

Research Article



DOI: 10.22034/ijche.2021.263710.1082



DOR: 20.1001.1.17355400.1400.20.117.2.9

Investigation the Experimental Method and Modeling for Drying of Parsley Bulk by Using Artificial Neural Network

M. Hashemi¹, H. Masoumi², B. Abbasi Souraky³, H. Ghanad Zadeh Gilani^{4*}

1- M. Sc. Student of Chemical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

2- Ph. D. Student of Chemical Engineering, University Of Guilan

3- Associate Professor of Chemical Engineering, University Of Guilan

4- Professor of Chemical Engineering, University Of Guilan

Email: hggilani@gmail.com

Abstract

In this study, the single-leaf of parsley and also bulk of particles at temperatures of 46, 58, and 68°C and the thickness of 0.13 to 0.17 mm and the period from 0 to 140 minutes in a laboratory fixed bed dryer dried. Also, the single leaf of parsley and the mass dried in the sun. To dry the parsley in the dryer, five samples were considered for each temperature and the weight of samples during the drying process is continuously recorded until changes in the volume of samples to zero. Then the influence of parameters such as the temperature of the drying rate is examined. Equilibrium time and humidity were observed to be 140 minutes and 0.0003, respectively. Also, the process kinetics curve shows that more drying occurs in the descending phase due to the low external resistance to mass and heat transfer. In studying the effect of temperature, it was observed that with increasing temperature from 46 to 68 °C parsley reaches equilibrium humidity with a greater slope. Then drying process of a single leaf, and parsley mass, using feed-forward neural networks and leading, was modeled and the results of the neural network with the results obtained from experimental data were compared. The best result by a feed-forward neural network for single-leaf parsley with Levenberg - Marquardt algorithm, and 13 neurons and the coefficient of determination 0.9987 and parsley mass with nine neurons optimized and coefficient 0.9993 obtained which demonstrates the high accuracy of the artificial neural network.

Received: 25 December 2020

Accepted: 2 March 2021

Page Number: 23-35

Keywords:

Tray Dryers,
Drying Parsley,
Back Propagation,
Neural Network,
Levenberg–Marquardt
Algorithm

Please Cite this Article Using:

Ghanad Zadeh Gilani, H., Abbasi Souraky, B., Masoumi, H., Hashemi, M., "Investigation the Experimental Method and Modeling for Drying of Parsley Bulk by Using Artificial Neural Network", Iranian Chemical Engineering Journal, Vol. 20, No. 117, pp. 23-35, In Persian, (2021).

بررسی تجربی و مدل سازی خشک کردن گیاه جعفری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

سیده مریم هاشمی^۱، حدیثه معصومی^۲، بهروز عباسی سورکی^۳، حسین قنادزاده گیلانی^{۴*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، دانشکده فنی، قزوین، ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشگاه گیلان

۳- دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه گیلان

۴- استاد مهندسی شیمی، دانشگاه گیلان

پیام نگار: hggilani@gmail.com

چکیده

در این تحقیق، گیاه جعفری به صورت منفرد و توده‌ای، در دماهای ۴۶، ۵۸ و ۶۸ درجه سلسیوس و در ضخامت‌های ۰/۱۳ تا ۰/۱۷ میلی‌متر و بازه زمانی ۰ تا ۱۴۰ دقیقه در یک خشک‌کن سینی‌دار آزمایشگاهی خشک شد. نیز، تأثیر عواملی مانند دما و زمان بر نرخ خشک شدن بررسی شد. زمان و رطوبت تعادلی به ترتیب ۱۴۰ دقیقه و ۰/۰۰۳ مشاهده شد. هم‌چنین، منحنی جنبش‌شناسی فرایند نشان می‌دهد که خشک شدن بیشتر در مرحله نزولی اتفاق می‌افتد که به دلیل پایین بودن مقاومت خارجی در مقابل انتقال جرم و حرارت است. در مطالعه اثر دما، مشاهده شد که با افزایش دما از ۴۶ به ۶۸ درجه سلسیوس، گیاه جعفری با شیب بیشتر به رطوبت تعادلی می‌رسد. سپس، فرایند خشک شدن تک‌برگ و توده جعفری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌خور و پیش‌رو مدل سازی شد و داده‌های مدل با داده‌های تجربی مقایسه شدند، که مناسب‌ترین نتیجه به وسیله شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور برای تک‌برگ جعفری، با الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت و ۱۳ نرون و ضریب تبیین ۰/۹۹۸۷ و برای توده جعفری با ۹ نرون بهینه و ضریب تبیین ۰/۹۹۹۳ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲

شماره صفحات: ۲۳ تا ۳۵

کلیدواژه‌ها:

خشک‌کن سینی‌دار،

خشک کردن جعفری،

شبکه عصبی پس‌انتشار،

الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت

* رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی

استناد به مقاله:

قنادزاده گیلانی، ح.، عباسی سورکی، ب.، معصومی، ح.، هاشمی، س. م.، "بررسی تجربی و مدل سازی خشک کردن گیاه جعفری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، نشریه مهندسی شیمی ایران، سال بیستم، شماره ۱۱۷، صص. ۲۳-۳۵، (۱۴۰۰).

گیاه جعفری که به انگلیسی (Parsley) و نام علمی آن *Mill (Petroselinum Crispum)* است، در گروه چتریان *Apiaceae (Umbelliferae)* قرار می‌گیرد. این گیاه از ۲۰۰۰ سال پیش به صورت خودرو در نواحی نزدیک به دریای مدیترانه می‌رویند و از این نواحی به بقیه کشورهای صادر می‌شوند. جعفری گیاه دو ساله است که در مراحل نخست رویش، برگ‌های سبز دارد و به‌عنوان سبزی استفاده می‌شود. برگ‌های این گیاه سرشار از مواد مهمی مانند کلسیم، آهن، فسفر و ویتامین‌های A، B₁ و C و به‌مقدار زیادی دارای روغن فرار اتری مانند آپیول^۱ و مریستیسین^۲ است؛ به همین منظور از جعفری برای رایحه‌دار کردن به‌کار می‌رود. جعفری به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم کاشته می‌شود. در روش مستقیم خطی و ماشینی، دانه این گیاه بر خطوطی به فاصله ۴۰ سانتی‌متر قرار می‌گیرد. فاصله جعفری تا داخل خاک ۶ تا ۸ میلی‌متر است، در برخی از مناطق پیشرفته، باغبان دانه این گیاه را بر نواحی کم‌ارتفاع می‌کارد و به‌صورت نشتی یا بارانی آبیاری می‌کند. برداشت این گیاه به‌کمک ابزارهای مناسب تیز انجام می‌شود، به‌طور معمول بخش‌های بالایی را از بالای جوانه انتهایی، دو سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک بریده، بعد از جداکردن علف‌های هرز و برگ‌های آلوده به بیماری، شسته و خشک کرده، آنگاه در قسمت‌های ۲۵۰ گرمی بسته‌بندی و به بازار عرضه می‌کنند [۱].

خشک کردن سبزیجات روشی برای افزایش ماندگاری آن‌هاست؛ برخلاف سبزیجات تر که برای مدت کم و در شرایط ویژه قرار داده می‌شوند، محصولات خشک‌شده را می‌توان برای زمان‌های بیشتر بدون از بین رفتن مواد ارزشمند حفظ کرد. به‌علاوه، گیاهان خشک‌شده به‌علت جرم توده کم به‌آسانی منتقل می‌شوند. گاهی اوقات، این فرایند باعث کاهش قابل توجه حجم و در نتیجه باعث کاهش فضای مورد نیاز برای نگهداری می‌شود [۲].

