

## استفاده از سیستم استنتاج فازی (FIS) برای پیش‌بینی مقدار انرژی گسیختگی،

### ضریب الاستیسیته و چگرمگی دانه ذرت

عبدالله گل‌محمدی<sup>۱</sup>، رضا صدقی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی، انتهای خیابان دانشگاه، اردبیل، ایران.  
<sup>۲</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.  
\* agolmohammadi42@yahoo.com  
دریافت: ۹۲/۱۰/۲۵ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۷

#### چکیده

همانند سایر دانه‌ها، خواص مکانیکی دانه ذرت برای طراحی تجهیزات حمل و نقل، جابه‌جایی، خشک‌کن‌ها و آسیاب‌ها ضروری است. در این تحقیق، برخی از خواص مکانیکی دانه ذرت از جمله ضریب الاستیسیته، چگرمگی و انرژی گسیختگی دانه ذرت رقم Sc704 تحت عوامل رطوبت، در چهار سطح (۱۰۸، ۱۲ و ۱۴ درصد بر پایه خشک) و سرعت بارگذاری، در پنج سطح (۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مبانی مدل فازی ممدانی از یک مدل هوشمند برای پیش‌بینی برخی خواص مکانیکی دانه ذرت استفاده شد که این مدل فازی شامل ۲۰ قانون می‌باشد. در این تحقیق، استنتاج ماکسیمم-مینیمم ممدانی برای استنتاج مکانیزم (ترکیب قواعد با ورودی فازی) و روش غیرفازی سازی مرکز ثقل برای غیرفازی سازی (تبدیل خروجی نهایی سیستم به یک عدد کلاسیک) مورد استفاده قرار گرفت. اعتبار مدل ارائه شده از طریق معیار خطای عددی مبتنی بر داده‌های تجربی بدست آمد. نتایج پیش‌بینی با استفاده از مدل فازی مقادیر بسیار نزدیکی را با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داد، به طوری که درصد خطای نسبی مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل فازی برای ضریب الاستیسیته، چگرمگی و انرژی گسیختگی به ترتیب  $۰/۵/۲$ ،  $۰/۷/۸$  و  $۰/۴/۶$  بدست آمد. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل فازی و رگرسیونی نشان داد که میانگین خطای نسبی در مدل فازی کمتر از مدل رگرسیونی است.

واژه‌های کلیدی: ضریب الاستیسیته، چگرمگی، انرژی گسیختگی، دانه ذرت، سیستم استنتاج فازی (FIS)

#### ۱- مقدمه

نقاط دنیا را دارد. از ۴۵۰۰ سال پیش جزء خوراک اصلی بشر بوده است (Kiniry et al, 1992). تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی غلات از جمله ذرت از مهمترین عوامل در طراحی و بهینه‌سازی مکانیزم‌ها

ذرت با نام علمی (Zea) یک محصول استراتژیک محسوب می‌گردد. این محصول با ارزش تنوع بسیار زیادی داشته و توانایی رشد در اکثر

برای جداسازی، ذخیره کردن، حمل و نقل و پاک کردن دانه‌ها می‌باشد. این خواص تابعی از عوامل مختلف از جمله رطوبت، سرعت بارگذاری، نوع رقم، ترکیب شیمیایی دانه، مدت زمان نگهداری و... می‌باشد. در مطالعات مختلف تأثیر این پارامترها روی مکانیکی مورد بررسی قرار گرفته است. (Tarighiet al, 2011) طی بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی دانه ذرت واریته DCC 370 گزارش کردند که انرژی گسیختگی با افزایش رطوبت از ۱۵/۵ تا ۲۲ درصد، افزایش و مقدار آن از ۵۹ به ۱۳۵ مگاژول تغییر می‌کند در حالی که نیروی گسیختگی از ۳۴۷/۵ به ۲۲۶/۲ نیوتن کاهش می‌یابد. (Seifi and Alimardani, 2010) طی تحقیقی روی خواص وابسته به محتوای رطوبتی دو رقم ذرت شامل ارقام Sc704 و Dc370 گزارش کردند که برای رقم Sc704 محدوده انرژی گسیختگی از ۶۴/۶۷ تا ۱۳۰/۸ و برای رقم Dc370 از ۷۲/۷۱ تا ۸۰/۳۳ مگاژول تغییر می‌کند. ماکزیمم مقدار انرژی گسیختگی مربوط به ۲۲ درصد رطوبت و مینیمم مقدار آن مربوط به ۱۲ درصد می‌باشد. در حال حاضر، شیوه‌های مختلف محاسباتی مانند آماری<sup>۱</sup>، ماشین یادگیری<sup>۲</sup>، شبکه عصبی<sup>۳</sup> و فازی برای تحلیل داده‌های تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ross, 1995). در سال‌های اخیر

علاقمندی روزافزون به توسعه مدل‌های فازی و شبکه عصبی مصنوعی و کاربرد آن در بسیاری از شاخه‌های علوم و مهندسی مشاهده می‌شود و با استفاده از آن‌ها فرآیندهای پیچیده طبیعی و دارای عوامل متعدّد را می‌توان به سادگی و با دقت مطلوب مدل‌سازی نمود (Karatalopoulos, 2000). انتخاب یک روش و رویکرد مناسب برای مدل‌سازی یک سیستم، بستگی به میزان پیچیدگی آن سیستم و نیز ارتباط معکوسی با میزان دانش و شناخت ما از آن سیستم دارد. واضح است که انسان تمایل دارد یک سیستم را با بیشترین دقت ممکن مدل‌سازی کند، چنانچه شناخت کافی به آن نداشته باشد مجبور است دقت مورد انتظار از مدل را با میزان شناخت خود از سیستم منطبق نماید (Dubois and Prade, 1980).

