



# پیش بینی ابعاد قطعه های قالب گیری تزریقی با استفاده از پروفیل فشار مذاب در قالب و شبکه عصبی

کریم شلش نژاد\*، صمد تقی زاده

تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی مکانیک، قطب مکترونیک، آزمایشگاه تحقیقاتی تکنولوژی پلاستیک

صندوق پستی ۵۱۶۶۵/۱۱۶

دریافت: ۸۶/۸۲۰، پذیرش: ۸۷/۴/۱۷

## چکیده

نوسانات در شرایط فرایندی قالب گیری تزریقی باعث نوسانات ابعادی محصولات می شود. از طرف دیگر، با توجه به سرعت زیاد فرایند قالب گیری و هم چنین انقباض پس از قالب گیری، کنترل مستقیم و در مسیر ابعاد محصولات مشکل و فاقد دقت لازم است. هدف از این پژوهش، پیش بینی در مسیر ابعاد نهایی محصول بر اساس چگونگی تغییرات فشار مذاب در محفظه قالب است. در مرحله نخست، به منظور اندازه گیری نوسانات فرایندی، شرایط تنظیمی مبنا برای دستگاه قالب گیری انتخاب شد و فشار مذاب درون قالب طی چرخه های متوالی قالب گیری اندازه گیری شد. در مرحله بعدی، اثر متغیرهای قالب گیری شامل سرعت تزریق، فشار نگه داری و دمای مذاب بر پروفیل فشار مذاب در محفظه قالب و ابعاد محصول آزمایش و مشخص شد که سه متغیر شامل حداکثر فشار مذاب در قالب، زمان رسیدن به حداکثر فشار و سطح زیر منحنی فشار - زمان را می توان به عنوان مهم ترین مولفه ها در پیش بینی ابعاد محصول در نظر گرفت. در این پژوهش، یک شبکه عصبی با ساختار ۳-۳-۱ برای پیش بینی طول قطعه های قالب گیری شده مدل سازی شد. در آزمون های به عمل آمده از شبکه عصبی مورد نظر، طول محصول با حداکثر خطای ۰/۰۳۹mm / پیش بینی شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که کاربرد روش اندازه گیری فشار مذاب در قالب و شبکه عصبی در پیش بینی ابعاد نهایی محصول از دقت و کارآمدی زیادی برخوردار است.

بخشی از این مقاله در دومین همایش بین المللی ساخت و تولید ایران، آذرماه ۱۳۸۶، دانشگاه علم و صنعت ایران ارائه شده است.

## واژه های کلیدی

قالب گیری تزریقی،  
فشار حفره قالب،  
نوسانات،  
ابعاد قطعات قالب گیری شده،  
مدل شبکه عصبی

\*مسئول مکاتبات، پیام نگار:

[shelesh-nezhad@tabrizu.ac.ir](mailto:shelesh-nezhad@tabrizu.ac.ir)

## Dimensional Prediction of Injection Molded Parts Using Melt Pressure Trace and Neural Network

K. Shelesh-Nezhad\* and S. Taghizadeh

Department of Mechanical Engineering, Tabriz University, P.O. Box: 51665/116, Tabriz, Iran

Received 11 November 2007; accepted 7 July 2008

### Abstract

The variations in plastic injection molding process may lead to the inconsistency of molded parts' dimensions. Furthermore, due to the speed of production as well as post-shrinkage of molded parts make the control of process difficult and give inaccurate molded parts. The objective of this research is to predict the dimensions of injection molded parts on the basis of cavity pressure during the molding process. At the first stage of experimentations, the variations of molding process were determined under a base setting condition by using cavity pressure measurement approach. At the second stage, the effects of molding parameters on the cavity pressure profile as well as part's dimensions were studied. Following, an artificial neural-network model was implemented capable of predicting the molded part's dimensions based on the cavity pressure. To increase the efficiency of proposed model, three features of the cavity pressure trace encompassing maximum cavity pressure, cavity pressure-time integral value, as well as time to reach the maximum pressure were selected as neural-network inputs.

## Key Words

injection molding,  
cavity pressure,  
variations,  
molded part dimensions,  
neural network model

(\* ) To whom correspondence should be addressed.

E-mail:

[shelesh-nezhad@tabrizu.ac.ir](mailto:shelesh-nezhad@tabrizu.ac.ir)

## مقدمه

فرایند قالب گیری تزریقی، فرایندی چرخه ای است و برای تولید انبوه قطعه های مختلف پلاستیکی به کار می رود. در این فرایند عواملی وجود دارد که پیش بینی کیفیت محصول را دشوار و پیچیده می کند. در فرایند قالب گیری تزریقی پارامترهای تنظیمی متعددی وجود دارد و شرایط تنظیمی به طور غیرخطی بر کیفیت نهایی محصول اثر می گذارد [۱-۳]. عدم یکنواختی مواد مذاب پلاستیک در سیلندر گرمایی و هم چنین نوسانات فشار روغن هیدرولیک در ساز و کار واحد تزریق منجر به ایجاد تغییرات در کیفیت محصولات طی چرخه های متوالی فرایند قالب گیری می شود [۴، ۵]. از طرف دیگر، کنترل مستقیم و در مسیر (on-line) ابعاد محصولات فاقد دقت لازم است. زیرا، مقدار انقباض در قطعه های قالب گیری شده تابعی از زمان است و ابعاد نهایی هر قطعه پس از گذشت ساعت ها از عملیات قالب گیری مشخص می شود [۶]. این محدودیت ها سبب شده است که امکان استفاده از روش های کنترلی غیرمستقیم برای پیش بینی کیفیت محصول به طور جدی مطالعه شود [۷-۱۱].

