Application of theory and elasticity to the design of fruit harvesting and handling

## Effect of temperature and padding surface on apple bruise volume due to impact and its prediction by artificial neural network

Shekarbeigi, S. <sup>1</sup>, Afkari-Sayyah, A. H. <sup>2\*</sup>, Shayeghi-Moghanloo, H. <sup>3</sup>, Shokuhian, A. A. <sup>4</sup>

1. M. Sc. Student, Dept. of Agricultural Machinery, University of Mohaghegh Ardabili

2. Assistant Professor, Dept. of Agricultural Machinery, University of Mohaghegh Ardabili

3. Associate Professor, Dept. of Electrical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

4. Academic Lecturer, Dept. of Horticulture, University of Mohaghegh Ardabili

(Received: 88/7/2 Accepted:88/11/18)

The mechanical losses which occur in agricultural products are the damage's which imposed on country economy. It is important to investigate the bruising phenomena, as an index of mechanical losses for loss reduction and optimization of harvest and postharvest machinery. In the current study, by means of an impact pendulum apparatus and by conducting a series of impact tests, the effects of temperature (0, 10, 20 and 30°C), variety (Golden Delicious and Red Delicious), padding surface (corrugated carton, rubber and galvanized iron) and kinetic energy (300, 600 and 900 mJ) were investigated on rate of apple bruise. Statistical results showed that the effect of temperature, variety, padding surface and impact energy were significant on the mean value of bruise volume at 1% of statistical level. By increasing temperature, the bruised volume was decreased, whereas it increased by increase of energy level in both varieties. While, the Golden Delicious had more strength than Red Delicious. Also, the maximum rate of bruised volume was related to Red Delicious in contacting to galvanized iron and the minimum rate was related to Golden Delicious in contacting to corrugated carton. Prediction of bruised volume was provided using artificial neural network based on four factors of: temperature, impact energy, padding surface and variety. Multilayer perceptron of neural networks were used for prediction of bruised volume. In comparison with other topologies, algorithm Levenberg-Marquardt had better performance with structure 1-26-4 and logsigmoid transfer function in hidden layer. Based on this algorithm, the mean of prediction accuracy in training, evaluation and testing process was equal to 92.48, 88.94 and 87.72 percent, respectively. In addition, the correlation coefficient (R) was calculated equal to 0.975 for linear regression between predicted model and experimental data.

**Keyword:** Impact, Apple Bruise, Temperature, Padding Surface, Artificial Neural Networks

---

\*Corresponding Author E-Mail address: [ahafkari@gmail.com](mailto:ahafkari@gmail.com)