سیستم استنتاج فازی بر اساس قواعد اگر-آنگاه بنا شده است به طوری که با استفاده از قواعد مزبور می‌توان ارتباط بین ورودی و خروجی را به دست آورد. در شرایطی که داده‌های ورودی و یا خروجی دارای عدم قطعیت بالایی باشند، می‌توان از سیستم استنتاج فازی (FIS) به عنوان یک مدل پیش‌بینی استفاده نمود.

در چنین شرایطی روش‌های کلاسیک پیش‌بینی نظیر رگرسیون نمی‌توانند به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها را در نظر بگیرند.

<sup>1</sup>.Statistics

<sup>2</sup>.Machine learning

<sup>3</sup>.Neural network

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه نمونه و اندازه‌گیری خواص مکانیکی

برای انجام آزمایش، یکی از ارقام رایج ذرت در ایران (رقم Sc704) از موسسه تحقیقات بذر و نهال اردبیل تهیه شد (شکل ۱). به منظور تهیه نمونه‌های با رطوبت متفاوت در چهار سطح (۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ درصد بر پایه خشک)، ابتدا با استفاده از فرمول‌های زیر مقدار آب مقطر مورد نیاز محاسبه گردید (Mohsenin, 1986).



شکل ۱: دانه ذرت رقم Sc704

Figure 1: Corn varieties Sc704

$$W_i \times \left(1 - \frac{M_i}{100 + M_i}\right) = W_t \times \left(1 - \frac{M_f}{100 + M_f}\right) \quad (1)$$

$$W_t - W_i = W_w \quad (2)$$

کیسه‌های پلاستیکی کاملاً مسدود، به مدت سه روز در یخچال و با دمای ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شد، تا به سطوح رطوبتی یکنواخت برسند (Salcilik, 2009). به منظور هم دما شدن نمونه‌ها با محیط آزمایشگاه، نمونه‌ها یک ساعت قبل از شروع آزمایشات از یخچال خارج و در محیط آزمایشگاه قرار گرفت.

چهار واحد اساسی و لازم برای استفاده موفق از هر رویکرد مدل‌سازی فازی وجود دارد که عبارتند از: پایگاه قواعد فازی، موتور استنتاج فازی، فازی‌سازی، غیرفازی‌سازی (Wang, 1997).

هدف از این تحقیق توسعه مدل پیش‌بینی برخی خواص مکانیکی دانه ذرت شامل: ضریب الاستیسیته، چغرمگی و انرژی گسیختگی با استفاده از مدل فازی بر اساس رویکرد ممدانی می‌باشد.

عواملی که برای پیش‌بینی خواص مکانیکی دانه ذرت مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل سرعت بارگذاری و رطوبت خواهد بود که در مطالعات مختلف تأثیر آن‌ها روی خواص مکانیکی مورد مطالعه قرار گرفته است.

که:  $W_i$ : وزن نمونه با رطوبت اولیه (g)،  $W_t$ : وزن نمونه با رطوبت نهایی (g)،  $W_w$ : وزن آب اضافه شده به نمونه (g)،  $M_i$ : درصد رطوبت اولیه بر پایه خشک،  $M_f$ : درصد رطوبت نهایی بر پایه خشک است. ابتدا آب مورد نیاز به صورت اسپری به دانه‌ها اضافه و با آن‌ها مخلوط گردید. سپس دانه‌ها، در

از هر نمونه ۳۰ دانه به طور تصادفی انتخاب شد. برای تعیین خواص مکانیکی دانه ذرت در این تحقیق از دستگاه بارگذاری فشاری تک محوری (SMT-5) ساخت شرکت سنتام استفاده شد. این دستگاه دارای حسگر ۱۰۰ کیلوگرم نیرو و عامل بارگذاری آن از نوع صفحه‌ای تخت بود که با سرعت‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ میلی‌متر بر دقیقه به سمت پایین حرکت می‌کرد و دانه‌ها را تحت بار پیوسته قرار می‌داد. هم‌زمان منحنی نیرو-تغییر شکل بر روی صفحه مانیتور مشاهده می‌شد. نیروی بیشینه بر حسب نیوتن به طور عینی از بالاترین نقطه منحنی نیرو-تغییر شکل و پیش از افت ناگهانی نیرو به دست آمد.

همچنین تغییر شکل مربوط به نقطه گسیختگی از منحنی بر حسب میلی‌متر به دست آمد. انرژی بیشینه با برازش معادله چند جمله‌ای درجه سه با منحنی نیرو-تغییر شکل و سپس انتگرالگیری از معادله مربوطه تا نقطه گسیختگی محاسبه شد. چفرمگی از نسبت انرژی بر حجم نمونه‌های مورد آزمایش به دست آمد. برای محاسبه ضریب الاستیسیته ظاهری، بر اساس تئوری هرتز برای سطوح محدب از روش فشردن دانه بین دو صفحه موازی استفاده شد و مقدار ضریب الاستیسیته دانه‌ها از معادله (۳) محاسبه گردید (ASAE, 1999).

$$E = \frac{0.338 F(1 - \mu^2)}{D^{3/2}} \left[ 2K \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (3)$$