هدف از ارائه مدل برای کاهش رطوبت تولیدات کشاورزی، تخمین چگونگی کاهش آب این تولیدات است [۳]. مدل‌های شبیه‌سازی، نقش مهمی در پیش‌بینی شرایط مناسب برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی ایفا می‌کنند [۴]. خشک‌کردن، قدیمی‌ترین روش برای ماندگاری و جلوگیری از پوسیدگی مواد غذایی است؛

یکی از روش‌های قدیمی خشک‌کردن، خشک‌کردن در فضای باز به کمک خورشید است که برای سبزیجات، میوه‌ها و سایر محصولات کشاورزی استفاده می‌شود؛ اما این روش همواره برای تولید در مقیاس بزرگ مناسب نبوده و مشکلات بسیاری را در پی داشته است؛ از جمله: نداشتن توانایی کنترل کامل بر عملیات خشک‌کردن، طولانی‌بودن زمان خشک‌کردن، آب و هوای نامعلوم، هجوم حشرات و مخلوط‌شدن با گرد و غبار و سایر مواد خارجی. اما امروزه، فرایند خشک‌کردن صنعتی این مشکلات را برطرف کرده است [۵]. در طی عمل خشک‌کردن مواد، که فرایندی پیچیده است، انتقال گرما و مواد در یک زمان در درون و روی جسم خشک‌شونده انجام می‌گیرد. معمولاً، شرایط بیرونی و ساختار درونی اجسامی که خشک می‌گردند، اثر قابل ملاحظه‌ای در روند کاهش رطوبت دارند [۶]. نرخ کاهش رطوبت وابسته به تغییرات مقادیر میانگین رطوبت و دمای جسم خشک‌شونده در هنگام این فرایند است. میزان کاهش رطوبت که بیان‌گر نوسان میزان رطوبت جسم با زمان است، تحت تأثیر عواملی از فرایند خشک‌شدن مانند دما، رطوبت و سرعت هواست. مقدار رطوبت مواد در فرایند خشک‌کردن و به‌ویژه رطوبت نهایی، یکی از عوامل بسیار مهم در فناوری خشک‌کردن است. کم خشک‌شدن مواد ممکن است باعث تشکیل کپک، رشد باکتری‌ها و کلوخه‌شدن ذرات شود و بیش از حد خشک‌کردن، ممکن است باعث تخریب کیفیت مواد و مصرف زیاد انرژی شود [۷]. در فرایند خشک‌کردن، آب از درون مواد غذایی با نفوذ به سطح مواد منتقل می‌شود و از آن‌جا با جابه‌جایی به جریان هوا منتقل می‌شود. خشک‌کردن به‌عنوان یک فرایند هم‌زمان جرم و حرارت برای کم‌کردن رطوبت ماده تعریف می‌شود [۸].

محققان بسیاری در زمینه خشک‌کردن مواد از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کرده‌اند، از جمله دایماز و همکاران^۳، فرایند خشک‌کردن جعفری را در یک خشک‌کن آزمایشگاهی در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱/۱ متر بر ثانیه آزمایش کردند و در این تحقیق چهار مدل لایه نازک لوئیس^۴، هندرسون و پاییس^۵، نیملی و میدیلی^۶ در نظر گرفته شده است و ضریب نفوذ رطوبت از $10^{-10} \times 6.69$ تا $10^{-9} \times 1.43$ متر مربع بر ثانیه به دست

3. Doymaz et al.

4. Lewis

5. Henderson and Pibic

6. Nimli and Midilli

1. Apiol

2. Myristicine

آمده است. پس از انجام آزمایش‌ها، رنگ نمونه‌های جعفری پس از خشک‌شدن تغییر نکرده است و دمای بهینه خشک‌شدن ۶۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است [۹].

سویسال و همکاران^۱، پژوهشی در زمینه خشک‌کردن برگ جعفری، در مایکروویو^۲ انجام دادند. در این تحقیق، برگ‌های جعفری در یک دستگاه مایکروویو خانگی ۹۰۰ وات، ۲۴۵۰ مگاهرتز، خشک شدند. جریان مایکروویو به صورت ۹ ثانیه روشن، ۹ ثانیه خاموش، با توان خروجی ۹۰۰ وات مایکروویو انجام شد [۱۰]. مدل میدیلی^۳ و همکاران، با شدت خشک‌شدن به صورت یک تابع زمان خطی و لگاریتمی-لگاریتمی، نتایج موفقیت‌آمیزی را برای برگ‌های جعفری در بارگیری بین ۶۴۳۰ و ۱۲۸۵۷ گرم، نشان داد. تحقیقات آن‌ها نشان داد که افزایش بارگیری مواد از ۶۴۳۰ به ۱۲۸۵۷ گرم، باعث افزایش حدود ۹/۵٪ در بازده خشک‌کردن و حدود ۱۸٪ کاهش در مصرف انرژی می‌شود [۱۱]. کیرستی^۴ در سال ۱۹۹۹ به بررسی خشک‌شدن گیاه جعفری با استفاده از امواج مادون قرمز پرداخت [۱۲]. کایا و همکاران^۵ در سال ۲۰۰۹، خشک‌کردن انواع مختلف گیاهان را از جمله جعفری مطالعه کردند [۱۳]. آکپینار^۶ در سال ۲۰۱۱، به بررسی خشک‌کردن برگ‌های جعفری با استفاده از خشک‌کن خورشیدی پرداختند [۱۴]. نورای و بولنت^۷ در سال ۲۰۱۳ فرایند خشک‌شدن گیاه جعفری را با استفاده از خشک‌کن‌های همرفتی، مایکروویو و خلأ بررسی کردند [۱۵]. اسلدز و همکاران^۸ در سال ۲۰۱۵، خشک‌شدن برگ‌های جعفری را با استفاده از امواج فراصوت مطالعه کردند [۱۶]. یونس و همکاران^۹ در سال ۲۰۱۶، به بررسی خشک‌کردن گیاه جعفری با استفاده از مایکروویو پرداختند [۱۷]. دادان و همکاران^{۱۰} در سال ۲۰۱۸، از خشک‌کن ترکیبی مایکروویو-همرفتی تحت تأثیر امواج فراصوت برای خشک‌کردن برگ‌های جعفری استفاده کردند [۱۸]. آلیباس و همکاران^{۱۱} در سال ۲۰۱۹، خشک‌کردن برگ‌های جعفری را با استفاده از روش‌های طبیعی، خشک‌کن خورشیدی، همرفتی و

مایکروویو مقایسه کردند [۱۹]. ماریک و همکاران^{۱۲} در سال ۲۰۲۰، به بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی گیاه جعفری و سایر گیاهان در حین فرایند خشک‌شدن پرداختند [۲۰].

در تحقیق حاضر خشک‌کردن جعفری در یک دستگاه خشک‌کن سینی‌دار انجام گرفته است. سپس خشک‌کردن تک‌برگ جعفری با داده‌های به دست آمده از خشک‌کردن توده جعفری در یک خشک‌کن بستر ثابت مقایسه شد.

