

Evaluation of a Machine Olfaction to Classify the Quality of Dried Date Fruit by Electrohydrodynamic, Hot Air, and the Hybrid Drying Techniques

MAHDI KERAMAT-JAHROMI¹, SEYED SAEID MOHTASEBI², HOSSEIN MOUSAZADEH³, MAHDI GHASEMI-VARNAMKHASTI⁴, SHAHIN RAFIEE⁵, EHSAN SAVAND-ROUMI⁶

1. Ph.D. Graduated, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Associate Professor, Mechanical Engineering of Biosystem Department, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
5. Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran
6. Ph.D. Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: May. 29, 2018- Revised: Sep. 3, 2018- Accepted: Sep. 11, 2018)

ABSTRACT

The dried products quality is influenced by the drying methods and different temperatures, especially on their smell and aroma. The electrohydrodynamic (EHD) method as a non-thermal drying method has an increasing effect on the rate of evaporation of product moisture content in ambient temperature and pressure, and preserve quality in dried food products. The objective of this study was to classify the quality of dried dates at three different air velocity by different drying conditions of electrohydrodynamic (EHD in 25 and 35 °C), hot air (HA at 60 °C) and hybrid drying (EHD-HA at 60 °C) techniques based on odor using a multi-sensory olfactory machine. The results showed that dried date fruit quality base on its odor was classified to three classes (1: EHD at 25°C, 2: EHD at 35°C and 3: HA and EHD-HA at 60 °C). The response of metal oxide semiconductor sensors in EHD method at 25 °C was higher than the others which show the aroma of dried date fruit in class 1 is conserved more better than the other classes. Finally, the effective sensors were determined to recognize the odor of date fruit.

Keywords: Date fruit; Olfactory machine; Drying; Electrohydrodynamic; Hot air

ارزیابی قابلیت ماشین بویایی در تفکیک کیفیت خرمای خشک شده با روش‌های الکتروهیدرودینامیک، هوای گرم و ترکیبی

مهدی کرامت جهرمی^۱، سید سعید محتسبی^{۲*}، حسین موسی زاده^۳، مهدی قاسمی ورنامخواستی^۴، شاهین رفیعی^۵، احسان

سوندرومی^۶

۱. دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۲. استاد، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۳. دانشیار، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۴. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
 ۵. استاد، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۶. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۶/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۶/۲۰)

چکیده

استفاده از روش‌ها و دماهای مختلف در فرآیند خشک کردن، کیفیت محصول را دستخوش تغییرات کرده و عطر و بوی آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. روش خشک کردن به شیوه الکتروهیدرودینامیک یک روش غیرحرارتی است که با امکان افزایش نرخ تبخیر در دما و فشار محیط، باعث حفظ بهتر کیفیت محصول خشک شده می‌شود. هدف این پژوهش امکان‌سنجی طبقه‌بندی و ارزیابی کیفیت خرمای خشک شده در سه سطح مختلف از سرعت هوا به روش‌های الکتروهیدرودینامیک (در دماهای ۲۵، ۳۵ و ۶۰ درجه سلسیوس) و روش هوای گرم (در دمای ۶۰°C) بر اساس بو و رایحه محصول خشک شده به وسیله یک سامانه چند حسگری ماشین بویایی است. نتایج نشان داد که کیفیت خرمای خشک شده بر اساس رایحه به سه گروه مختلف (گروه یک: الکتروهیدرودینامیک در دمای ۲۵°C، گروه دو: الکتروهیدرودینامیک در دمای ۳۵°C و گروه سوم: هوای گرم و ترکیبی در دمای ۶۰°C) طبقه‌بندی می‌شود. پاسخ حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی در روش الکتروهیدرودینامیک در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بالاتر از بقیه بود که حاکی از حفظ بهتر رایحه محصول در این روش است. در پایان موثرترین حسگرها در تفکیک بوی خرما مشخص شدند.

واژه‌های کلیدی: خرما؛ ماشین بویایی؛ خشک کردن؛ الکتروهیدرودینامیک؛ هوای گرم

مقدمه

انجمادی و همرفتی، دارای مزیت‌هایی از جمله هزینه کم‌تر، کیفیت بهتر محصول خروجی، طراحی ساده‌تر و مصرف انرژی کم‌تر است (Bajgai et al., 2006). از مزیت‌های روش خشک کردن به شیوه الکتروهیدرودینامیک، می‌توان به امکان کاربرد آن در خشک کردن مواد غذایی و دارویی در فشار و دمای محیط و پیشگیری از تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی مواد که به دلیل افزایش دما در روش‌های متعارف خشک کردن به وجود می‌آید، اشاره کرد (Alemrajabi & Lai, 2005). استفاده از دمای پایین در طی خشک کردن باعث حفظ بهتر کیفیت مواد غذایی می‌شود اما زمان خشک کردن را طولانی‌تر می‌کند

