

اندازه‌گیری و مدل‌سازی سرعت صوت در الکل‌های خالص

سارا سلطانی

کارشناسی ارشد مهندسی شیمی،
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
s.soltani92@yahoo.com

کامیار موقرنژاد*

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی شیمی،
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
k-movaghar@nit.ac.ir

امیرحسین تقی‌پور

دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشگاه
صنعتی نوشیروانی بابل
A.H.taghipour@stu.nit.ac.ir

تاریخ دریافت: 1396/03/23

تاریخ پذیرش: 1397/07/22

چکیده

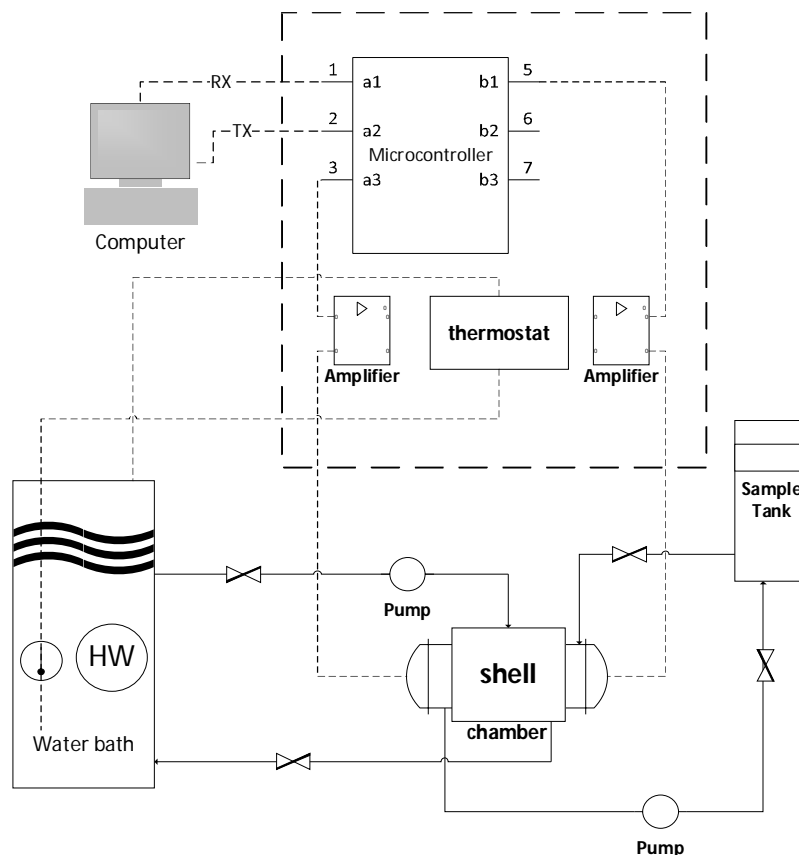
در این پژوهش سرعت صوت الکل‌های خالص به دو روش تجربی و نظری مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا در روش تجربی با استفاده از دستگاهی که بر مبنای روش پالس-اکو کار می‌کند، سرعت صوت الکل‌های خالص اندازه‌گیری شد. سپس با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه پیش‌بینی شده است. پنتانول، هگزانول، هپتانول، اوکتانول، نونانول و دکانول از جمله موادی بودند که سرعت صوت آن‌ها در دماهای مختلف و فشار اتمسفریک اندازه‌گیری شد. به منظور استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دما، فشار، تعداد کربن و گروه‌های ساختاری مواد به عنوان پارامترهای ورودی و سرعت صوت الکل‌های ذکر شده به عنوان تنها پارامتر خروجی شبکه در نظر گرفته شده است. در این مدل‌سازی به‌طور کلی مقدار خطای نسبی مطلق برای نرون بهینه 0/05963 به‌دست آمد.

واژگان کلیدی: روش پالس-اکو، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، سرعت صوت، خطای نسبی مطلق.