که: ۲-۲- مدل فازی

برای پیاده سازی تئوری مجموعه فازی<sup>۱</sup> به مدل، از جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار MATLAB نسخه ۷/۱۲ تحت ویندوز استفاده شد (MATLAB, 2010). برای ارائه مدل پیش‌بینی با استفاده از سیستم خبره فازی (FES)، محتوی رطوبتی (M.C) و سرعت بارگذاری (SL) به عنوان پارامترهای ورودی و ضریب الاستیسیته (Ec)، E: ضریب الاستیسیته ظاهری (Pa)، F: مقدار نیروی فشاری از منحنی نیروی تغییر شکل (N)، D: مقدار تغییر شکل متناظر با نیرو (m)، R<sub>1</sub>: حداقل شعاع انحناء دانه در نقاط تماس (m)، R'<sub>1</sub>: حداکثر شعاع انحناء دانه در نقاط تماس (m)، K: فاکتور بدون بعد وابسته به ویژگی هندسی صفحه تخت بارگذاری و دانه، μ: نسبت پواسون (بدون بعد) است.

<sup>1</sup> -Fuzzy set theory

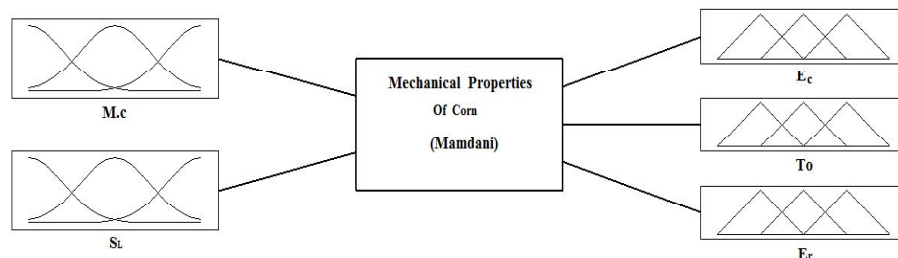
همچنین برای فازی کردن پارامترها از توابع ایجاد شده زیر استفاده گردید که این توابع به وسیله مقادیر اندازه گیری شده تعیین شده‌اند.

توابع عضویت هر یک از پارامترهای مورد نظر با استفاده از توابع بالا (محدوده ورودی و خروجی) و متغیرهای لفظی فوق‌الذکر تعیین و در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شدند. توابع عضویت در برگرداندن متغیرهای عددی به متغیرهای لفظی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال، متغیرهای لفظی و توابع عضویت سرعت بارگذاری ( $S_L$ ) از طریق قوانین توسعه داده شده و فرمول‌های زیر بدست می‌آید.

چگرمگی ( $T_o$ ) و انرژی گسیختگی ( $E_r$ ) به عنوان پارامترهای خروجی مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۲).

برای فازی کردن این پارامترها از متغیرهای لفظی، خیلی کم ( $VL$ )، کم ( $L$ )، متوسط ( $M$ )، زیاد ( $H$ ) و خیلی زیاد ( $VH$ ) استفاده شد.

همچنین به دلیل دقت بالا از توابع عضویت مثلثی شکل برای هر دو متغیر ورودی و خروجی استفاده شد. واحدهای مورد استفاده برای پارامترها به ترتیب: رطوبت ( $/\%$ )، سرعت بارگذاری ( $mm.min^{-1}$ )، ضریب الاستیسیته ( $Pa$ )، چگرمگی ( $J.cm^{-3}$ ) و انرژی گسیختگی ( $J$ ) می‌باشند.



شکل ۲- ساختار سیستم خبره فازی  
Fig.2. The structure of fuzzy expert system

$$Mc(i_1) = \begin{cases} 1 & 8 \leq i_1 \leq 14 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$S_L(i_2) = \begin{cases} 1 & 3 \leq i_2 \leq 7 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$E_f(o_1) = \begin{cases} 1 & 85.5 \leq o_1 \leq 358.5 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$T_O(o_2) = \begin{cases} o_2: 0.25 \leq o_2 \leq 0.48 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$E_R(o_3) = \begin{cases} o_3: 76.5 \leq o_3 \leq 155 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{VL}(i_2) = \begin{cases} 1: i_2 < 3 \\ 4 - i_2: 3 \leq i_2 \leq 4 \\ 0: i_2 > 4 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{VL}(i_2) = \{1/3 + 0.9/3.1 + \dots + 0.1/3.9 + 0/4\} \quad (10)$$

$$\mu_L(i_2) = \begin{cases} i_2 - 3: 3 \leq i_2 \leq 4 \\ 5 - i_2: 4 \leq i_2 \leq 5 \\ 0: i_2 > 5 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_L(i_2) \{0/3 + 0.1/3.1 + \dots + 1/4 + 0.9/4.1 + \dots + 0.1/4.9 + 0/5\} \quad (12)$$

$$\mu_M(i_2) = \begin{cases} i_2 - 4: 4 \leq i_2 \leq 5 \\ 6 - i_2: 5 \leq i_2 \leq 6 \\ 0: i_2 > 6 \end{cases} \quad (13)$$