۲. مواد و روش‌ها

زمان کاشت جعفری در مناطق معتدل در بهار و اوایل پاییز تا اواسط پاییز و در مناطق معتدل سرد بعد از محو شدن یخ‌ها، از اواسط اردیبهشت تا پایان بهار است [۱]. برگ‌های جعفری از باغ‌های استان گیلان برداشت و نمونه‌ها انتخاب شد. با قراردادن نمونه‌های جعفری در خشک‌کن سینی‌دار خانگی مدل AL13000-E15، ساخت گروه صنعتی آماکو در ایران، تغییرات وزن آن‌ها در حین خشک‌کردن ثبت و داده‌های آزمایشگاهی به دست می‌آیند. در ابتدای آزمایش ضخامت نمونه‌ها به وسیله ریزسنج، اندازه‌گیری می‌شود، سپس وزن نمونه‌ها هر ۱۰ دقیقه یک‌بار با ترازوی دیجیتال با دقت ۰٫۰۰۰۱ اندازه‌گیری می‌شود. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که وزن نمونه‌ها ثابت شود.

در هر یک از شرایط، آزمایش بر روی ۴ نمونه انجام گرفته تا با محاسبه میانگین این ۴ نمونه، مقدار خطای آزمایش به حداقل برسد. مقدار P-Value پس از ۴ دفعه تکرار، ۰٫۰۲۴ تعیین شد. میزان رطوبت (مقدار رطوبت براساس ماده خشک) از راه معادله (۱) حساب می‌شود:

$$X = \frac{M_t - M_d}{M_d} \quad (1)$$

که در معادله (۱)، M_d وزن نمونه خشک‌شده (نهایی) و M_t وزن نمونه در هر لحظه از زمان است. بنابراین، میزان رطوبت برحسب کیلوگرم ماده خشک تعریف می‌شود. رطوبت نسبی^{۱۳} (MR) از معادله (۲) به دست می‌آید:

1. Soysal et al.
2. Microwave
3. Midilli
4. Kirsti
5. Kaya et al.
6. Akpinar
7. Nuray & Bulent
8. Sledz et al.
9. Younes
10. Dadan et al.
11. Alibas et al.

12. Maric et al.
13. Relative Moisture

بیشتری در خشک‌کردن برای ماده به‌صورت توده‌ای نسبت به حالت تک‌برگ را داراست؛ زیرا، در ماده به‌صورت توده‌ای، مقدار N عدد از یک ماده موجود است و انتقال حرارتی که به‌دلیل افزایش دما به مواد می‌رسد به مراتب بیشتر از نوع منفرد، جذب مواد شده، تأثیر بالاتری خواهد داشت.

۲-۲ منحنی جنبش‌شناسی فرایند

با توجه به شکل (۲)، در زمان ۰ تا ۱۰ دقیقه، ضمن گرم‌شدن ماده، رطوبت هم تبخیر می‌شود و نرخ تبخیر به تدریج تند می‌شود. بعد از ۱۰ دقیقه، سرعت خشک‌شدن (شیب خط) تغییر نمی‌کند. در این مرحله، نزول میزان رطوبت گیاه جعفری تا نقطه بحرانی ادامه دارد. در شکل (۷)، رطوبت بحرانی در زمان ۲۰ دقیقه و برابر با ۰٫۲ است. آنگاه، خط مستقیم تبدیل به منحنی می‌شود و به‌صورت مجانبی تا نقطه رطوبت تعادلی پیش می‌رود. رطوبت تعادلی در زمان ۱۴۰ دقیقه معادل با ۰٫۰۰۳ مشاهده شد. در فرایند خشک‌شدن، پس از مرحله اول (۰-۱۰ دقیقه)، مرحله دوم خشک‌شدن (۲۰-۳۰ دقیقه)، مرحله نرخ ثابت نامیده می‌شود. از نقطه بحرانی، مرحله سوم خشک‌شدن آغاز می‌شود، که به آن مرحله نرخ کاهشی گفته می‌شود. پس از این مرحله، گیاه جعفری با محیط خشک‌کن به تعادل رطوبتی و فرایند خشک‌شدن به اتمام می‌رسد.

۲-۳ طراحی شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

این شبکه، یک سامانه مدیریت داده‌هاست که خصوصیات یکسانی با سیستم‌های عصبی انسان دارد. تاریخچه شبکه‌های عصبی، ترکیبی از پیشرفت در تحقیقات آزمایشگاهی بر روی سیستم‌های عصبی طبیعی، مدل‌سازی کامپیوتری سیستم‌های عصبی طبیعی، ارائه مدل‌های ریاضی و کاربردهای آن‌ها برای مسائلی در زمینه‌های متعدد و ساخت سخت‌افزار این مدل‌هاست. یک نرون قادر است یک زمان، تنها یک سیگنال انتقال دهد و نیز، آن سیگنال قادر است به تعداد زیادی نرون دیگر منتقل شود. یک نرون با پیوندهای دارای جهت که هر کدام وزن‌های خاص دارند، به نرون‌های دیگر ملحق می‌شوند. این وزن‌ها، داده‌های استفاده شده به‌وسیله مدل به‌منظور حل مسأله را بیان می‌کند. هر نرون یک بخش داخلی دارد که سطح فعالیت گفته می‌شود که وابسته به داده‌های ورودی است [۲۳].

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

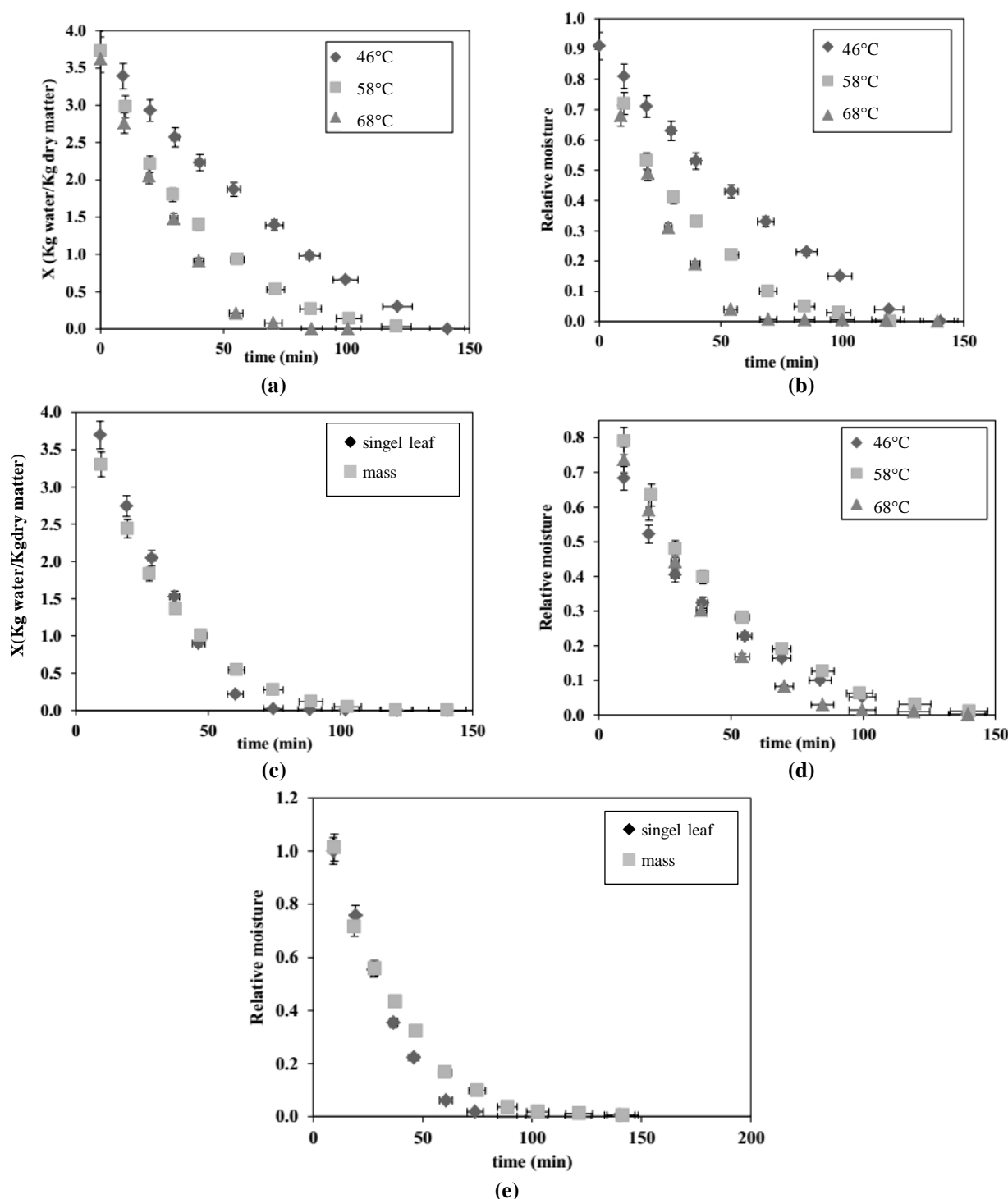
X میزان رطوبت که از معادله (۱) به‌دست می‌آید، و X_0 مقدار رطوبت ماده در ابتدای عمل خشک‌کردن (در لحظه صفر) و X_e میزان رطوبت تعادلی است و چون میزان رطوبت تعادلی در مقایسه با X و X_0 بسیار کوچک است، می‌توان از آن صرف نظر کرد و معادله به شکل زیر ساده خواهد شد [۲۱، ۲۲].