کیفیت نهایی محصول تحت تأثیر چگونگی تغییرات فشار مذاب در محفظه قالب قرار دارد و این امکان میسر است که با اندازه گیری فشار مذاب بر حسب زمان در قالب بتوان به طور غیرمستقیم و در مسیر کیفیت محصولات قالب گیری شده را ارزیابی کرد [۷، ۹]. پیش بینی ابعاد محصول بر اساس روند تغییرات فشار مذاب در قالب بر حسب زمان بسیار مفید است. زیرا، کاربر می تواند بر اساس آن پارامترهای فرایند قالب گیری را تنظیم کند.

مدل های مختلفی برای مرتبط ساختن فشار مذاب در قالب با شرایط ابعادی محصول پیشنهاد شده است. برخی از این مدل ها با استفاده از روش های طراحی آزمایش و معادلات رگرسیون [۸، ۹] و برخی دیگر با به کارگیری الگوریتم شبکه عصبی [۱۰]، شرایط ابعادی محصول را بر اساس شاخص های حداکثر مقدار فشار و سطح زیرمنحنی فشار - زمان از مذاب در قالب پیش بینی می کند.

مطالعه عمیق تر چگونگی تغییرات فشار مذاب در قالب نشان می دهد که پروفیل فشار - زمان حاوی اطلاعات دقیقی از شرایط قالب گیری است که در پژوهش های قبلی، برای پیش بینی وضعیت ابعادی محصول، به طور کامل از آن استفاده نشده است.

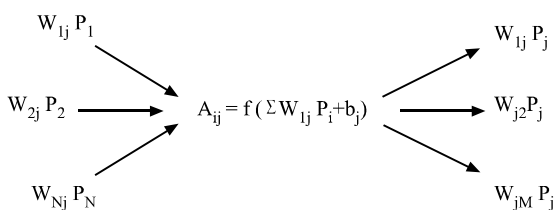
در این پژوهش، علاوه بر دو مشخصه حداکثر فشار مذاب و سطح زیر منحنی فشار - زمان، مشخصه دیگری یعنی زمان رسیدن به حداکثر مقدار فشار مذاب درون قالب برای پیش بینی شرایط ابعادی محصول در نظر گرفته شد. نتایج نشان می دهد که نوسانات موجود در فرایند قالب گیری و هم چنین تغییرات در مقادیر پارامترهای تنظیمی نه تنها بر طول محصول بلکه بر سه مشخصه مورد نظر از منحنی فشار - زمان نیز

اثر می گذارد. در بخش دیگر از این پژوهش، یک مدل شبکه عصبی برای پیش بینی طول نهایی قطعه های قالب گیری شده بر اساس پروفیل فشار مذاب در قالب پیشنهاد شد.

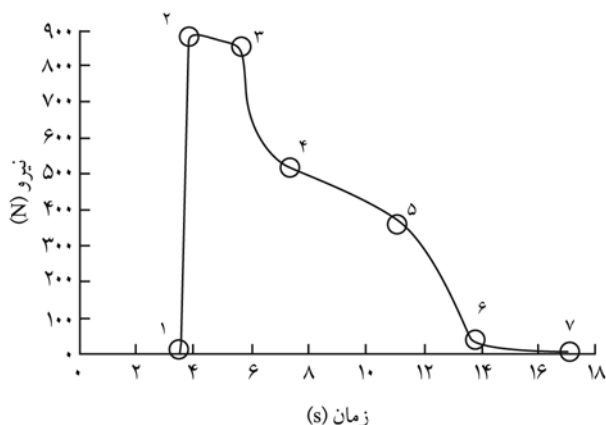
## کارایی شبکه عصبی

یک شبکه عصبی از تعداد محدودی نرون تشکیل شده است. نرون های تشکیل دهنده یک شبکه عصبی در چند لایه مجزا قرار گرفته و هر نرون در لایه ای به تمام نرون های لایه بعدی متصل است. در شبکه عصبی با ساختار ۱-۳-۳، در لایه اول ۳ نرون، در لایه دوم (لایه مخفی) ۳ نرون و در لایه آخر یک نرون وجود دارد. به هر اتصال بین دو نرون، وزن مشخصی اختصاص یافته و مقادیر عددی وزن ها برای هر اتصال در مرحله آموزش شبکه عصبی مشخص می شود. آموزش شبکه عصبی با اصلاح عوامل وزنی تا حدی ادامه می یابد که خروجی شبکه عصبی به نتایج واقعی نزدیک و خطای شبکه عصبی قابل اغماض شود.

مطابق شکل ۱، در یک شبکه عصبی، مقادیر ورودی به هر نرون ( $P_i$ ) در وزن اختصاص یافته ( $W_{ij}$ ) ضرب و مجموع آنها با یک عدد ثابت ( $b_j$ ) جمع می شود. در مرحله بعد، با استفاده از تابع تبدیل، روی نتیجه به دست آمده عملیات ریاضی انجام می شود و مقدار حاصل به عنوان خروجی آن نرون در نظر گرفته می شود. مهم ترین انواع توابع تبدیل شامل لگاریتم سیگموئید، تانژانت هایپربولیک سیگموئید و خطی هستند [۱۲]. در ابتدای مرحله آموزش شبکه عصبی، مقادیر کوچک و بزرگ تر از صفر به تمام وزن ها اختصاص داده می شود. سپس، تعدادی از نمونه های آموزشی شامل مقادیر ورودی و خروجی برای شبکه تعریف می شود. در هر مرحله از فرایند یادگیری شبکه عصبی، مقدار خطای شبکه تعیین و مقادیر وزن ها به نحوی اصلاح می شود که مقدار خطا کاهش یابد. به هر مرحله از این فرایند یادگیری اپوچ (epoch) اطلاق می شود و به دفعات لازم تکرار می گردد [۱۰]. مهم ترین روشی که برای آموزش شبکه های عصبی به کار گرفته می شود، روش انتشار به پشت (back propagation) است. در این روش، مقدار خطا بین خروجی شبکه عصبی و پاسخ مورد نظر به سمت عقب جریان می یابد تا



شکل ۱ - کاربری یک نرون در شبکه عصبی.