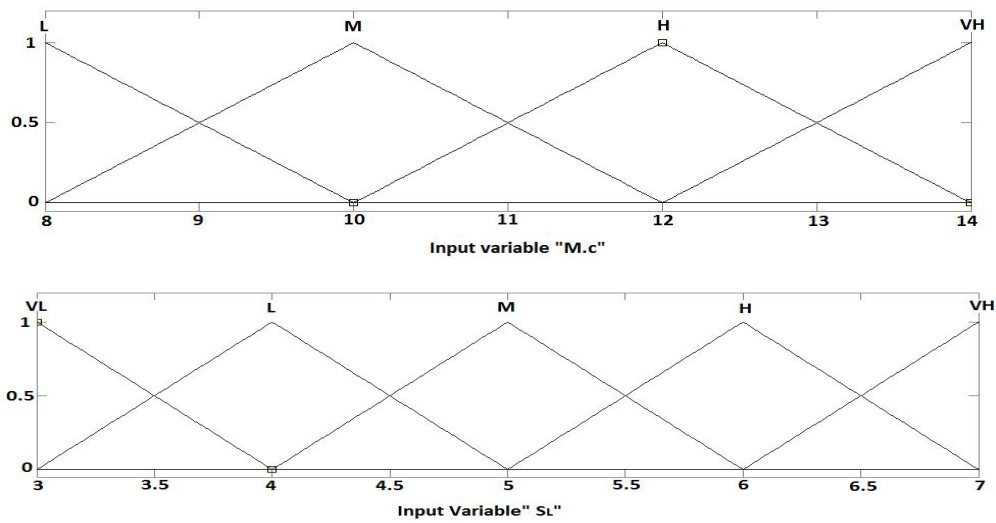
$$\mu_M(i_2) = \{0/4 + 0.1/4.1 + \dots + 1/5 + 0.9/5.1 + \dots + 0.1/5.9 + 0/6\} \quad (14)$$

$$\mu_H(i_2) = \begin{cases} i_2 - 5: 5 \leq i_2 \leq 6 \\ 7 - i_2: 6 \leq i_2 \leq 7 \\ 0: i_2 > 7 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_H(i_2) = \{0/5 + 0.1/5.1 + \dots + 1/6 + 0.9/6.1 + \dots + 0.1/6.9 + 0/7\} \quad (16)$$

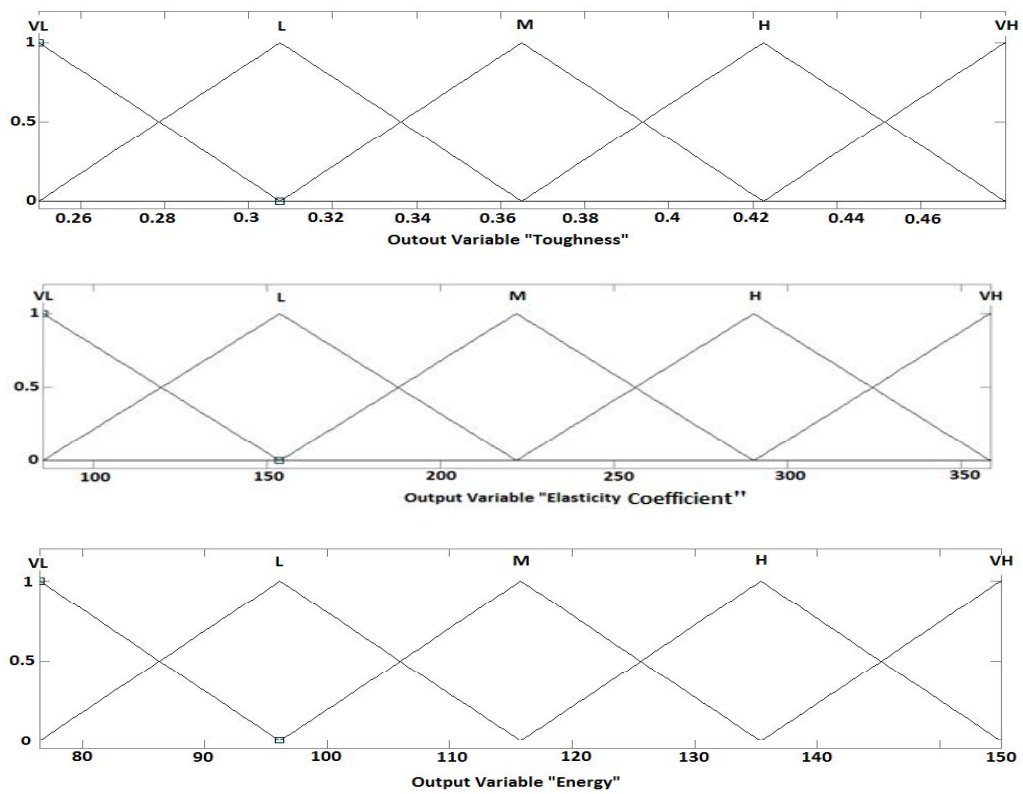
$$\mu_{VH}(i_2) = \begin{cases} 0: i_2 < 6 \\ i_2 - 6: 6 \leq i_2 \leq 7 \\ 1: i_2 > 7 \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{VH}(i_2) = \{0/6 + 0.1/6.1 + \dots + 0.9/6.9 + 1/7\} \quad (18)$$



شکل ۳: توابع عضویت متغیرهای ورودی

Figure 3: the membership functions of input variables



شکل ۴: توابع عضویت متغیرهای خروجی

Figure 4: The membership functions of output variables

بخش‌های از قوانین توسعه داده شده در جدول (۱) به دست آمده از آزمایش و دانش و تجربه نویسنده نشان داده شده است. این قوانین بر اساس داده‌های می‌باشد.