$$MR = \frac{X}{X_0} \quad (3)$$

۱-۲ اثر دما

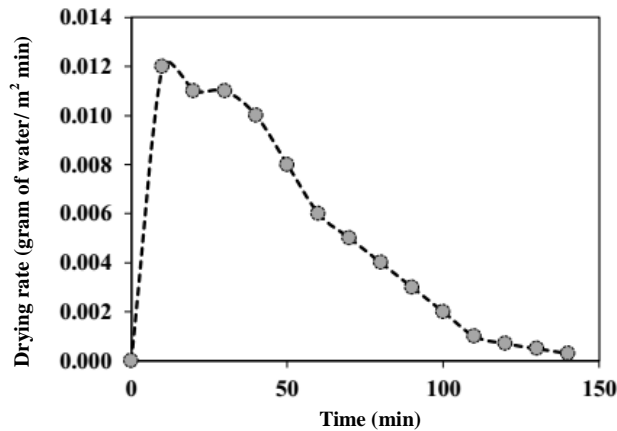
اثر متغیر دما بر روی فرایند خشک‌شدن بررسی شده است. در شکل‌های (۱) - a و (۱) - b ، به ترتیب نمودار رطوبت بر حسب زمان و نسبت رطوبت (MR) بر حسب زمان در سه دمای ۴۶، ۵۸ و ۶۸ درجه سلسیوس در خشک‌کن برای تک‌برگ گیاه جعفری، و شکل (۱) - c و (۱) - d برای توده گیاه جعفری نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، رطوبت با گذشت زمان به‌صورت پیوسته و نمایی کاهش می‌یابد و با افزایش دما، میزان کاهش رطوبت با شیب بیشتر اتفاق می‌افتد. با گذشت زمان در محدوده زمانی ۰ تا ۱۴۰ دقیقه، X کاهش می‌یابد و میزان MR (نسبت رطوبت) نیز کم می‌شود. همان‌طور که از شکل (۱) - e پیداست، خشک‌شدن یک برگ جعفری با استفاده از خشک‌کن سریع‌تر از توده خشک‌شده آن است و نسبت رطوبت کمتری دارد و این اختلاف نسبت رطوبت، به‌دلیل متغیر بودن رطوبت هوای محیط در هنگام خشک‌کردن توده بوده است [۲۱]. با توجه به شکل‌های شماره (۱)، خشک‌شدن گیاه جعفری در کل زمان فرایند به‌طور عمده در مرحله نزولی انجام می‌شود؛ زیرا نفوذ درونی رطوبت کنترل‌کننده نرخ خشک‌شدن و انتقال جرم است [۲۶]. به‌علاوه، این رفتار ممکن است به حالت تحریک مولکول‌ها نسبت داده شود. در دمای بالا، فعالیت مولکول‌ها افزایش می‌یابد، بنابراین افزایش فاصله بین مولکول‌ها منجر به کاهش نیروهای جاذبه بین آن‌ها می‌شود؛ در نتیجه، نیروهای پیوندی با افزایش دما، کاهش یافته، رطوبت کم‌تری در دماهای بالاتر در یک رطوبت نسبی ثابت، جذب می‌شود [۲۷]. با مقایسه شکل‌های (۱) - b و (۱) - d مشاهده می‌شود که، افزایش درجه حرارت تأثیر

1. Artificial Neural Network



شکل ۱. (a) تغییرات رطوبت در سه دمای ۴۶، ۵۸ و ۶۸ درجه سلسیوس برای تکبرگ جعفری (b) تغییرات نسبت رطوبت (بی بعد) در سه دمای ۴۶، ۵۸ و ۶۸ درجه سلسیوس برای تکبرگ جعفری (c) مقایسه تغییرات رطوبت (بی بعد) در تکبرگ و توده در دمای ۶۸ درجه سلسیوس (d) تغییرات نسبت رطوبت (بی بعد) در سه دمای ۴۶، ۵۸ و ۶۸ درجه سلسیوس برای توده جعفری (e) مقایسه نسبت رطوبت تکبرگ و توده در دمای ۶۸ درجه سلسیوس.

Figure 1. (a) Changes in humidity at three temperatures of 46, 58 and 68 degrees Celsius for single parsley (b) Changes in humidity ratio (dimensionless) at three temperatures 46, 58 and 68 degrees Celsius for single parsley (c) Comparison of changes moisture (dimensionless) in single leaf and mass at 68 degrees Celsius (d) Changes in moisture ratio (dimensionless) at three temperatures of 46, 58 and 68 degrees Celsius for parsley (e) Comparison of moisture ratio of single leaf and mass at temperature 68 degrees Celsius. (In Figures 1a, 1b, and 1d, the rhombus, square, and triangle symbols represent temperatures of 46, 58, and 68 degrees Celsius, respectively. In Figures 1c and 1e, the rhombus and square symbols represent singles and masses, respectively).



شکل ۲. نمودار نرخ خشک شدن جعفری بر حسب زمان.

Figure 2. Graph of parsley drying rate in terms of time.

$$Y_{in} = X_1 W_1 + X_2 W_2 + X_3 W_3 \quad (4)$$

در پایان خروجی شبکه به صورت بردار $Y=[y]^T$ خواهد بود که همان نسبت رطوبت است [۲۲].