1. مقدمه

سرعت صوت فاصله‌ای است که یک موج صوتی در مدت زمان یک ثانیه در سیال می‌پیماید. سرعت صوت مشخص می‌کند که این موج در بازه مشخصی از زمان چه مسافتی را طی می‌کند. این پارامتر در مایعات مستقیماً به برخی خواص آن مانند جرم حجمی [1] و گرانی و در گازها به ترکیبات و دمای آن گاز وابسته است [2]. سرعت صوت یک خاصیت مهم ترمودینامیکی است چراکه نماینده ساختار و حالت مواد است و از این رو می‌توان با استفاده از مفاهیم ترمودینامیک

آن را به سایر خواص مرتبط کرد. بیشتر خواص ترمودینامیکی را می‌توان به‌طور مستقیم به‌دست آورد. اندازه‌گیری برخی خواص مانند ظرفیت حرارتی در شرایط عملیاتی فشار و دمای بالا مشکلات و هزینه‌های زیادی دارد. به همین منظور از پارامتر سرعت صوت به عنوان یک پارامتر واسطه استفاده می‌کنند تا بتوانند دیگر خواص را محاسبه کنند. این پارامتر کاربردهایی در زمینه‌های پزشکی، فراوری مواد غذایی، صنعت قطعات فلزی و خشک کردن دارد و به عنوان یک پارامتر تأثیرگذار در این صنایع به‌کار می‌رود [3-5].



شکل 1. شماتیک کلی دستگاه استفاده شده

نشده است. شماتیک کلی دستگاه استفاده شده در شکل 1 آمده است. همچنین با توجه به دقت سنسورهای استفاده شده، دقت اندازه‌گیری فاصله بین دو سنسور و دقت ترمومتر استفاده شده در این مطالعه عدم قطعیت نسبی دستگاه در محدوده 2 تا 6 درصد محاسبه شده است. با دانستن زمان پرواز (فاصله زمانی بین ارسال و دریافت پالس) و فاصله بین فرستنده و گیرنده امواج، سرعت صوت به راحتی محاسبه می‌شود. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش شامل حمام آب گرم، سیستم گردش مایع گرمکن، سلول نمونه، بدنه و اتصالات شامل شیرها و لوله‌ها است. همچنین از یک بخش الکترونیکی که شامل برد فرستنده و گیرنده، برد تغذیه، برد پردازشگر، مدار ارتباط سریال با کامپیوتر، کنترلر دما و برد پراگمر تشکیل شده است. برای توضیح بیشتر در مورد این دستگاه می‌توانید به مقاله دیگری از همین نویسندگان

2. روش اندازه‌گیری سرعت صوت

دستگاه استفاده شده در این مطالعه نمونه مشابه دستگاه استفاده شده در مطالعه قبلی ما است [6] و بر اساس کار آن استفاده از روش پالس - اکو می‌باشد، لازم به ذکر است روش‌های دیگری برای اندازه‌گیری سرعت صوت وجود دارد اما با توجه به مقالات ارائه شده در این زمینه روش استفاده شده در این مطالعه بیش از همه استفاده شده است. روش پالس - اکو به این صورت که ابتدا پالس‌هایی با فرکانس مشخص به کمک یک مبدل صوتی تولید می‌شود و پالس عبوری از سیال، که در یک محفظه قرار دارد، از سوی دیگر محفظه به کمک یک گیرنده امواج صوتی دریافت می‌شود. لازم به ذکر است که در مطالعات مختلف روش و دستگاه مشابهی استفاده شده و با توجه به سادگی و شناخته شده بودن این روش در مطالعات مذکور به استاندارد خاصی اشاره

جدول 3. داده‌های سرعت صوت هپتانول در فشار اتمسفریک

سرعت صوت (متر بر ثانیه)	دما (کلوین)
1676/007	304
1668/54	307
1664/85	309
1657/53	312
1653/91	314
1650/307	316
1643/18	319
1639/64	321
1636/139	324
1632/64	326
1629/17	328
1625/73	331
1622/31	334
1615/53	338
1612/18	340
1608/84	343
1605/52	345

جدول 4. داده‌های سرعت صوت اوکتانول در فشار اتمسفریک

سرعت صوت (متر بر ثانیه)	دما (کلوین)
1326/5	299
1323/07	303
1319/67	307
1317/99	311
1316/32	315
1314/64	319
1306/44	323
1303/21	327
1300/01	330
1296/85	334
1290/62	337

جدول 5. داده‌های سرعت صوت نونانول در فشار اتمسفریک

سرعت صوت (متر بر ثانیه)	دما (کلوین)
1676/01	300
1668/55	303
1664/855	305
1657/65	308
1650/314	312
1643/182	314
1639/649	316
1636/139	320
1632/652	324

مراجعه کنید [6]. مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های سرعت صوت در پنتانول، هگزانول، هپتانول، اوکتانول، نونانول و دکانول در جداول 1 تا 6 در ذیل آمده است. اندازه‌گیری‌ها در فشار اتمسفریک و در دماهای 20 تا 80 درجه سانتی‌گراد انجام شده است.