جدول ۱ قوانین فازی  
Table 1: Fuzzy Rules

قوانین	متغیرهای ورودی		متغیرهای خروجی		
	M.c	S <sub>L</sub>	E <sub>c</sub>	T <sub>O</sub>	E <sub>c</sub>
قانون (۱)	L	VL	VH	M	M
قانون (۲)	L	L	VH	L	VL
قانون (۱۰)	M	VH	H	L	VL
قانون (۱۸)	VH	M	L	H	H
قانون (۲۰)	VH	VH	L	VH	VH

مطلوب و واقعی استوار هستند. در این تحقیق از سه پارامتر ضریب تبیین ( $R^2$ )، درصد خطای نسبی ( $\varepsilon$ ) و ضریب برآزش (G.F) برای ارزیابی مدل فازی استفاده شد. این پارامترها به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q})]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (20)$$

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_i - P_i}{Q_i} \right| \quad (21)$$

$$G.F = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2}} \quad (22)$$

در روابط فوق، N: تعداد نمونه،  $P_i$ : مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل،  $Q_i$ : مقادیر واقعی،  $\bar{P}$ : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل،  $\bar{Q}$ : میانگین مقادیر واقعی می‌باشد (Jacovides, 1997).

در این تحقیق، تمامی ۲۰ قانون توسعه داده شده، فعال شدند و از استنتاج ماکسیمم-مینیمم ممدانی برای استنتاج مکانیزم و در غیرفازی کردن به دلیل دقت بالا و جامعیت از روش مرکز ثقل<sup>۱</sup> استفاده شد که در زیر آورده شده است (Allah Verdi, 2002).

$$Z^* = \frac{\int Z \cdot \mu_c(Z) \cdot dz}{\int \mu_c(Z) \cdot dz} \quad (19)$$

که،  $Z^*$ : مقدار قطعی،  $Z$ : مقدار فازی شده،  $\mu_c(Z)$ : مقدار درجه تابع عضویت فازی شده است.

## ۳-۲- ارزیابی عملکرد مدل

معیارهای مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی وجود دارد که عموماً بر اساس اختلاف بین خروجی‌های پیش‌بینی شده و خروجی‌های

1.Center of Gravity Defuzzifier



## ۲-۴- مدل رگرسیونی

روش گام به گام (Stepwise) اقدام به ارائه یک مدل رگرسیونی شد. متغیرهای رطوبت (M.c) و سرعت بارگذاری (S<sub>L</sub>) به عنوان متغیرهای مستقل مدل در نظر گرفته شدند.

در این تحقیق علاوه بر توسعه مدل فازی، جهت پیش‌بینی برخی خواص مکانیکی دانه ذرت (ضریب الاستیسیته (E<sub>c</sub>)، چگرمگی (T<sub>O</sub>) و انرژی گسیختگی (E<sub>r</sub>))، با استفاده از نرم افزار SPSS و

$$E_f = -36.3 M_c + 11.5 S_L \quad R^2 = 0.893 \quad (23)$$

$$+ 599.9$$

$$T_O = 0.016 M_c - 0.007 S_L \quad R^2 = 0.422 \quad (24)$$

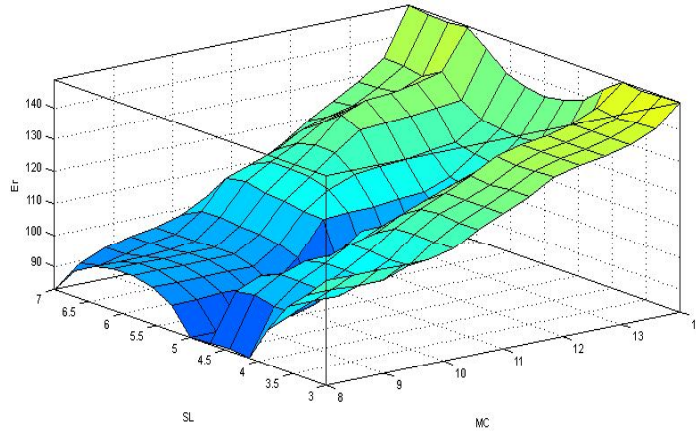
$$+ 0.227$$

$$E_R = 4.75 M_c - 1.7 S_L + 68.86 \quad R^2 = 0.29 \quad (25)$$

## ۳- نتایج و بحث

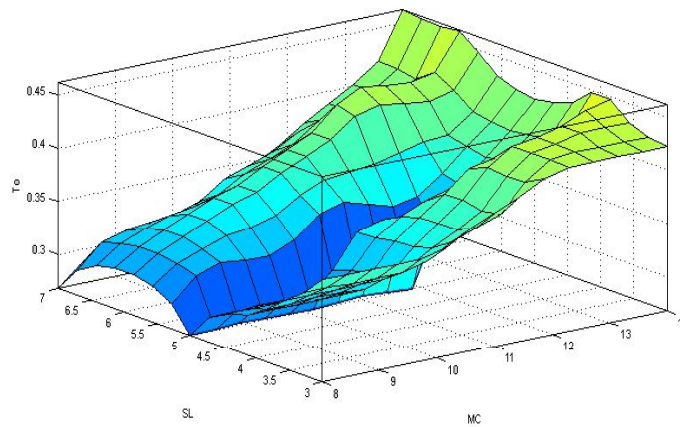
کاهش پیدا می‌کند. این پدیده حاصل تأثیر متفاوت رطوبت بر رفتار فیزیکی و مکانیکی مواد بیولوژیکی می‌باشد. با توجه به نمودار، با افزایش رطوبت مقدار انرژی نیز روندی تقریباً افزایشی داشته است. بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که حداقل در محدوده رطوبتی ۸ تا ۱۴ درصد و سرعت بارگذاری در محدوده ۴ تا ۷ میلی‌متر بر دقیقه، رطوبت و سرعت بارگذاری اثر متقابل بر انرژی گسیختگی داشته و بیشترین مقدار انرژی گسیختگی در سرعت بارگذاری ۴ میلی‌متر بر دقیقه و رطوبت ۱۴ درصد بدست می‌آید.