شکل ۲ - منحنی نیرو - زمان برای یک چرخه قالب گیری طبق تنظیمات مینا.

در مرحله اول از آزمایش ها، شرایط تنظیمی مندرج در جدول ۱ به عنوان شرایط مینا در نظر گرفته شد و ۲۵ عدد نمونه طبق تنظیمات مینا تزریق شد. در این مرحله، فشار داخل محفظه قالب در هر چرخه قالب گیری در مسیر اندازه گیری و ثبت شد و طول نمونه ها نیز پس از گذشت ۲۴ h از زمان قالب گیری اندازه گیری شد. در مرحله دوم از آزمایش ها، اثر تغییرات پارامترهای قالب گیری به ترتیب شامل کاهش و افزایش سرعت تزریق، فشار نگه داری و دمای مذاب بر شرایط ابعادی محصول و پروفیل فشار مذاب درون قالب آزمایش شد. در هر آزمایش طبق تنظیمات ثابت ۳ عدد قطعه قالب گیری شد و مقدار اختلاف بین مقادیر به دست آمده و مقادیر حاصل از آزمایش مینا ثبت شد.

جدول ۱ - شرایط تنظیم مینا برای قالب گیری نمونه ها.

مقدار	پارامتر
۱۹۰	دمای مذاب (°C)
۲۷	دمای قالب (°C)
۳۳	سرعت تزریق (mm/s)
۴۴	فشار تزریق (MPa)
۳۲	فشار نگه داری (MPa)
۱۵	مدت زمان نگه داری فشار (s)
۱۵	موقعیت پیچ تزریق پس از تزریق (mm)
۲۵	موقعیت پیچ پس از مرحله موادگیری (mm)
۱۳۵	سرعت موادگیری (V/min)
۰	مقدار مکش (mm)
۱۵	زمان خنک کاری قالب (s)

بر اساس آن وزن های داخلی شبکه تنظیم شود و خطا کاهش یابد. متداول ترین شاخص برای اندازه گیری خطا، میانگین مربع خطا (mean square error, MSE) طبق معادله (۱) است. به طوری که  $t_k$  پاسخ هدف و  $o_k$  پاسخ مشاهده شده است:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (t_k - o_k)^2 \quad (1)$$

## تجربی

### مواد

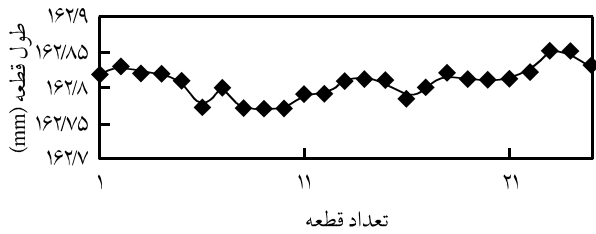
در این پژوهش، از پلی اتیلن سنگین (HDPE) با نام تجاری 5218EA، چگالی  $0.951-0.953 \text{ g/cm}^3$  و شاخص جریان مذاب ۱۷-۱۹ g/۱۰min محصول شرکت پتروشیمی اراک استفاده شد.

### دستگاه ها

یک دستگاه پیشرفته تزریق پلاستیک مجهز به سامانه کنترل ریزفرایند ساخت شرکت فولاد مدل ۱۱۰/۳۸۰ با ظرفیت تزریق ۲۶۸ گرم و گیره ۱۱۰ تن به منظور قالب گیری محصول (نمونه آزمون کشش طبق استاندارد ASTM D638) به کار گرفته شد. در این دستگاه قطر پیچ ۴۵mm، نسبت طول به قطر پیچ ۲۰ و تعداد گرمکن های الکتریکی در امتداد سیلندر و نازل ۸ عدد است.

به منظور اندازه گیری و نمایش فشار مذاب پلاستیک در قالب از حس گر پیزوالکتریک نوع 9221AA0,6، دستگاه Signal Conditioner نوع 2859A10 و از سامانه نرم افزاری Dataflow release 2.2 نوع 2859A10 ساخت شرکت Kistler استفاده شد. محل حس گر در قالب به نحوی طراحی شد که فشار مذاب پلاستیک از راه یک پین پران به حس گر پیزوالکتریک منتقل شود. مقدار نیروی اعمال شده به حس گر موجود در قالب بر حسب زمان در چرخه قالب گیری در شکل ۲ نشان داده شده است.

مطابق شکل ۲، نقطه ۱ زمان رسیدن مذاب به حس گر موجود در محفظه قالب، نقطه ۲ پر شدن محفظه و تراکم مذاب در محفظه در مرحله اول تزریق، نقطه ۳ پایان مرحله اول تزریق، نقطه ۴ شروع مرحله دوم تزریق (مرحله نگه داری فشار)، نقطه ۵ لحظه انجماد مجرای تزریق، نقطه ۶ انجماد سطحی محصول در قالب و نقطه ۷ پایان زمان اندازه گیری فشار مذاب در محفظه قالب را نشان می دهد. سه متغیر شامل حداکثر نیرو، زمان رسیدن به حداکثر نیرو و سطح زیر منحنی نیرو - زمان به عنوان مهم ترین مشخصه های منحنی نیرو - زمان در نظر گرفته شد.