متداول‌ترین توابع فعال‌سازی، تابع سیگموئید^۳ دودویی لجستیک^۴ و با دامنه تابع هایپربولیک^۵ سیگموئید است [۲۴].

$$F(X) = \frac{1}{1 + \exp(-X)} \quad (5)$$

معادله استفاده شده به منظور تنظیم وزن‌های مدل، روش لوبنرگ-مارگوارت^۶ است، که مدل را وادار می‌کند تا با دقت بالاتری مورد یادگیری قرار بگیرد. برای آغاز کار با شبکه لازم است، ابتدا داده‌ها را به دو دسته تقسیم کنیم. از میان ۱۶۵ داده، ۸۰٪ داده را برای آموزش به شبکه و ۲۰٪ داده‌ها را برای تست بر می‌گزینیم. از نرم‌افزار متلب (نسخه ۷/۱) استفاده شده است. برای طراحی و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی، از ضریب تبیین و معیار خطای مربعات میانگین و مجذور خطای مربعات میانگین که معادله آن‌ها به صورت زیر است استفاده می‌شود:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N - N_p} \quad (6)$$

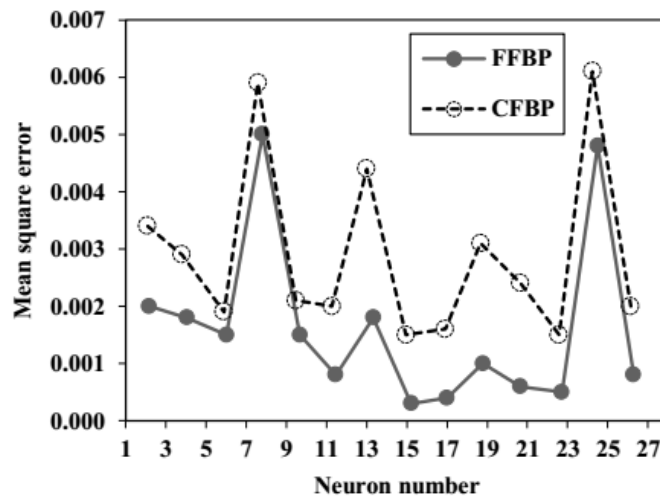
با در نظر گرفتن چهار عامل زمان، ضخامت، دما و رطوبت در تمام آزمایش‌های خشک‌کردن، نسبت رطوبت جعفری به دست می‌آید. شبکه‌ای که در این مقاله از آن استفاده شده، شبکه پس‌انتشار است، این شیوه همان شیوه کم‌کردن گرادیان^۱ به منظور کاهش تمام مربعات خطای خروجی به دست آمده از مدل است. به این شبکه چند بخشی که با شیوه پس‌انتشار خطا آموزش داده می‌شود شبکه پرسپترون^۲ چندلایه نیز گفته می‌شود. برخلاف بعضی از سامانه‌های دیگر، تابع فعال‌سازی به کار رفته در سامانه‌های پس‌انتشار قادر نیست هر تابعی باشد و باید تعدادی ویژگی قابل ملاحظه را دارا باشند. این تابع باید پیوسته، قابل مشتق‌گیری و به صورت کاهش‌ی باشد. آموزش یک مدل با پس‌انتشار دارای سه دوره است: پیش‌خور کردن الگوی آموزش ورودی، پس‌انتشار خطای مربوط و تنظیم وزن‌ها. مربعات خطای خروجی به دست آمده از مدل است. شبکه عصبی مصنوعی با ۴ نرون ورودی (زمان، ضخامت، دما، رطوبت) که با نماد $N(1,1)$ ، $N(1,2)$ ، $N(1,3)$ و $N(1,4)$ نشان داده می‌شود (شکل (۷)) و بعد از آن لایه پنهان (Z) و بعد لایه خروجی یک نرون (نسبت رطوبت) دارد، طراحی شده است. نرون‌های ورودی، چهار سیگنال ورودی (چهار متغیر زمان، سرعت، دما و رطوبت) را به شکل بردار $X = [x_1 x_2 x_3 x_4]^T$ دریافت می‌کنند که برابر با $x_1 = t$ و $x_4 = X$ و $x_3 = T$ و $x_2 = Z$ وزن‌های متناظر با نرون لایه اول با نماد $w_{i1}^{(1)}$ و $w_{i2}^{(1)}$ و $w_{i3}^{(1)}$ و $w_{i4}^{(1)}$ نشان داده می‌شوند و ورودی به لایه پنهان به صورت رابطه (۴) است:

3. Sigmoid Function
4. Logistic
5. Hyperbolic
6. Levenberg-Marquardt

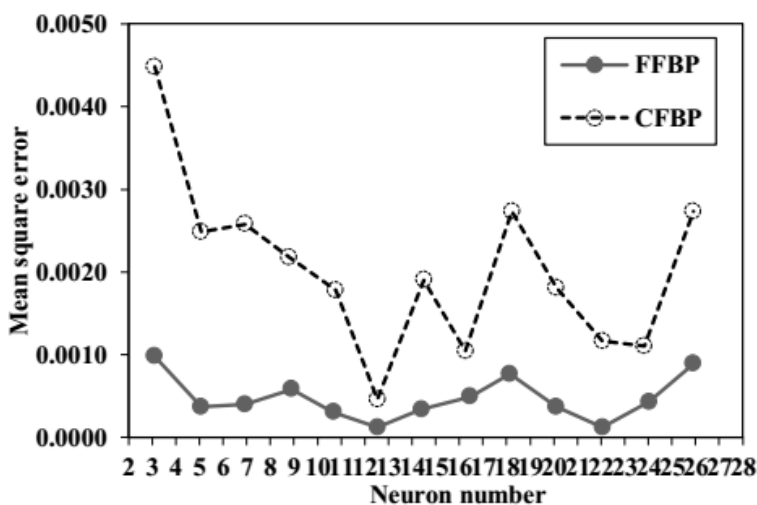
1. Gradient
2. Perceptron

که MSE خطای مربعات میانگین و $MR_{pre,i}$ نسبت رطوبت به‌دست آمده به‌وسیله مدل در نرون i ام و $MR_{exp,i}$ نسبت رطوبت تجربی (واقعی) در نرون i ام است و N تعداد الگوهای آموزشی و N_p تعداد نرون‌های خروجی است. شکل‌های (۳) و (۴)، به‌ترتیب تغییرات MSE برحسب تعداد نرون برای تک‌برگ و توده‌ای از گیاه جعفری را نشان می‌دهد [۲۲]. شبکه استفاده‌شده در این مقاله در شکل (۵) نشان داده شده است.

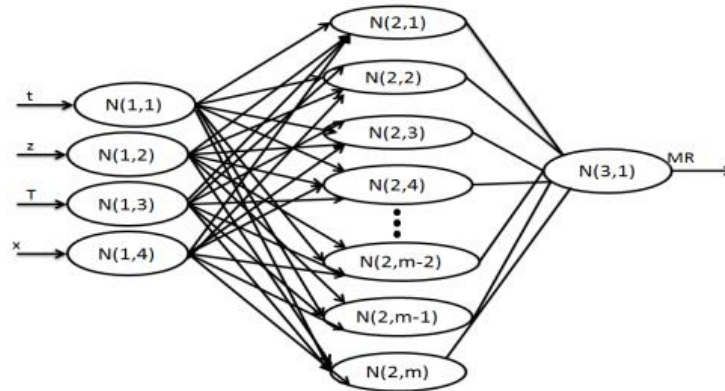
۲-۴ مقایسه کار حاضر با سایر پژوهش‌ها
با توجه به جدول (۱)، رطوبت تعادلی در گیاه جعفری و زمان خشک‌شدن آن در پژوهش حاضر که معادل با ۰/۰۰۳٪ و ۱۴۰ دقیقه به‌دست آمد، به نسبت سایر تحقیقات کمتر است. هم‌چنین، در سایر تحقیقات تنها گیاه جعفری به‌صورت منفرد بررسی شده است. در حالی‌که، در کار حاضر، گیاه جعفری به‌صورت منفرد و توده‌ای مطالعه شد.