خشک کردن الکتروهیدرودینامیک یک فناوری غیرگرمایی و کارآمد از لحاظ مصرف انرژی است که برای رطوبت گیری از مواد حساس به حرارت از جمله مواد غذایی مناسب است و جایگزین مناسبی برای خشک کردن به شیوه حرارتی است (Martynenko & Kudra, 2016; Martynenko et al., 2017). روش خشک کردن الکتروهیدرودینامیک در مقایسه با روش‌های

*نویسنده مسئول: mohtaseb@ut.ac.ir

را با استفاده از رایحه آن تشخیص دهد (Lebrun *et al.*, 2007). در تحقیقی دیگر با استفاده از روش بینی الکترونیک اثر سه مرحله مختلف از رسیدگی خرما بر روی عطر و رایحه محصول مطالعه شده است (Amira *et al.*, 2011).

در خصوص کاربرد ماشین بویایی در خشک‌کن‌ها نیز فعالیت‌های انگشت شماری صورت گرفته است. در تحقیقی مروری، بینی الکترونیک به عنوان ابزاری ابداعی جهت پایش لحظه‌ای محصول به منظور افزایش کیفیت آن در خشک‌کن‌های مواد غذایی معرفی شده است (Ghasemi-Varnamkhashti & Aghbashloo, 2014). نتایج مطالعات تغییر در ترکیبات فرار برش‌های قارچ دکمه‌ای خشک‌شده به سه روش انجمادی، مایکروویو و روش ترکیبی انجمادی-مایکروویو با استفاده از بینی الکترونیکی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی^۲، نشان داد محتوای ترکیبات اصلی فرار در روش انجمادی-مایکروویو به طور قابل توجهی نسبت به روش انجمادی پایین‌تر است. نتایج آزمایش‌های ماشین‌بویایی دارای رابطه خوبی در مقایسه با روش کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی بود. بینی الکترونیکی توانست به طور واضحی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای را که در مدت زمان‌های مختلف خشک‌شده بود، را تشخیص دهد (Pei *et al.*, 2016). در بررسی اثر چهار روش خشک کردن شامل هوای گرم، خلاء، مایکروویو-خلاء و انجمادی-خلاء بر تغییرات عطر و طعم نوعی قارچ خوراکی با استفاده از روش بینی الکترونیکی و روش‌های دقیق آزمایشگاهی^۳ گزارش داده شد که بینی الکترونیکی توانسته است چهار روش خشک شدن را از یکدیگر تشخیص دهد (Chen *et al.*, 2017). در بررسی تغییرات عطر و طعم نوعی دیگر از قارچ خوراکی در روش خشک شدن هوای گرم، ویژگی‌های عطر و طعم ترکیبات فرار با استفاده از بینی الکترونیکی و روش‌های دقیق آزمایشگاهی^۴ مورد ارزیابی قرار گرفت (Yang *et al.*, 2016). در یک تحقیق نیز با کمک ماشین بویایی و پردازش بو، زمان مطلوب خشک‌شدن انگور در یک خشک‌کن خورشیدی مطالعه شد (de Lerma *et al.*, 2014). مطالعه فرآیند رطوبت‌گیری انگور قرمز نشان داد پاسخ حسگرها نسبت به ترکیبات فرار در طی فرآیند خشک شدن به طور قابل توجهی با درجه حرارت تغییر می‌کند (Santonico *et al.*, 2010). مطالعه اثر فرآیند خشک شدن بر عطر و رایحه برگ‌های به‌لیمو^۵ در دماهای ۳۰ و ۶۰ درجه سلسیوس نشان داد که بینی الکترونیک

(Miranda *et al.*, 2008). در مطالعات متعددی روش خشک کردن الکترویهیدرودینامیک با سایر روش‌های خشک‌کردن مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است. در این زمینه می‌توان به مقایسه روش هوای گرم و روش الکترویهیدرودینامیک در خشک کردن ورقه‌های نازک میوه به^۱ (Elmizadeh *et al.*, 2017)، خشک کردن برش‌های نازک موز با استفاده از سه روش الکترویهیدرودینامیک، خشک‌کردن در آون و خشک‌کردن با هوای گرم (Pirnazari *et al.*, 2014)، خشک‌شدن ورقه‌های گوجه فرنگی با استفاده از خشک‌کن الکترویهیدرودینامیک و مقایسه آن با روش خشک کردن در آون و روش هوای آزاد (Esehaghbeygi & Basiry, 2011) اشاره کرد. در تحقیقی دیگر از روش ترکیبی هوای گرم - الکترویهیدرودینامیک به منظور بررسی کیفیت ورقه‌های نازک قارچ دکمه‌ای استفاده شده است (Dinani *et al.*, 2015). با وجود تحقیقات متعددی که در زمینه رطوبت‌گیری و خشک‌کردن میوه خرما انجام شده است (Falade & Abbo., 2007; Shahdadi *et al.*, 2013; Shahdadi *et al.*, 2015; Izli, 2017)، تاکنون تحقیقی در خصوص استفاده از خشک‌کن‌های الکترویهیدرودینامیک در رطوبت‌گیری این محصول گزارش نشده است.