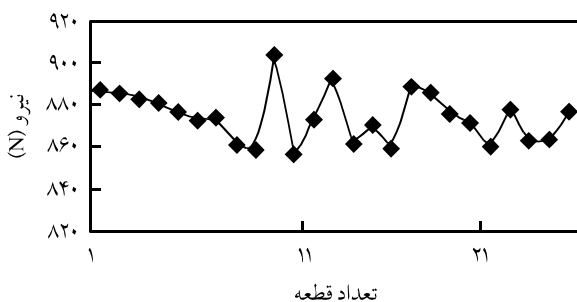
شکل ۳- نوسانات در طول قطعه های تولید شده.

### نتایج و بحث

جدول ۲، نتایج به دست آمده به ترتیب شامل طول محصول (L)، سطح زیر منحنی نیرو - زمان (Integral)، حداکثر نیرو ( $F_{max}$ ) و زمان رسیدن به حداکثر نیرو ( $T_{Fmax}$ ) از قالب گیری ۲۵ عدد نمونه را طبق تنظیمات مبنا نشان می دهد. طبق داده های مندرج در جدول ۲، حداکثر اختلاف در اندازه طول قطعه های قالب گیری شده برابر با ۰/۰۸ mm، حداکثر اختلاف در سطح زیر منحنی نیرو - زمان برابر ۲۴۵/۵ N.s، حداکثر اختلاف در نیروی وارد شده به حس گر برابر ۴۶/۶ N، حداکثر اختلاف در زمان رسیدن به بیشینه نیروی وارد به حس گر برابر ۰/۹ s به دست آمد. طبق جدول ۲، متغیر زمان رسیدن به حداکثر نیرو با شاخص های آزمون نرمال KS و P به ترتیب برابر با ۰/۴۶۴ و ۰/۹۳۸ دارای بالاترین درجه از



شکل ۴- نوسانات در سطح زیر منحنی نیرو - زمان.



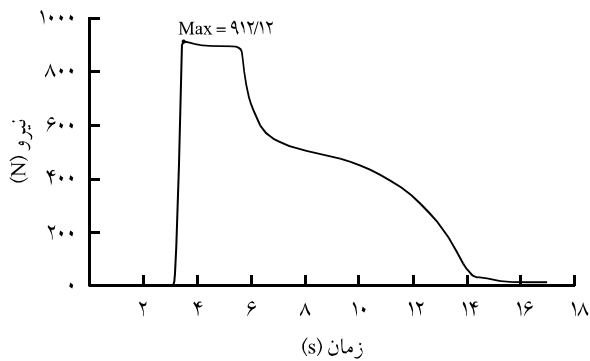
شکل ۵- نوسانات در حداکثر نیروی اعمال شده از مذاب به حس گر.

جدول ۲ - نتایج به دست آمده از اندازه گیری نوسانات فرایندی طبق تنظیمات مبنا.

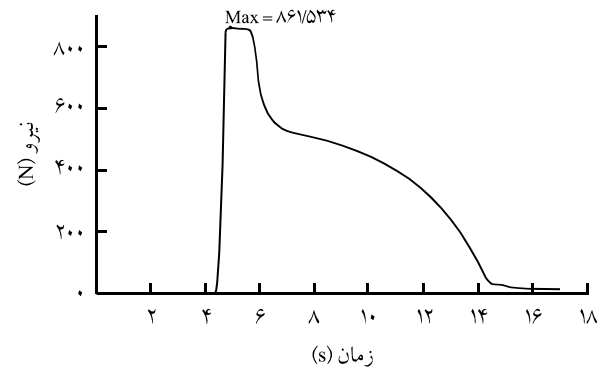
شماره آزمون	L (mm)	Integral (N.s)	$F_{max}$ (N)	$T_{Fmax}$ (s)
۱	۱۶۲/۸۲	۵۱۶۶/۶	۸۸۷/۲۴	۳/۸۶
۲	۱۶۲/۸۳	۵۱۷۴/۳	۸۸۵/۴	۳/۸۷
۳	۱۶۲/۸۲	۵۲۲۷/۹	۸۸۳/۳	۳/۸۷
۴	۱۶۲/۸۲	۵۱۹۸/۲	۸۸۷/۲	۴/۱
۵	۱۶۲/۸۱	۵۲۲۳/۲	۸۷۶/۵	۴/۲۸
۶	۱۶۲/۷۷	۵۱۴۶/۹	۸۷۲/۶	۴/۲۴
۷	۱۶۲/۸۰	۵۱۱۵/۵	۸۷۴/۲	۴/۳۸
۸	۱۶۲/۷۷	۴۹۹۹	۸۶۱	۴/۷
۹	۱۶۲/۷۷	۴۹۸۲/۴	۸۵۸/۶۷	۴/۴۹
۱۰	۱۶۲/۷۷	۵۰۸۶/۹	۹۰۳/۵	۴/۳۴
۱۱	۱۶۲/۷۹	۵۰۵۵/۹۶	۸۵۶/۹	۴/۷۳
۱۲	۱۶۲/۷۹	۵۱۰۲/۴	۸۷۳	۴/۰
۱۳	۱۶۲/۸۱	۵۱۸۸	۸۹۲/۳	۴/۲
۱۴	۱۶۲/۸۱	۵۰۶۴	۸۶۷/۶	۴/۴
۱۵	۱۶۲/۸۱	۵۱۶۶/۶	۸۷۰/۴	۴/۴۶
۱۶	۱۶۲/۷۸	۵۰۴۴/۴	۸۵۹/۵	۴/۷۶
۱۷	۱۶۲/۸۰	۵۰۲۰/۲	۸۸۹/۴	۴/۷
۱۸	۱۶۲/۸۲	۵۱۲۵	۸۸۶	۴/۴۵
۱۹	۱۶۲/۸۱	۵۱۷۳	۸۷۵/۷	۴/۱۶
۲۰	۱۶۲/۸۱	۵۱۷۵/۴	۸۷۷/۹۸	۴/۰۳
۲۱	۱۶۲/۸۱	۵۰۶۳/۲	۸۶۰/۲	۴/۴۴
۲۲	۱۶۲/۸۲	۵۱۸۲/۲	۸۷۸/۷	۴/۳۳
۲۳	۱۶۲/۸۵	۵۱۹۵/۵	۸۶۳	۴/۳۶
۲۴	۱۶۲/۸۵	۵۱۲۱	۸۶۳/۶۶	۳/۹۹
۲۵	۱۶۲/۸۳	۵۱۰۷/۲	۸۷۶/۹۸	۴/۲۹
میانگین	۱۶۲/۸۰۷	۵۱۲۴/۲۰	۸۷۴/۵۱۷	۴/۲۹۷۲
میانه	۱۶۲/۸۱	۵۱۲۵	۸۷۴/۲	۴/۳۳
دامنه نوسانات	۰/۰۸	۲۴۵/۵	۴۶/۶	۰/۹
انحراف استاندارد	۰/۰۲۳	۶۹/۹۴	۱۲/۱۸	۰/۲۶۹۲
KS	۰/۹۷۸	۰/۸۳۹	۰/۶۶۸	۰/۴۶۴
P-Value	۰/۲۹۴	۰/۴۸۲	۰/۷۶۴	۰/۹۸۳