جدول 1. داده‌های سرعت صوت پنتانول در فشار اتمسفریک

سرعت صوت (متر بر ثانیه)	دما (کلوین)
1290/093	292
1281/3	294
1270/27	295
1241/087	299
1226/83	301
1212/90	303
1199/59	308
1186/26	313
1173/24	319
1160/49	324
951/89	328

جدول 2. داده‌های سرعت صوت هگزانول در فشار اتمسفریک

سرعت صوت (متر بر ثانیه)	دما (کلوین)
1333/475	300
1326/507	303
1323/076	306
1319/68	308
1312/99	311
1311/342	313
1309/701	315
1306/44	318
1303/21	320
1300/2	322
1296/858	324
1293/728	327
1290/629	329

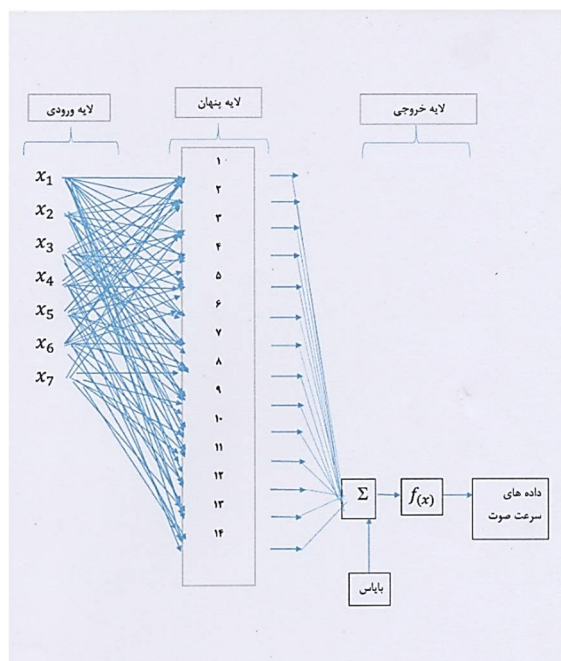
جدول 6. داده‌های سرعت صوت دکانول در فشار اتمسفریک

دما (کلوین)	سرعت صوت (متر بر ثانیه)
302	1787/02
305	1422/86
311	1420/63
313	1418/41
316	1409/66
322	1401/09
325	1366/68
327	1362/83
331	1360/92
333	1359/03
338	1355/26
341	1353/38

داده است. باید توجه داشت که تعداد نرون‌ها نباید از این مقدار بیشتر شود [12].

ورودی‌های شبکه عصبی شامل دما، فشار، تعداد کربن و تجزیه ساختمانی ترکیبات مورد بررسی به روش جوک که به روش گروه‌های ساختاری معروفند، می‌باشند و سرعت صوت تنها خروجی شبکه عصبی است. همچنین از تابع انتقال سیگموئیدی تانژانت هیپربولیک برای لایه میانی و تابع انتقال خطی برای لایه خروجی در این پژوهش استفاده کردیم.

شکل 2 زیر ساختار کلی شبکه عصبی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. ورودی‌های شبکه شامل $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ به ترتیب دما، فشار، تعداد کربن و گروه‌های ساختاری CH_3, CH_2, CH و OH می‌باشد. این شبکه می‌تواند برای پیش‌بینی سرعت صوت برای هر یک از الکل‌های مورد استفاده در این تحقیق و مواد مشابه به کار رود. تنها کافی است که مشخصات مورد نیاز شبکه شامل گروه‌های ساختاری، تعداد کربن و دما و فشار بدان داده شود.



شکل 2. شماتیک کلی شبکه عصبی استفاده شده

3. پیش‌بینی سرعت صوت با استفاده از شبکه

عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یک روش مدل‌سازی است که توانایی مدل کردن هر تعداد داده در هر شاخه از علوم مختلف را دارد. این سیستم برگرفته از سیستم یادگیری مغز انسان است. با توجه به اینکه شبکه‌های عصبی مصنوعی با طبیعی قابل مقایسه نیستند، اما می‌توانند در شناسایی گرایش‌های مختلف استفاده شوند [7]. شبکه عصبی مزایای زیادی دارد که از جمله آنها می‌توان به قابلیت یادگیری، قابلیت تحمل آسیب، سرعت بالا در پردازش داده و قابلیت تعمیم اشاره کرد [8-10]. هر شبکه عصبی پرسپترون چند لایه شامل لایه ورودی، لایه خروجی و لایه میانی است که تعداد نرون لایه میانی را می‌توان تغییر داد [11]. روشی که برای تعیین تعداد نرون‌ها در لایه پنهان در یک شبکه دو لایه وجود دارد به صورت زیر می‌باشد:

$$2(n_i + n) \leq n_1 \leq \frac{k(n_i + n_0) - n_0}{n_i + n_0 + 1} \quad (1)$$

در این معادله n_i تعداد داده ورودی، n_0 تعداد خروجی، n_1 تعداد نرون لایه میانی که قرار است بهینه شود و k تعداد

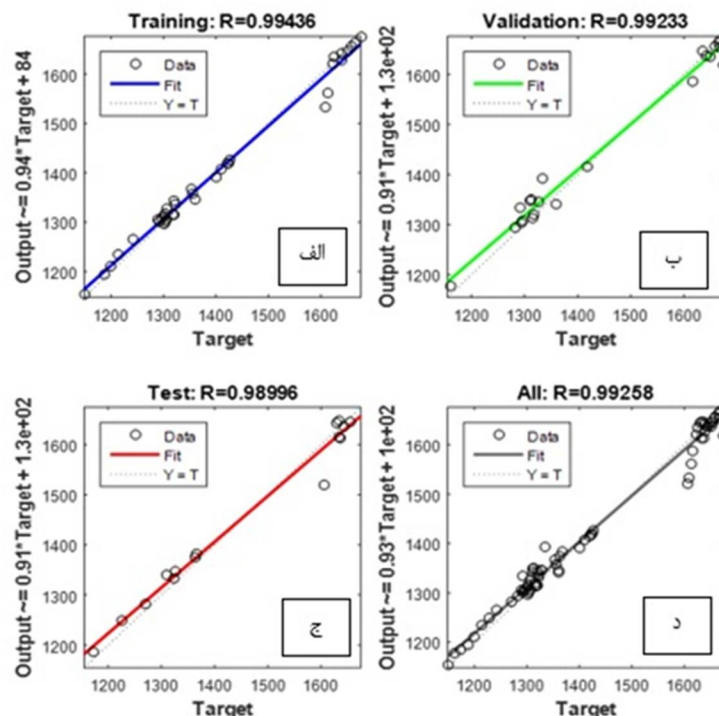
4. بحث و نتایج

در طراحی شبکه عصبی داده‌ها به‌طور تصادفی به سه دسته آموزش، اعتبار سنجی و آزمایش تقسیم‌بندی می‌شوند. 70 درصد برای آموزش، 15 درصد برای اعتبار سنجی و 15 درصد برای آزمایش به کار برده می‌شوند [13]. به همین ترتیب با توجه به معادله 1 از نرون 1 تا نرون 20 شبکه را اجرا نموده، نرونی که در آن خطا کمترین مقدار باشد، نرون بهینه است. جدول 7 مقادیر خطای مطلق در برابر تعداد نرون را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود برای مدل شبکه عصبی MLP، نرون 6 خطای کمتری را نسبت به سایر نرون‌ها دارد و به عنوان نرون بهینه در ساختار شبکه عصبی انتخاب می‌گردد. نمودار رگرسیون داده‌ها برای این نرون در جدول 7 آورده شده است. لازم به ذکر است در این شکل منظور از (Output و Target) همان پارامتر سرعت صوت (با واحدهای متر بر ثانیه) هستند.

جدول 7. پارامتر خطای نسبی مطلق¹ در برابر تعداد نرون

تعداد نرون	خطای نسبی مطلق
1	1/0507
2	1/6615
3	2/978
4	2/9869
5	1/0999
6	0/05963
7	0/3254
8	0/1958
9	1/6409
10	1/999
11	0/3807
12	1/7078
13	0/2195
14	1/2581
15	1/5934
16	0/7081
17	0/3008
18	0/5308
19	0/4984
20	1/0969



شکل 3. ضریب رگرسیون مربوط به (الف) داده‌های استفاده شده در بخش Training، (ب) داده‌های استفاده شده در بخش Validation (ج) داده‌های مربوط به بخش Test و (د) کل داده‌ها

الکل‌های خالص با افزایش دما سرعت صوت کاهش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بعضی الکل‌ها مانند دکانول و پنتانول تغییر ناگهانی در مقدار داده سرعت صوت رخ می‌دهد. این تغییرات برای پنتانول در دمای 325 و برای دکانول در دمای 300 درجه کلون می‌باشد. دلیل قاطعی نمی‌توان برای این انحرافات بیان کرد، اما می‌توان آن‌ها را ناشی از نویزهای لحظه‌ای و شرایط آزمایشگاهی دانست. اما به‌طور کلی تعداد این داده‌های انحرافی در مقایسه با مقادیر صحیح بسیار کم بوده و می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.