شکل ۳. مقادیر MSE برای یک‌برگ از جعفری با الگوریتم یادگیری LM و برخی از توپولوژی‌های شبکه FFBP و CFBP.
Figure 3. MSE values for a leaf of parsley with LM learning algorithm and some FFBP and CFBP network topologies.



شکل ۴. مقادیر MSE برای توده‌ای از جعفری با الگوریتم یادگیری LM و برخی از توپولوژی‌های شبکه FFBP و CFBP.
Figure 4. MSE values for masses of parsley with LM learning algorithm and some FFBP and CFBP network topologies.



شکل ۵. طرحواره کلی از شبکه عصبی استفاده شده.

Figure 5. General scheme of the neural network used.

جدول ۱. مقایسه کار حاضر با سایر پژوهش‌ها.

Table 1. Comparison of the present work with other researches.

Researcher	Equilibrium moisture (percent)	Drying time (min)	Ref.
Kirsti et al.	13.2	180	[12]
Lechtenberg et al.	40	260	[25]
Kaya et al.	0.01	280	[13]
Younes et al.	0.01	400	[17]
Alibas et al.	0.1	1530	[19]
Present work	0.003	140	---

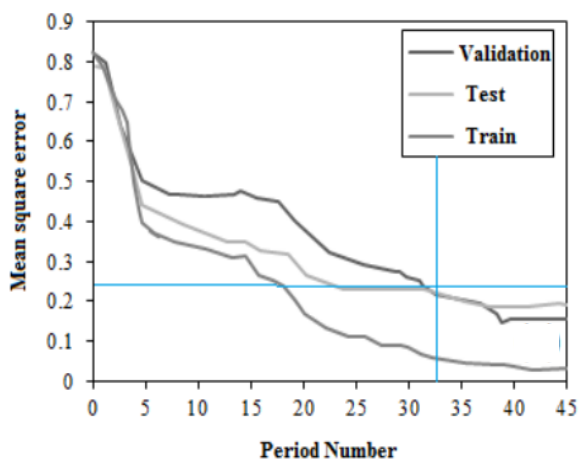
۳. نتایج و بحث

درصد خطای مجذور مربعات میانگین 0.00008 بهترین جواب را می‌دهد، که نشان‌دهنده دقت بالای شبکه عصبی است. به عبارت دیگر، با افزایش تعداد برگ‌های جعفری، درصد خطا افزایش پیدا می‌کند و از اعتبار و دقت مدل کاسته می‌شود؛ زیرا با تغییر حالت از تک‌برگ به توده‌ای، سطح تماس، تعداد ذرات و مقدار رطوبتی که از مواد خارج می‌شود، افزایش می‌یابد که به همان نسبت، خطای مدل در پیش‌بینی میزان رطوبت افزایش پیدا می‌کند. با توجه به شکل‌های (۶)، مقدار پیش‌بینی شده بیشتر از مقادیر تجربی است که ناشی از در نظر نگرفتن اثر چروکیدگی در مدل پیشنهادی است. دلیل دیگر در افزایش خطا با تغییر حالت از منفرد به توده‌ای، ایجاد رخنمای^۲ رطوبت در داخل ماده است که مانع نفوذ رطوبت به سطح می‌شود.

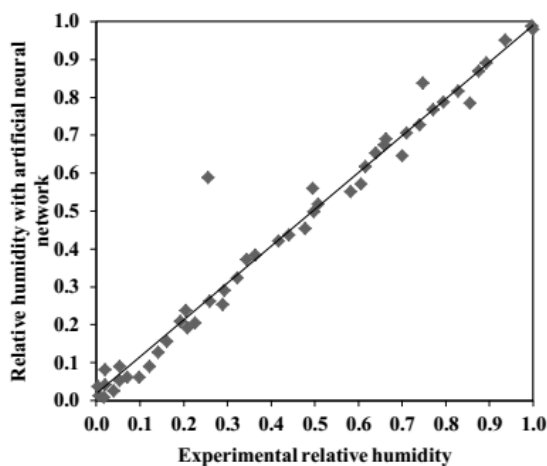
از مقایسه داده‌های به دست آمده از دستگاه خشک‌کن، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های به دست آمده از خشک‌کردن تک‌برگ (شکل‌های (۶) تا (۶) a تا (۶) d) و توده گیاه جعفری (شکل‌های (۶) e تا (۶) i) نشان می‌دهد که تک‌برگ بهتر از توده، خشک می‌شود؛ سپس داده به دست آمده از تک‌برگ و توده با استفاده از شبکه عصبی پس‌انتشار پیش‌خور مدل‌سازی شد (شکل‌های (۶) b تا (۶) i). بررسی‌ها نشان می‌دهد که شبکه عصبی پس‌انتشار پیش‌خور در تک‌برگ با تابع انتقال TANSIG با توپولوژی ۱-۱۳-۴ و ضریب تبیین 0.9987 و درصد خطای مربعات میانگین 0.0003 ، درصد خطای مجذور مربعات میانگین 0.0001 و در توده جعفری با توپولوژی ۴-۹-۱ و ضریب تبیین 0.9993 ، درصد خطای مربعات میانگین 0.0001 ،

2. Profile

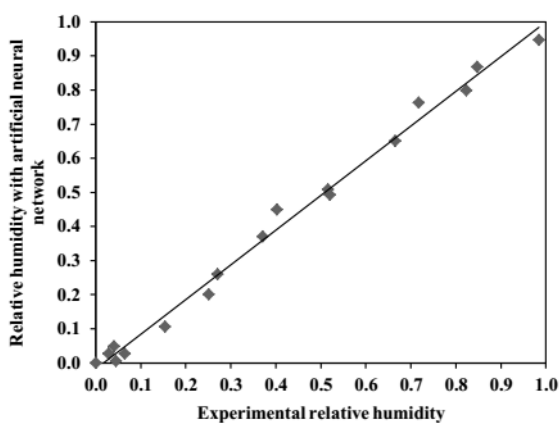
1. Lechtenberg et al.



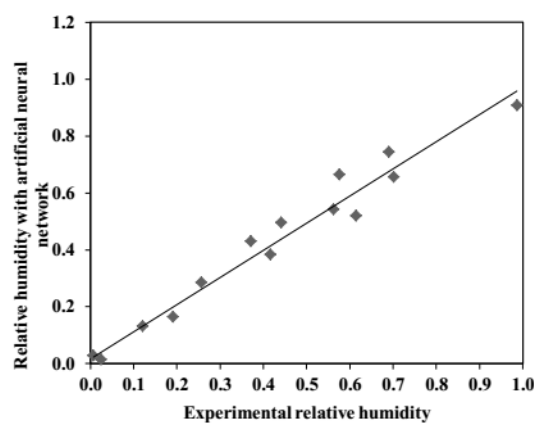
(a)



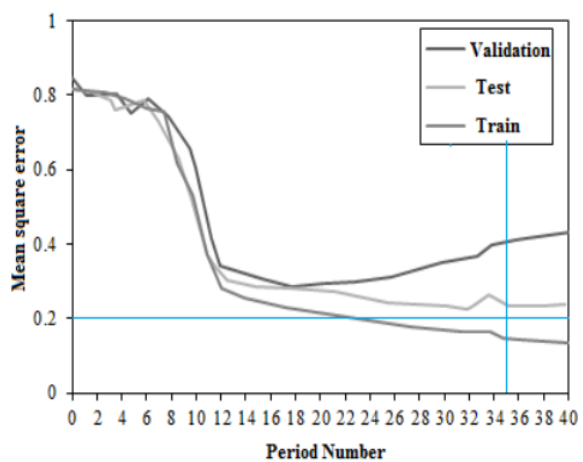
(b)