این نوسانات اندازه‌گیری شد. در این مرحله از آزمایش، منحنی نیرو - زمان برای هر قطعه طی قالب‌گیری قابل مشاهده و مقایسه بود. ولی، اندازه‌گیری ابعاد آن باید پس از گذشت ساعت‌ها از عملیات قالب‌گیری و پس از انجماد کامل محصول انجام شود. بنابراین، با به کارگیری روش اندازه‌گیری فشار مذاب در محفظه قالب این امکان وجود دارد که دقیقاً در لحظه قالب‌گیری درباره نوسانات احتمالی در ابعاد نهایی قطعات

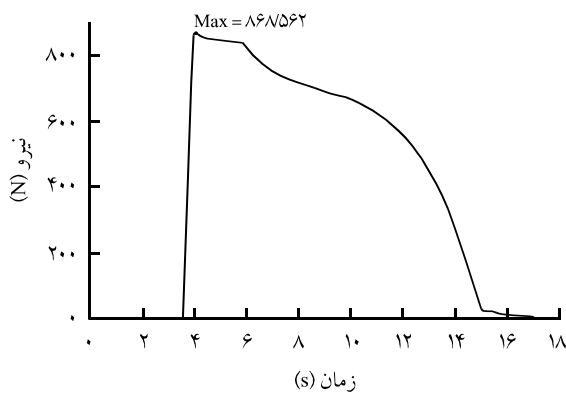
توزیع نرمال است. شکل ۳، نوسانات در اندازه طول قطعه‌ها و شکل‌های ۴ و ۵، نوسانات در داده‌های به دست آمده از منحنی نیرو - زمان طی چرخه‌های متوالی قالب‌گیری را برای ۲۵ عدد نمونه تولید شده طبق تنظیمات مبنا نشان می‌دهند. با بررسی نتایج مشخص شد که نوسانات در شرایط ابعادی قطعه و هم‌چنین نوسانات در سه مشخصه مورد نظر از پروفیل نیرو - زمان با تنظیمات مبنا وجود دارد و مقادیر دقیق



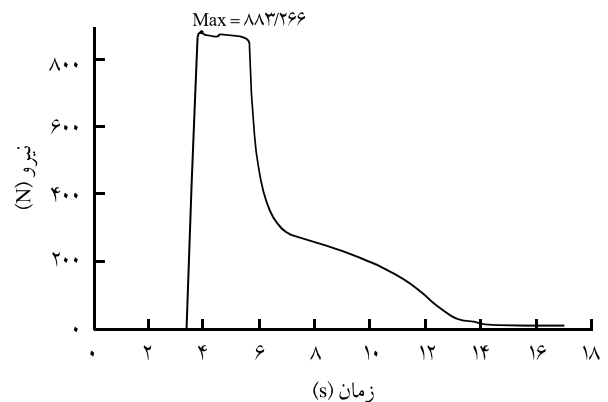
(ب)



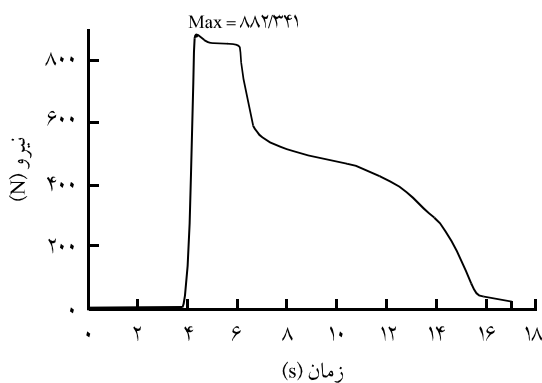
(الف)