ضریب رگرسیون یکی از پارامترهایی است که برای تشخیص عملکرد شبکه به کار می‌رود. به‌طور کلی هر چه ضریب رگرسیون به عدد 1 نزدیک‌تر باشد و داده‌ها هم‌پوشانی خوبی با خط 45 درجه داشته باشند، عملکرد شبکه عصبی بهتر است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود داده‌ها در همه قسمت‌ها هم‌پوشانی دارند اما در بعضی قسمت‌ها هم‌پوشانی کمتری مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده خطا است. با توجه به داده‌های سرعت صوت که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد نتیجه می‌گیریم که در همه

5. مآخذ

- [1] González, Begoña, Ángeles Domínguez, and Jose Tojo. "Viscosity, density, and speed of sound of methylcyclopentane with primary and secondary alcohols at T= (293.15, 298.15, and 303.15) K." *The Journal of Chemical Thermodynamics*, Vol.38, No.10, 2006, pp.1172-1185.
- [2] Dávila, María J., Holger Gedanitz, and Roland Span. "Speed of sound in saturated aliphatic alcohols (propan-2-ol, butan-2-ol, and 2-methylpropan-1-ol) and alkanediols (ethane-1, 2-diol, propane-1, 2-and-1, 3-diol) at temperature between 253.15 K and 353.15 K and pressures up to 30MPa." *The Journal of Chemical Thermodynamics*, Vol.101, 2016, pp.199-206.
- [3] Crocker, Malcolm J. *Handbook of acoustics*. John Wiley & Sons, 1998.
- [4] Sung, C. C., Y. L. Tseng, Y. F. Chiang, and C. Y. Chen. "Evaluation of ultrasonic sensing of methanol concentration for direct methanol fuel cell." *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol.161, No.1-2, 2010, pp.101-107.
- [5] Santacatalina, J. V., M. Contreras, S. Simal, J. A. Cárcel, and José Vicente Garcia-Perez. "Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple." *Ultrasonics sonochemistry*, Vol.28, 2016, pp.100-109.
- [6] موقرنژاد، ک، تقی‌پور، ا. ح، "ارائه یک روش فرکانس پایین و دستگاه مربوطه به منظور اندازه‌گیری سرعت صوت در مایعات"، نشریه صوت و ارتعاش، 1397، شماره 13، دوره 7، صفحه 33-38.
- [7] Ayob, Mohd Zaki, and E. D. Chesmore. "Probabilistic Neural Network for the Automated Identification of the Harlequin Ladybird (*Harmonia Axyridis*)." In *International Workshop on Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence*, pp. 25-35. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [8] Haken, Hermann. "The Standard Model of Synergetics for Pattern Recognition." In *Synergetic Computers and Cognition: A Top-Down Approach to Neural Nets*, H. Haken, Editor, pp. 36-50. Springer, Berlin, Heidelberg, 1991.
- [9] Demuth, Howard, Mark Beale, and Martin Hagan. "Neural network toolbox™ 6." *User's guide*, Vol.10, 2008, p.11.
- [10] Dixon, Matthew, Diego Klabjan, and Jin Hoon Bang. "Classification-based financial markets prediction using deep neural networks." *Algorithmic Finance Preprint*, 2016, pp.1-11.
- [11] Rosenblatt, Frank. *Principles of neurodynamics. Perceptrons and the theory of brain mechanisms*, No.VG-1196-G-8. CORNELL AERONAUTICAL LAB INC BUFFALO NY, 1961.
- [12] Jain, Anil K., Jianchang Mao, and K. Moidin Mohiuddin. "Artificial neural networks: A tutorial." *Computer*, Vol.29, No.3, 1996, pp.31-44.

[13] Lippmann, Richard. "An introduction to computing with neural nets." *IEEE Assp magazine*, Vol.4, No.2, 1987, pp.4-22.

پی نوشت:

1.Absolute Relative Deviation