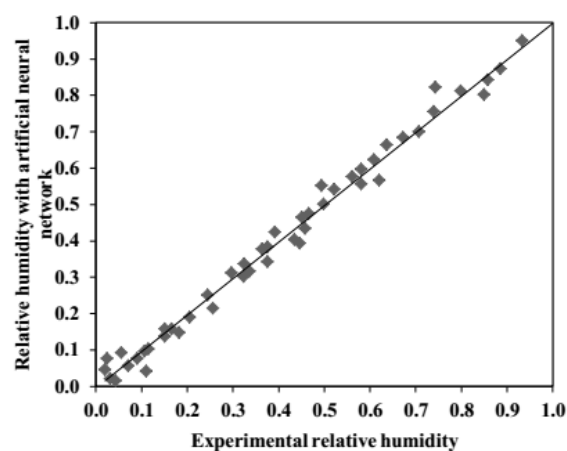
(c)



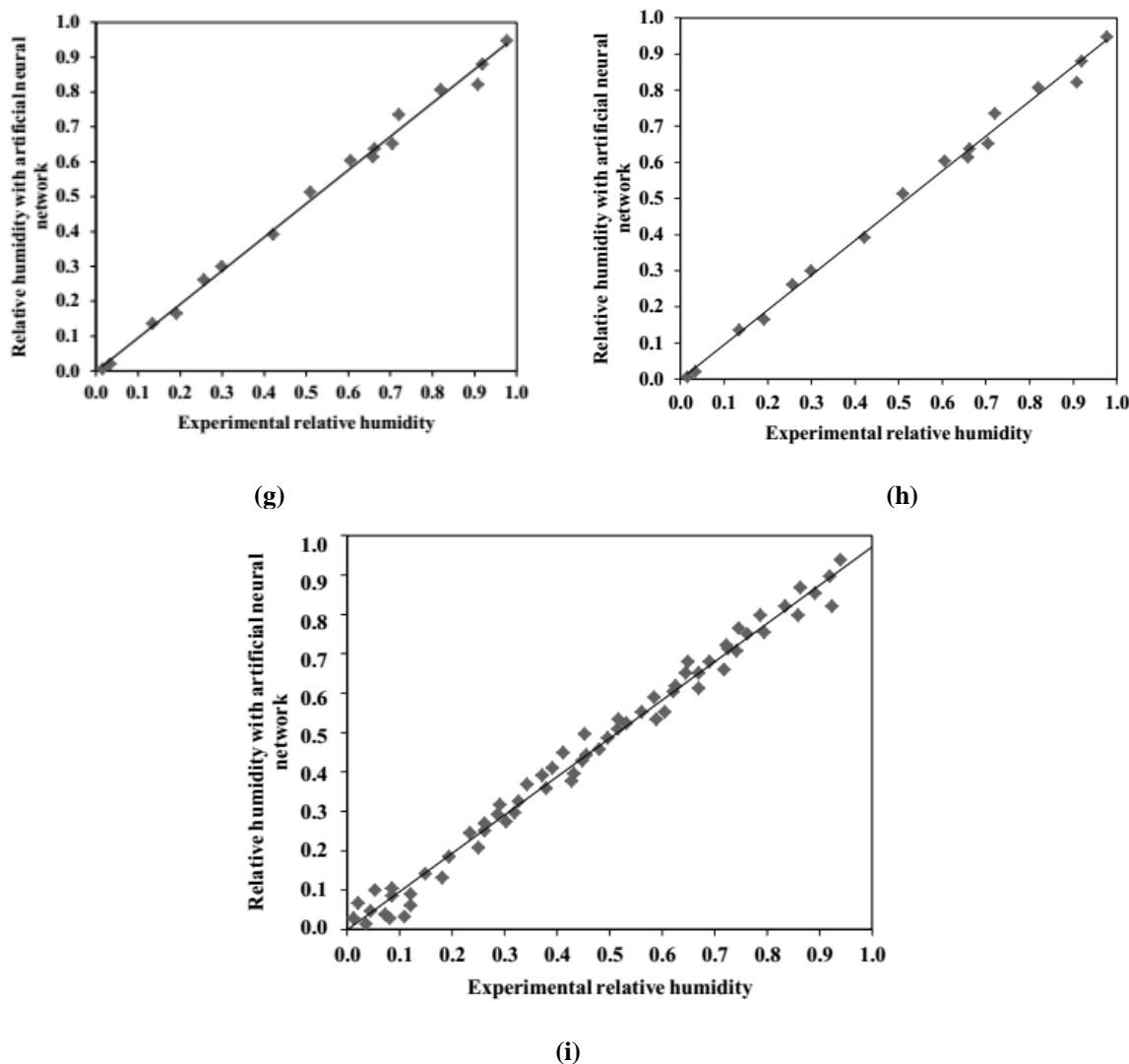
(d)



(e)



(f)



شکل ۶. (a) چگونه یادگیری شبکه FFBP برای یک برگ جعفری، روش آموزش LM، وابسته به TANSIG با وضعیت ۱-۱۳-۴ (b) مقایسه نسبت رطوبت پیش‌بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله آموزش برای یک برگ جعفری (رگرسیون: ۰/۹۹۸۱) (c) مقایسه نسبت رطوبت پیش‌بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله ارزیابی برای یک برگ جعفری (رگرسیون: ۰/۹۹۷۱) (d) مقایسه نسبت رطوبت پیش‌بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله اعتبارسنجی برای یک برگ جعفری (رگرسیون: ۰/۹۸۵۷) (e) نحوه یادگیری شبکه FFBP با الگوریتم یادگیری LM و تابع آستانه TANSIG با توپولوژی ۱-۹-۴ برای توده جعفری (f) مقایسه نسبت رطوبت پیش‌بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله آموزش برای توده‌ای از جعفری (رگرسیون: ۰/۹۹۹۳) (g) مقایسه نسبت رطوبت پیش‌بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله ارزیابی برای توده‌ای از جعفری (رگرسیون: ۰/۹۹۷۶) (h) مقایسه نسبت رطوبت پیش‌بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در مرحله اعتبارسنجی برای توده‌ای از جعفری (رگرسیون: ۰/۹۹۷۵) (i) مقایسه نسبت رطوبت پیش‌بینی شده با نسبت رطوبت تجربی در کل مراحل برای توده‌ای از جعفری (رگرسیون: ۰/۹۹۸۸).

Figure 6. (a) How to learn FFBP network for a parsley leaf, LANS training method, dependent on TANSIG with status 1-13-4 (b) Comparison of the predicted moisture ratio with the experimental moisture ratio in the training phase for a parsley leaf (regression: 0.9981) (c) Comparison of the predicted moisture ratio with the experimental moisture ratio in the evaluation stage for a parsley leaf (regression: 0.9971) (d) Comparison of the predicted moisture ratio with the experimental moisture ratio in the validation stage for a leaf Parsley (regression: 0.9857) (e) How to learn FFBP network with LM learning algorithm and TANSIG threshold function with topology 1-9-4 for parsley mass (f) Comparison of Predicted Moisture Ratio with Experimental Moisture Ratio in the Training Stage for Parsley Mass (Regression: 0.9993) (g) Comparison of the predicted moisture ratio with the experimental moisture ratio in the evaluation stage for parsley masses (Regression: 0.9976) (h) Comparison of the predicted moisture ratio with the experimental moisture ratio in the validation stage for Mass of parsley (regression: 0.9975) (i) Comparison of the predicted moisture ratio with the experimental moisture ratio in all stages for a mass of parsley (regression: 0.9988).