بینی الکترونیک از ترکیبات فرار برای شناسایی و دسته‌بندی نمونه‌ها استفاده می‌کند. از کاربردهای بینی الکترونیکی در بخش کشاورزی می‌توان به تشخیص درصد تقلب در روغن (Oliveros *et al.*, 2002)، پیش‌بینی زمان برداشت و میزان رسیدگی محصول (Zhang *et al.*, 2016) و تعیین کیفیت محصولات در طول دوره انبارداری (Hui *et al.*, 2015; Wei *et al.*, 2015) اشاره کرد. از بیشترین کاربردهای بینی الکترونیکی در صنایع غذایی جهت بررسی کیفیت گوشت، شیر، ماهی، چای و قهوه استفاده شده است (Loutfi *et al.*, 2015). در تحقیقی با استفاده از یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی، یک روش سریع، آسان و غیر مخرب برای تشخیص نمونه‌های گوشت خشک شده در دو کلاس مختلف از آلودگی‌های قارچی مورد بررسی قرار گرفته و گزارش شد که بینی الکترونیکی قادر است به عنوان ابزاری مفید برای غربالگری سریع در تشخیص آلودگی قارچی در زنجیره تأمین گوشت مورد استفاده قرار گیرد (Lippolis *et al.*, 2016).

در زمینه کاربرد ماشین بویایی در تحقیقات خرما مطالعات معدودی انجام شده است. در تحقیقی به منظور تشخیص و طبقه‌بندی نُه وارته مختلف خرما، گزارش شد که روش بینی الکترونیکی قادر است رقم مربوط به هر نمونه از خرما

2. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

3. Headspace solid phase microextraction (HS-SPME) combined with GC-MS

4. HS-SPME-GC-MS

5. Lemon verbena

ها به مدت سه ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند (Martynenko & Zheng, 2016).

آزمایش‌های خشک کردن

با استفاده از یک دستگاه ورقه‌کن برقی^{۱۰}، ورقه‌های نازک و یکنواختی از خرما به ضخامت سه میلی‌متر تهیه شد. وزن تقریبی نمونه‌های خرما در هر آزمایش حدود ده گرم در نظر گرفته شد. خشک کن الکتروهایدرودینامیک دارای ۱۶ عدد الکترو سوزنی به طول ۴۰ میلی‌متر بود که با آرایش مربع با فاصله ۳۰ میلی‌متر از یکدیگر قرار گرفتند. توان منبع ولتاژ بالا، یک وات و فاصله بین الکتروهای سوزنی و الکترو صفحه ای زمین (از جنس ورق مسی به ابعاد ۱۸×۱۸ سانتی‌مترمربع)، سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آزمایش‌های خشک کردن الکتروهایدرودینامیک برای سه سطح از دماهای ۲۵، ۳۵ و ۶۰ درجه سلسیوس و سه سطح از سرعت هوای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه در سه تکرار انجام شد. آزمایش‌های مربوط به روش خشک کردن الکتروهایدرودینامیک در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به عنوان روش ترکیبی الکتروهایدرودینامیک- هوای گرم در نظر گرفته شده است. آزمایش‌های خشک کردن به روش هوای گرم محض نیز برای دمای ۶۰ درجه سلسیوس در سه سطح از سرعت هوای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه و در سه تکرار انجام شد. فرآیند خشک کردن و کاهش وزن نمونه‌ها تا زمان کاهش رطوبت نمونه‌ها به نسبت رطوبت ۰/۲ ادامه داشت. با صرف نظر از محتوای رطوبت تعادلی نمونه‌ها، نسبت رطوبت در طول فرآیند خشک کردن مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Erbay & Icier, 2010; Dinani et al., 2014).

$$MR = \frac{M_d}{M_0} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، MR نسبت رطوبت، M_d رطوبت محصول در لحظه جاری بر پایه خشک (kg water/kg dry matter)، و M_0 رطوبت اولیه محصول (kg water/kg dry matter) می‌باشد. تمامی آزمایش‌ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) انجام شدند.

سامانه بینی الکترونیک

در این پژوهش یک سامانه چند حسگری ماشین بویایی بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی^{۱۱} (جدول ۱) به منظور ایجاد روشی سریع، حساس و قابل اطمینان جهت طبقه بندی رایحه‌ی خرما در حالت‌های مختلف خشک کردن مورد استفاده قرار گرفت

می‌تواند به عنوان یک ابزار قابل اعتماد برای مشخص کردن کیفیت گیاهان معطر استفاده شود (Infante et al., 2010).