نتایج خروجی مدل فازی در حالت Surface به صورت نمودارهای سه بعدی بر حسب پارامترهای ورودی و خروجی می‌باشد که بیانگر تأثیر تغییرات پارامترهای ورودی بر خروجی مدل فازی است. شکل (۵) نشان‌دهنده اثر سرعت بارگذاری و رطوبت بر انرژی گسیختگی است. همانطور که از نمودار پیداست کمترین مقدار انرژی گسیختگی در محدوده ۴/۵ تا ۵ میلی‌متر بر دقیقه سرعت بارگذاری و در رطوبت ۸ درصد به دست آمده و با افزایش سرعت بارگذاری روندی افزایشی انرژی گسیختگی نیز تا ۶/۵ ادامه داشته و سپس مجدداً



شکل ۵: اثر سرعت بارگذاری و رطوبت بر انرژی گسیختگی

Figure 5: Effect of loading speed and moisture content on rupture energy.



شکل ۶: اثر سرعت بارگذاری و رطوبت بر چغرمگی

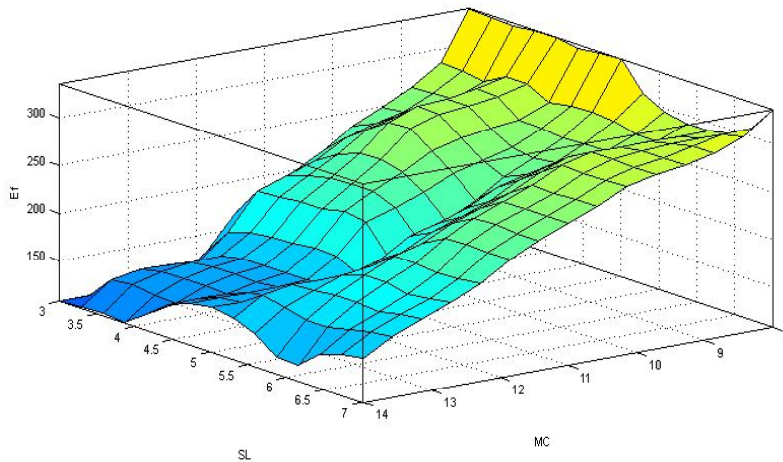
Figure 6: Effect of loading speed and moisture content on Toughness.

گسیختگی می‌باشد و این مؤید عدم تأثیر اندازه دانه در میزان چغرمگی خواهد بود.

شکل (۷) نشان‌دهنده اثر سرعت بارگذاری و رطوبت بر ضریب الاستیسیته است. همانطور که از نمودار پیداست مقدار ضریب الاستیسیته، با افزایش سرعت بارگذاری روندی تقریباً افزایشی داشته است. در حالی که با افزایش رطوبت مقدار ضریب الاستیسیته روندی کاهشی داشته است به‌طوری‌که بیشترین مقدار ضریب الاستیسیته در سرعت بارگذاری ۳ تا ۵ میلی‌متر بر دقیقه و رطوبت ۸

شکل (۶) نشان‌دهنده اثر سرعت بارگذاری و رطوبت بر چغرمگی است. همانطور که از نمودار پیداست مقدار چغرمگی، با افزایش سرعت بارگذاری تا سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه روند کاهشی، بعد با افزایش سرعت بارگذاری تا ۶/۵ روند افزایشی و سپس مجدداً روند کاهشی داشته است. همچنین با افزایش رطوبت مقدار چغرمگی نیز روندی تقریباً افزایشی داشته است با توجه به اینکه مقدار چغرمگی از نسبت انرژی گسیختگی به حجم دانه محاسبه شده؛ لذا روند چغرمگی همانند روند انرژی

درصد بدست می‌آید. بنابراین برای جلوگیری از آسیب مکانیکی در هنگام برداشت ذرت بذری بهتر است حداقل رطوبت ممکن و کمترین سرعت بارگذاری اعمال گردد.



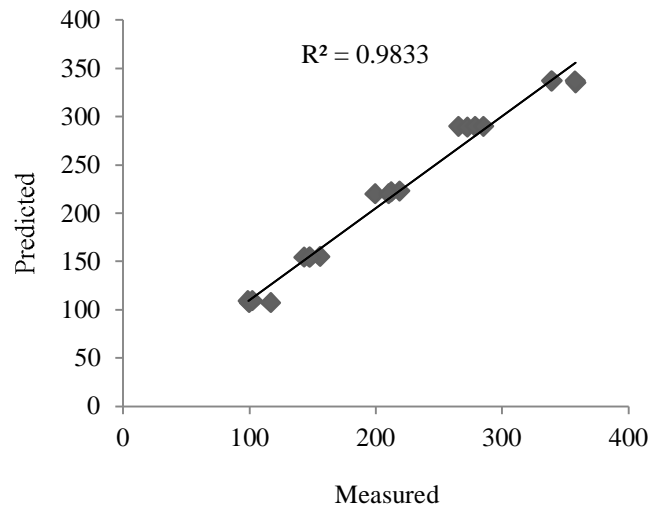
شکل ۷: اثر سرعت بارگذاری و رطوبت بر ضریب الاستیسیته

Figure 7: Effect of loading speed and moisture content on Modulus of Elasticity.