۴. نتیجه گیری

از مقایسه داده های به دست آمده از دستگاه خشک کن می توان نتیجه گرفت که داده های به دست آمده از خشک کردن تک برگ و توده گیاه جعفری، نشان می دهد تک برگ بهتر از توده خشک می شود. سپس، داده به دست آمده از تک برگ و توده با استفاده از شبکه عصبی پس انتشار پیش خور مدل سازی شد. مدل در خشک کردن توده جعفری نسبت به تک برگ، خطای کمتر و دقت بالاتری دارد. نتایج نشان داد که دمای ۶۸ درجه سلسیوس منجر به خارج شدن رطوبت بیشتر از درون ماده شده است. فرایند خشک شدن گیاه جعفری بیشتر در مرحله نزولی مشاهده شد. به علاوه، افزایش درجه حرارت تأثیر بیشتری در خشک کردن برای ماده به صورت توده ای نسبت به حالت تک برگ را دارا بود. همچنین، با مقایسه کار حاضر با سایر پژوهش ها، گیاه جعفری در مدت زمان پایین تری، رطوبت بیشتری را از دست داد.

۵. علائم و نشانه ها

M_t	وزن نمونه در زمان t
M_d	وزن خشک نمونه، g
X_e	رطوبت تعادلی
X_o	رطوبت اولیه
MR	نسبت رطوبت
D	خشک
E	تعادلی
O	حالت اولیه
Exp	تجربی
Pre	پیش بینی شده

مراجع

- [4] Marousis, S., Karathanos, V., Saravacos, G., "Effect of physical structure of starch materials on water diffusivity", *Journal of Food Processing and Preservation*, 15, pp. 183-195, (1991).
- [5] Movagharnjad, K., Nikzad, M., "Modeling of tomato drying using artificial neural network", *Computers and electronics in agriculture*, 59, pp. 78-85, (2007).
- [6] Seyyedlo Harris, S. S., Nalbandi, H., Badaghi, A., "Determining the performance characteristics of infrared dryers to increase drying efficiency and uniformity of thermal distribution", *New Food Technologies*. Vol. 7, No. 2, pp. 313-326, In Persian, (2020).
- [7] Basirat Tabrizi, H., Assarei, M. R., Saffarvel, M., Dabir, B., "Numerical simulation of the particle drying process in a floating bed using a two-fluid model and its application on a compacted bed". *International Journal of Engineering Sciences*. Vol. 12, No. 46, pp. 137-148, In Persian, (2001).
- [8] Soodmand Moghaddam, Sh., Sharifi, M., Zarei Frosh, H., Mobli, H., "Comparison of drying lemon in a continuous flow dryer equipped with solar preheating system with traditional drying". Vol. 42, No. 1, pp. 67-82, In Persian, (2019).
- [9] Doymaz, İ., Tugrul, N., Pala, M., "Drying characteristics of dill and parsley leaves", *Journal of Food Engineering*, 77, pp. 559-565, (2006).
- [10] Soysal, Y., "Microwave drying characteristics of parsley". *Biosystems engineering*, 89, pp. 167-173, (2004).
- [11] Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z., "A new model for single-layer drying", *Drying technology*, 20, pp. 1503-1513, (2002).
- [12] Pääkkönen, K., Havento, J., Galambosi, B., "Infrared drying of herbs (Research Note)", *Agricultural and Food Science*, 8, pp. 19-27, (1999).
- [13] Kaya, A., Aydin, O., "An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves", *Energy Conversion and Management*, 50, pp. 118-124, (2009).
- [14] Akpinar, E. K., "Drying of parsley leaves in a solar dryer and under open sun: modeling, energy and exergy aspects", *Journal of food process engineering*, 34, pp. 27-48, (2011).
- [15] Akbudak, N., Akbudak, B., "Effect of vacuum, microwave, and convective drying on selected parsley quality", *International Journal of Food Properties*, 16, pp. 205-215, (2013).
- [16] Sledz, M., Wiktor, A., Rybak, K., Nowacka, M., Witrowa-Rajchert, D., "The impact of ultrasound and steam blanching pre-treatments on the drying kinetics, energy consumption and selected properties of parsley leaves", *Applied Acoustics*, 103: pp. 148-156, (2016).
- [1] Zarei, A., "Sustainable Agriculture", 1st ed., Day System, Tehran, (2019).
- [2] Mwithiga, G., Olwal, J. O., "The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer", *Journal of Food engineering*, 71, pp. 373-378, (2005).
- [3] Akanbi, C., Oludemi, F., "Effect of processing and packaging on the lycopene content of tomato products", *International Journal of Food Properties*, 7, pp. 139-152, (2004).

- [17] Younes, O. S., Sorour, M. A., Mohamed, E. N., "Effect of microwave on drying of parsley plant", *Sciences*, 6, pp. 1100-1109, (2016).
- [18] Dadan, M., Rybak, K., Wiktor, A., Nowacka, M., Zubernik, J., Witrowa-Rajchert, D., "Selected chemical composition changes in microwave-convective dried parsley leaves affected by ultrasound and steaming pre-treatments—An optimization approach", *Food chemistry*, 239, pp. 242-251, (2018).
- [19] Alibas, I., Zia, M. P., Yilmaz, A., "The effect of drying methods on color and chlorophyll content of parsley leaves", *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7, pp. 919-926, (2019).
- [20] Marić, L., Malešić, E., Tušek, A. J., Benković, M., Valinger, D., Jurina, T., Kljusurić, J. G., "Effects of drying on physical and chemical properties of root vegetables: Artificial neural network modelling", *Food and Bioproducts Processing*, 119, pp. 148-160, (2020).
- [21] Gilani, H. G., Samper, K. G., Haghi, R. K., "Advanced process control and simulation for chemical engineers", 1st ed., Apple Academic Press, Florida, (2016).
- [22] Amiri Chaijan, R., Khosh Taqaza, M. H., Montazer, Gh. A., Minaei, S., Alizadeh, M. R., "Estimation of paddy conversion coefficient using artificial neural networks in drying the fluidized bed", *Journal of Soil and Water Sciences-Agricultural Science and Technology and Natural Resources*. Vol. 13, No. 1, pp. 285-298, In Persian, (2008).
- [23] Hanrahan, G., "Artificial neural networks in biological and environmental analysis", 1st ed., CRC Press, Ohio, (2011).
- [24] Mokhtarian, M., Koushki, F., "Estimation of tomato drying parameters with the help of artificial neural networks". *Research and Innovation in Food Science and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 61-74, In Persian, (2011).
- [25] Lechtenberg, M., Zumdick, S., Gerhards, C., Schmidt, T., Hensel, A., "Evaluation of analytical markers characterising different drying methods of parsley leaves (*Petroselinum crispum* L.)", *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 62, pp. 949-954, (2007).
- [26] Alibas, I., "Microwave, air and combined microwave-air drying of grape leaves (*Vitis vinifera* L.) and the determination of some quality parameters", *International Journal of Food Engineering*, 10, pp. 69-88, (2014).
- [27] Jamali, A., Kouhila, M., Mohamed, L., Idlimam, A., Lamharrar, A., "Moisture adsorption-desorption isotherms of *Citrus reticulata* leaves at three temperatures", *Journal of food engineering*, 77, pp. 71-78, (2006).
- [28] Younes, O. S., Sorour, M. A., Mohamed, E. N., "Effect of Microwave on Drying of Parsley plant", *Sciences*, 6, pp. 1100-1109, (2016).