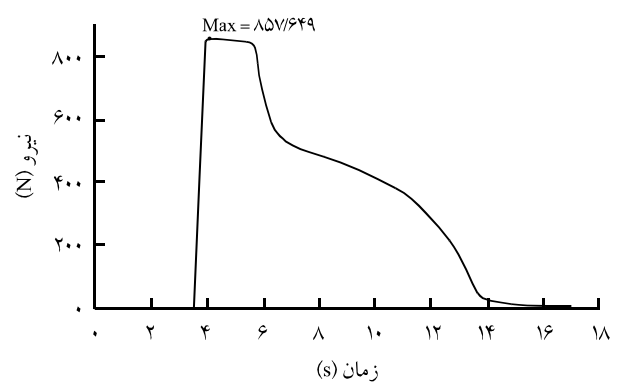
(د)



(ج)

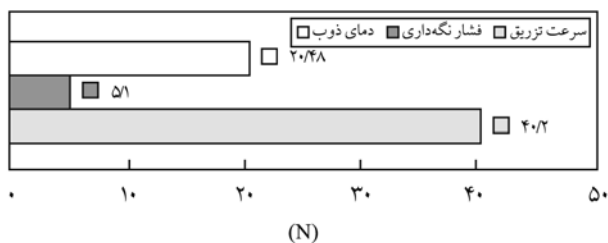


(ه)



(و)

شکل ۶ - اثر متغیرهای مختلف قالب‌گیری بر منحنی نیرو - زمان.

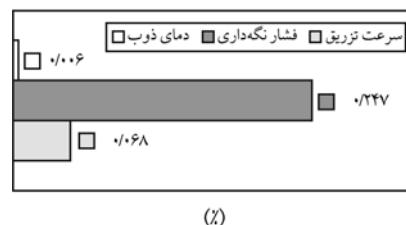


شکل ۹- اثر پارامترهای تنظیمی مختلف بر حداکثر نیروی اعمال شده از مذاب به حس‌گر.

نگه‌داری و سرعت تزریق بر مقدار انقباض محصول و در نتیجه طول نهایی محصول اثر قابل توجهی می‌گذارد (شکل ۷). افزون بر این، پارامتر فشار نگه‌داری بیشترین اثر را بر شاخص سطح زیر پروفیل نیرو-زمان (شکل ۸) و پارامتر سرعت تزریق بیشترین اثر را بر شاخص حداکثر مقدار نیرو از پروفیل نیرو-زمان (شکل ۹) دارد. شکل‌های ۶ الف و ۶ ب نیز نشان می‌دهند که تغییر در سرعت تزریق منجر به تغییر قابل ملاحظه‌ای در زمان رسیدن به حداکثر نیرو در پروفیل نیرو-زمان می‌شود. نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که متغیرهای حداکثر نیرو، زمان رسیدن به حداکثر مقدار نیرو و هم‌چنین سطح زیر منحنی نیرو-زمان تحت تأثیر تغییرات در شرایط فرایندی قرار گرفته و مشخصه‌های مهمی برای به کارگیری در پیش‌بینی طول محصولات قالب‌گیری شده هستند.

### مدل‌سازی یک شبکه عصبی برای پیش‌بینی طول محصول با تنظیمات مبنا

جدول ۲، نتایج به دست آمده شامل طول محصول و مشخصه‌های منحنی نیرو-زمان از قالب‌گیری متوالی ۲۵ قطعه با تنظیمات مبنا را نشان می‌دهد. از داده‌های مندرج در جدول ۲ به منظور مدل‌سازی یک شبکه عصبی برای پیش‌بینی طول نهایی محصول استفاده شد. به طوری که نمونه‌های ۱ تا ۱۵ برای آموزش و نمونه‌های ۱۶ تا ۲۵ برای آزمون مدل شبکه عصبی به کار گرفته شدند. ورودی‌های مدل شبکه عصبی اطلاعاتی هستند که به کمک حس‌گر طی چرخه‌های متوالی قالب‌گیری به دست آمد و شامل سطح زیر منحنی نیرو-زمان، حداکثر نیروی وارده به حس‌گر درون قالب و زمان رسیدن به حداکثر مقدار نیرو است. خروجی مدل شبکه عصبی، طول محصول پس از گذشت ۲۴h از زمان قالب‌گیری است. در این پژوهش، از جعبه ابزار شبکه عصبی موجود در نرم‌افزار Matlab-R2006a برای طراحی و آموزش شبکه عصبی با ساختار ۱-۳-۳ استفاده شد. در مدل‌سازی این شبکه عصبی از تابع تبدیل خطی برای لایه‌های مخفی و خروجی استفاده شد. جدول ۴،



شکل ۷- اثر پارامترهای تنظیمی مختلف بر انقباض طولی محصول.

تولید شده قضاوت کرد و در صورت نیاز به طور هم‌زمان تغییرات لازم را در مقادیر پارامترهای تنظیمی فرایند قالب‌گیری اعمال کرد. بدیهی است، این امر در صورتی امکان‌پذیر است که بتوان ابعاد نهایی محصول را بر اساس مشخصه‌های منحنی نیرو-زمان پیش‌بینی کرد.