الاستیسیته، چگرمگی و انرژی گسیختگی به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۶۳ و ۰/۹۲ بدست آمد که نشان‌دهنده توانایی مدل برای پیش‌بینی برخی خواص اشاره شده است.

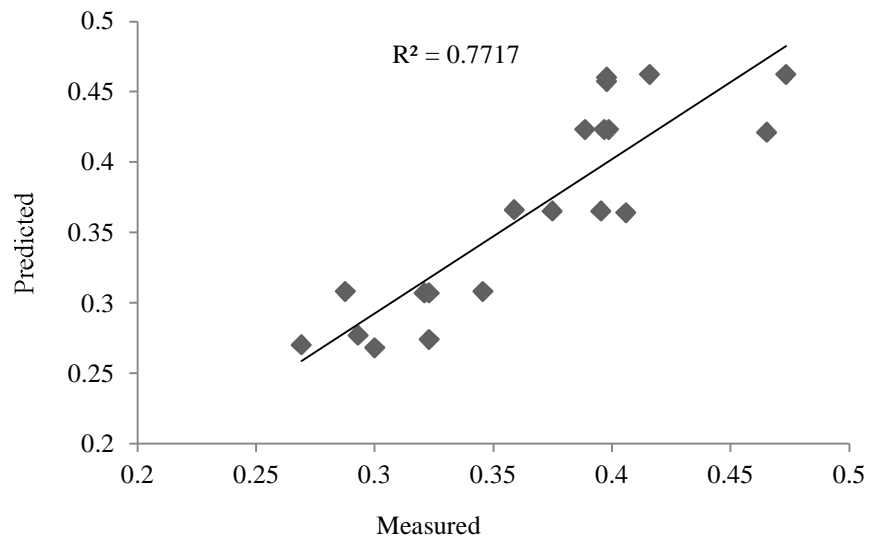
ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (از مدل فازی) برای خواص مکانیکی دانه ذرت در شکل‌های (۱۰-۸) ارائه شده است. ضریب تبیین برای ضریب الاستیسیته برابر با ۰/۹۸۳، برای چگرمگی ۰/۷۷۱ و برای انرژی ۰/۹۳۳ بدست آمد. در صورتیکه این مقادیر در مدل رگرسیونی به ترتیب برای ضریب الاستیسیته برابر با ۰/۸۹۳، برای چگرمگی ۰/۴۲۴ و برای انرژی ۰/۲۹ بوده که بیانگر توانایی بالای مدل فازی در ایجاد همبستگی عالی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده است.

نتایج به دست آمده نشان داد که در مقایسه با مدل رگرسیونی، همبستگی بالایی بین مدل توسعه داده شده (فازی) با نتایج اندازه‌گیری شده وجود دارد. به‌طوریکه با محاسبه پارامترهای ارزیابی برای مدل فازی ارائه شده، درصد خطای نسبی (ε) به ترتیب برای ضریب الاستیسیته، چگرمگی و انرژی گسیختگی به ترتیب ۰/۵۱۲، ۰/۷۱۸ و ۰/۴۱۶ بدست آمد. برای تمامی پارامترها، مقادیر خطای نسبی پیش‌بینی شده کمتر از حد قابل قبول (۰/۱۰) بود. در حالی که این مقادیر در مدل رگرسیونی به ترتیب برای ضریب الاستیسیته، چگرمگی و انرژی گسیختگی ۰/۱۲۳، ۰/۹۱۱ و ۰/۱۲۸ بدست آمد که این نشان‌دهنده دقت بالای مدل فازی نسبت به مدل رگرسیونی است. علاوه بر این، ضریب برازش (G.F) سیستم استنتاج فازی برای ضریب



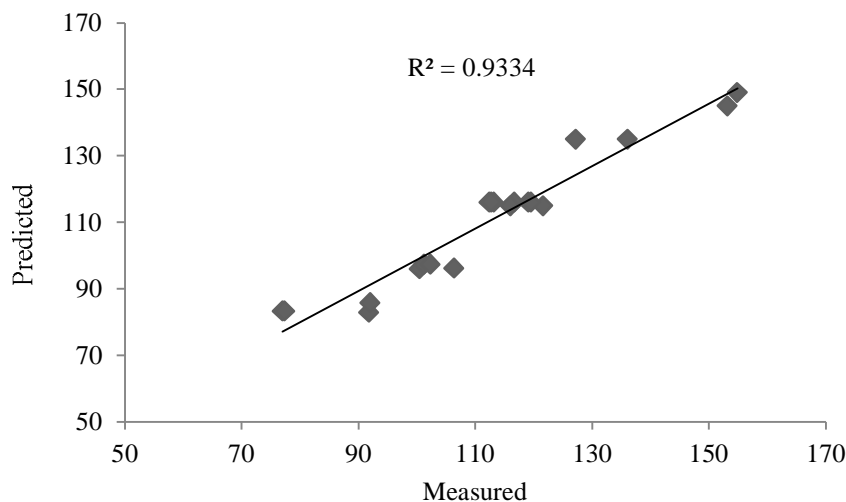
شکل ۸: رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای ضریب الاستیسیته

Figure 8: Correlation between measured and predicted values of Modulus of Elasticity



شکل ۹: رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای چقرمگی

Figure 9: Correlation between measured and predicted values of Modulus of Toughness



شکل ۱۰: رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای انرژی گسیختگی  
 Figure 10: Correlation between measured and predicted values of rupture energy