در مرحله دوم، مطابق جدول ۳ و شکل ۶، اثر تغییر در مقادیر پارامترهای سرعت تزریق، فشار نگه‌داری و دمای ذوب بر ابعاد و مشخصه‌های منحنی نیرو-زمان آزمایش شد. شکل‌های ۶ الف و ۶ ب نشان می‌دهند که افزایش سرعت تزریق منجر به افزایش حداکثر نیرو سطح زیر منحنی نیرو-زمان و کاهش در زمان رسیدن به حداکثر مقدار نیرو شده است. طبق شکل‌های ۶ ج و ۶ د، افزایش فشار نگه‌داری باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در سطح زیر منحنی نیرو-زمان می‌شود. مطابق شکل‌های ۶ ه و ۶ و، افزایش دمای مذاب منجر به افزایش سطح زیر منحنی نیرو-زمان، افزایش نیرو و افزایش مدت زمان رسیدن به حداکثر مقدار نیرو می‌شود. مقدار اثرگذاری متغیرهای مختلف قالب‌گیری بر میانگین انقباض محصول و مشخصه‌های منحنی نیرو-زمان در شکل‌های ۷ تا ۹، نشان داده شده است. به ترتیب درجه اثرگذاری، فشار نگه‌داری، سرعت تزریق و دمای مذاب بر انقباض محصول (شکل ۷)، فشار نگه‌داری، سرعت تزریق و دمای مذاب بر سطح زیر منحنی نیرو-زمان (شکل ۸) و سرعت تزریق، دمای مذاب و فشار نگه‌داری، بر حداکثر نیروی اعمال شده به حس‌گر (شکل ۹) اثر می‌گذارند. در هر مرحله از آزمایش اخیر، فقط مقدار یک پارامتر تغییر داده شد و اثر آن بر پروفیل فشار مذاب در قالب و هم‌چنین بر طول محصول معین شد. در این آزمایش مشخص شد که تغییرات در فشار



شکل ۸- اثر پارامترهای تنظیمی مختلف بر سطح زیر منحنی نیرو-زمان.

جدول ۳- اثر تغییرات در مقادیر پارامترهای تنظیمی بر مشخصه های منحنی نیرو - زمان و طول محصول.

شماره آزمون	دمای تزریق (°C)	سرعت تزریق (%)	فشار نگه داری (%)	L (mm)	Integral (N.s)	F <sub>max</sub> (N)	T <sub>Fmax</sub> (s)
کاهش سرعت تزریق							
۲-۱-۱	۱۹۰	۲۵	۲۵	۱۶۲/۸۴	۴۶۱۷۷	۸۶۱۵	۴/۹۱
۲-۱-۲				۱۶۲/۸۲	۴۹۲۲/۹	۸۹۵/۹	۴/۶۴
۲-۱-۳				۱۶۲/۸۲	۴۷۹۹/۶	۸۵۷/۶	۴/۹۲
میانگین				۱۶۲/۸۲۷	۴۷۷۸/۰۶۷	۸۷۱/۶۷	۴/۸۲
اختلاف	۰	-۱۰	۰	-۰/۰۰۳	-۳۴۶/۱۳۳	-۲/۸۵	۰/۵۲
افزایش سرعت تزریق							
۲-۲-۱	۱۹۰	۴۵	۲۵	۱۶۲/۹۹	۵۸۴۳/۱۷	۹۱۲/۱۲	۳/۴۷
۲-۲-۲				۱۶۲/۹۲	۵۷۰۶/۳۳	۹۱۴/۱۵	۳/۸۳
۲-۲-۳				۱۶۲/۹۱	۵۷۱۸/۴۴	۹۰۹/۳۴	۳/۸۸
میانگین				۱۶۲/۹۴	۵۷۵۵/۹۸۰	۹۱۷/۸۷	۳/۷۳
اختلاف	۰	+۱۰	۰	۰/۱۳۳	۶۳۱۷/۸	۳۷/۳۵	-۰/۵۷
کاهش فشار نگه داری							
۲-۳-۱	۱۹۰	۳۵	۱۵	۱۶۲/۶۳	۳۵۸۶/۴	۸۸۳/۲۷	۳/۸۶
۲-۳-۲				۱۶۲/۶۴	۳۵۰۸/۷	۸۸۷/۰	۳/۸۳
۲-۳-۳				۱۶۲/۶۲	۳۴۹۳/۹	۸۷۴/۹۴	۴/۱۶
میانگین				۱۶۲/۶۳	۳۵۲۹/۶۶	۸۸۱/۷۴	۳/۹۵
اختلاف	۰	۰	-۱۰	۰/۱۸	-۱۵۹۴/۵۴	۷/۲۲	-۰/۳۵
افزایش فشار نگه داری							
۲-۴-۱	۱۹۰	۳۵	۳۵	۱۶۳/۰۳	۷۱۳۶/۸	۸۶۸/۵۶	۴/۰۸
۲-۴-۲				۱۶۳/۰۴	۷۳۹۰	۸۹۰	۳/۸۱
۲-۴-۳				۱۶۳/۰۶	۷۴۶۲/۶	۹۰۱/۹۵	۳/۸۳
میانگین				۱۶۳/۰۴	۷۳۲۹/۸۰	۸۸۶/۸۴	۳/۹۰
اختلاف	۰	۰	+۱۰	۰/۲۳	۲۲۰۵/۶	۱۲/۳۲	-۰/۴۰
کاهش دمای تزریق							
۲-۵-۱	۱۸۰	۳۵	۲۵	۱۶۲/۷۶	۴۹۳۹/۷	۸۵۷/۶۵	۴/۰۹
۲-۵-۲				۱۶۲/۷۳	۴۹۲۱/۴۵	۸۵۶/۱۷	۳/۹۱
۲-۵-۳				۱۶۲/۷۳	۴۹۷۲/۷	۸۵۸/۷۶	۴/۱۴
میانگین				۱۶۲/۷۴	۴۹۴۴/۶۲	۸۵۷/۵۳	۴/۰۵
اختلاف	-۱۰	۰	۰	-۰/۰۶۷	-۱۷۹/۵۸	-۱۶/۹۹	-۰/۲۵
افزایش دمای تزریق							
۲-۶-۱	۲۰۰	۳۵	۲۵	۱۶۲/۷۶	۵۸۴۹/۶	۸۸۲/۳۴	۴/۳۵
۲-۶-۲				۱۶۲/۷۴	۵۷۳۳/۶	۸۷۶/۹۸	۴/۳۶
۲-۶-۳				۱۶۲/۷۱	۵۷۰۳	۸۷۴/۷	۴/۳۷
میانگین				۱۶۲/۷۳	۵۷۶۲/۰۷	۸۷۸/۰۱	۴/۳۶
اختلاف	+۱۰	۰	۰	-۰/۰۷	۶۳۷/۸۷	۳/۴۹	۰/۰۶