#### ۴- نتیجه‌گیری

اساس متغیرهای زبانی نوشته شده، توصیف کردند، ساختار ساده و قدرتمندی را داشته و در مقایسه با دیگر شیوه‌های مدل‌سازی پیش‌بینی کننده (آنالیز رگرسیونی کلاسیک) برتری دارند. در این مقاله، اعتبار عملکرد مدل ارائه شده بر اساس معیارهای ارزیابی به اثبات رسید. به‌طوری که برای تمامی پارامترها، مقادیر خطای نسبی پیش‌بینی شده کمتر از حد قابل قبول (۱۰٪) بود. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، از جمله نمایش گرافیکی روند تغییرات صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر عوامل مختلف، می‌توان مدل فازی را به عنوان یکی از روش‌های پیش‌بینی خواص مکانیکی محصولات کشاورزی از جمله دانه ذرت معرفی نمود.

با توجه به اینکه مقدار انرژی گسیختگی در محدوده سرعت بارگذاری ۴/۵ تا ۵ میلی‌متر بر دقیقه کمترین مقدار را داشته و با افزایش سرعت بارگذاری تا ۶/۵ میلی‌متر بر دقیقه روندی افزایشی و سپس مجدداً کاهش پیدا می‌کند، بنابراین لازم است سرعت‌های بارگذاری بالاتر نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که با افزایش رطوبت در هر دو پارامتر انرژی گسیختگی و چگرمگی افزایش در حالی که ضریب الاستیسیته کاهش پیدا می‌کند. مدل‌های فازی به خاطر اینکه در آنها رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی می‌تواند به وسیله قوانینی که بر

## ۵- فهرست منابع

1. Allahverdi, N. 2002. Expert systems: An artificial intelligence application. **Istanbul: Atlas press**, 248 p.
2. ASAE Standards, 1999a. Compression test of food materials of convex shape. **American society of Agricultural Engineers, ASAE**. S368.3.
3. Dubois, D. and Prade, H. 1980. Fuzzy sets and systems: theory and applications. **New York Academic**.
4. Jacovides, C.P. 1997. Reply to comment on statistical procedures for the evaluation of evapotran spiration models. **Agricultural Water Management**, 3, 95-97.
5. Karatalopoulos, S.V. 2000. Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic- Basic Concepts and Applications. **Prentice Hall. New-Delhi, India**.
6. Kiniry, J. R. C., Tischler, W. and Rosenthal, D. 1992, Nonstructural carbohydrate utilization by sorghum and maize shaded during growth. **Crop Sci**. 32: 131-137. MATLAB, Fuzzy Toolbox. The Mathworks Inc, Natick, MA, 2010.
7. Mohsenin, N. N. 1986, Physical properties of plant and Animal Materials, **2nd ed., Gordon and Breach science publisher. New York**.
8. Ross, J. T. 1995. Fuzzy Logic with engineering applications, **New York. McGraw Hill Inc**.
9. Salcilik, k. 2009. Some physical properties of Hemp Seed, **Bio-system engineering**, 86(2): 191-198.
10. Seifi, M. and Alimardani, R. 2010. Comparison of moisture dependent physical and mechanical properties of two varieties of corn (Sc 704 and Dc 370) **Australian Journal of Agricultural Engineering**.
11. Tarighi, J., Mahmoudi, A. and Alavi, N. 2011. Some mechanical and physical properties of corn seed (Var. DCC 370). **African Journal of Agricultural Research** Vol. 6(16).pp. 3691-3699.
12. Wang, Li-Xin. 1997. A Course in Fuzzy Systems and Control (**1st Ed.**), **Prentice-Hall**.

## Fuzzy Inference System (FIS) to Predict Rupture Energy, Modulus of Elasticity and Toughness of Zea Maize

A. Golmohammadi<sup>1</sup>, R. Sedghi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Assist.Prof. of Agricultural Machinery Engineering Dept. Of Agricultural Machinery, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil.*

<sup>2</sup> *Former graduate student, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran.*

*Email: [agolmohammadi42@yahoo.com](mailto:agolmohammadi42@yahoo.com)*

*Received: 2014-01-15 Accepted: 2014-06-07*

### Abstract

Like any other grains, mechanical properties of corn are necessary for designing, transporting, handling, drying and milling of grains equipment's. In this study, some mechanical properties of corn grains, including modulus of elasticity, toughness and rupture energy of corn Sc704, cultivar were studied under moisture content factor at 4 levels (8,10,12 and 14% . dry basis) and loading speed at 5 levels (3,4,5,6 and 7 mm/min). A sophisticated intelligent model, based on Mamdani fuzzy inference system, was developed to predict the mechanical properties of corn. The fuzzy model consists of 20 rules. In this investigation, the Mamdani Max-Min inference was used for deducing the mechanism (composition of fuzzy rules with input); also the center of gravity defuzzifier method was used for defuzzification (conversion of the final output of the system into a classic number). The validity of the presented model was achieved by numerical error criterion based on empirical data. The prediction results of models using fuzzy values with measured values showed a close. Predicted results using fuzzy model, showed very close values with measured values. So that, the relative mean error of the predicted and measured values using the fuzzy model for modulus of elasticity, toughness and rupture's energy, were 5.2, 7.8 and 4.6% respectively. The comparison between the fuzzy model and regression model showed that the mean relative error in regression model is greater than the FIS model.

**Key words:** Coefficient of elasticity, Toughness, Rupture energy, Corn, Fuzzy Inference System