جدول ۴ - جزئیات مربوط به مدل شبکه عصبی و الگوریتم LEARNGDM-TRAINLM.

فاکتورهای وزنی		بایاس		میانگین مربع	تعداد اپوچ
لایه دوم	لایه اول	لایه دوم	لایه اول	خطا (MSE)	(epoch)
[۰/۵۸۰۷، ۰/۵۰۸۰۸، ۰/۹۱۳۱۲]	-۰/۶۴۵۶، ۰/۵۹۳۵۲، ۰/۴۲۰۵۹، -۰/۳۵۵۴۵	[۲/۵۷۹۹]	[۱۲/۶۱۶، ۰/۴۵۳۶۲، ۰/۹۳۹۶۲]	۰/۰۰۰۱۶۰۴۸	۲۶۲
	-۰/۰۶۵۱۱۵، ۰/۰۴۹۸۱۱، -۰/۷۱۴۳۵، ۰/۸۵۵۴۶				
	[۰/۱۴۲۱۴،				

انجام آزمایش ها ، به منظور فراهم سازی نمونه های مورد نیاز برای آموزش مدل شبکه عصبی ، اهمیت زیادی دارد و به طور مستقیم بر کارایی مدل شبکه عصبی اثر می گذارد.

### نتیجه گیری

آزمایش های انجام شده در این پژوهش نشان داد که در فرایند قالب گیری تزریقی قطعات پلاستیکی، نوسانات در شرایط ابعادی محصول و هم چنین نوسانات در فشار مذاب درون قالب وجود دارد. اثر متغیرهای قالب گیری شامل سرعت تزریق، فشار نگه داری و دمای مذاب بر پروفیل فشار مذاب در محفظه قالب و ابعاد محصول آزمایش و مشخص شد که سه متغیر حداکثر فشار مذاب در قالب، زمان رسیدن به حداکثر مقدار فشار و سطح زیر منحنی فشار - زمان را می توان به عنوان مهم ترین مؤلفه ها در پیش بینی ابعاد محصول در نظر گرفت. در این پژوهش، شبکه ای عصبی با ساختار ۳-۳-۱ برای پیش بینی در مسیر طول قطعه های قالب گیری شده مدل سازی شد. با استفاده از شبکه عصبی مورد نظر، طول محصول با حداکثر خطای ۰/۰۳۹ mm پیش بینی شد.

### مراجع

1. Tuncay E. and Babur O., Minimization of Warpage and Sink Index in Injection Molded Thermoplastic Parts Using Taguchi Optimization Method, *J. Mater. Design*, **27**, 853-861, 2006.
2. Yung-Kuang Y. and Jie-Ren S., Optimization of Injection Molding Process for Contour Distortions of Polypropylene Composite Components via Design of Experiments Method, *J. Reinforc. Plast. Compos.*, **25**, 1585-1599, 2006.
3. Gordan M.J., *Total Quality Process Control for Injection Mold-*
- ing, SPE-Hanser, 350, 1992.
4. Oswald T. A., *Injection Molding Handbook*, Carl Hanser, 336-337, 2002.
5. Ming-Shyan H., Cavity Pressure Based Grey Prediction of the Filling-to-Packing Switchover Point for Injection Molding, *J. Mater. Proc. Technol.*, **183**, 419-424, 2007.
6. Zollner O., *The Fundamental of Shrinkage of Thermoplastics*, Bayer, ATI1120, Germany, 2001.



7. Wu J.L., Chen S.J. and Malloy R., Development of an On-Line Cavity Pressure-based Expert System for Injection Molding Process, *ANTEC*, 444-449, 1991.
8. Postawa P. and Koszkuł J., Change in Injection Moulded Parts Shrinkage and Weight as a Function of Processing Conditions, *J. Mater. Proc. Technol.*, **162**, 109-115, 2005.
9. Min B.H., A Study on Quality Monitoring of Injection-molded Parts, *J. Mater. Proc. Technol.*, **136**, 1-6, 2003.
10. Kim J.G., Shin I. and Han W.H., Injection Molded Part Quality Prediction Using a New Method of Analysis, *J. Inject. Mold. Technol.*, **4**, 201-209, 2000.
11. Xi C. and Furong G., A Study of Packing Profile on Injection Molded Part Quality, *J. Mater. Sci. Eng.*, **A358**, 205-213, 2003.
12. Petrova T. and Kazmer D., Incorporation of Phenomenological Models in a Hybrid Neural Network for Quality Control of Injection Molding, *J. Polym. Plast. Eng.*, **38**, 1-18, 1999.