در یک تحقیق با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی مختلف^۱، عطر و رایحه میوه نارنجیلا^۲ (یک گونه از سرده بادنجان) خشک شده در چهار روش خشک کردن با هوای گرم^۳، روش خشک کردن هوای گرم-فراصوت^۴، خشک کردن پاششی^۵ و خشک کردن انجمادی^۶ مطالعه و گزارش شد فرآیندهای خشک کردن هوای گرم و هوای گرم-فراصوت به طرز ناخوشایندی عطر محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Forero et al., 2015). اگرچه گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر بهتر روش خشک کردن الکتروهایدرودینامیک نسبت به سایر روش‌های خشک کردن، در حفظ بهتر کیفیت محصول خشک شده وجود دارد (Pirnazari et al., 2014; Esehaghbeigi et al., 2014; Bajgai et al., 2006). ولی تاکنون تحقیقی در خصوص استفاده از سامانه ماشین بویایی در تشخیص و بررسی تفاوت رایحه محصولات خشک شده در روش‌های الکتروهایدرودینامیک و هوای گرم گزارش نگردیده است. در این تحقیق فرض بر این است که روش‌های مختلف خشک کردن محصول، عطر و بوی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف این پژوهش امکان سنجی طبقه‌بندی و تفکیک خرماهای خشک شده به روش‌های الکتروهایدرودینامیک^۷ (EHD)، هوای گرم^۸ (HA) و روش ترکیبی الکتروهایدرودینامیک-هوای گرم^۹ (EHD-HA) با استفاده از روش بینی الکترونیک یا ماشین بویایی است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌گیری

در این تحقیق از نمونه‌های خرماهای شاهانی در مرحله خارک (با رطوبت اولیه ۶۰ درصد بر پایه تر)، که به طور تصادفی از نخلستان‌های شهرستان جهرم برداشت شده بودند، استفاده شد. به منظور کاهش تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی، نمونه‌ها داخل بسته‌های نایلونی قرار داده شد و تا زمان انجام آزمایش‌ها درون سردخانه و در دمای $9/0 \pm 0/5$ درجه سلسیوس نگهداری شدند. قبل از انجام آزمایش‌های خشک کردن، نمونه

1. Solvent-assisted flavour evaporation (SAFE), Gas Chromatography Olfactometry (GC-O) and GC-MS

2. Lulo

3. Hot air-drying

4. Ultrasonic convective hot air-drying

5. Spray drying

6. Lyophilisation

7. Electrohydrodynamic (EHD)

8. Hot air (HA)

9. Electrohydrodynamic convective hot air (EHD-HA)

10. Electric Slicer (Model 250, Bora Electric, Iran)

11. Metal-Oxide Semiconductor (MOS)

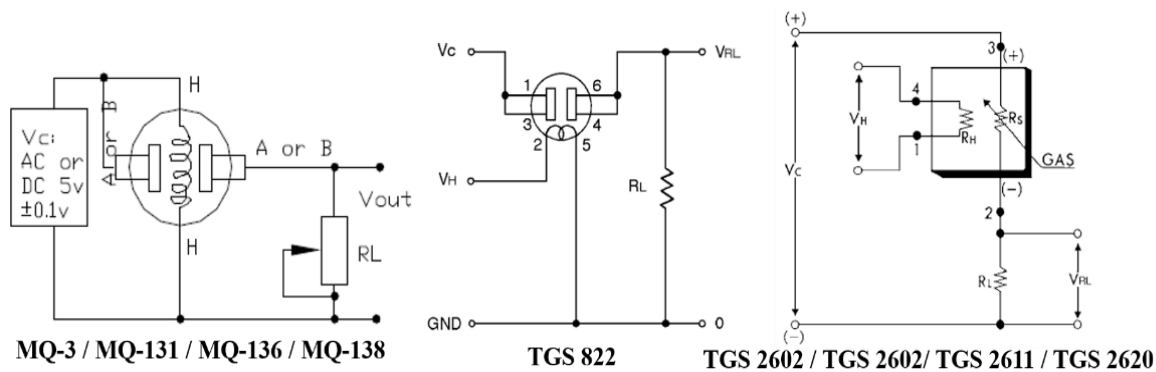
انتخاب حسگرهای گازی

حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی از متداول ترین حسگرهای مورد استفاده در ماشین بویایی هستند که از حساسیت و پایداری شیمیایی بالایی برخوردار بوده، ارزان بوده و قادرند کمیت‌های شیمیایی را به سیگنال الکتریکی تبدیل کنند (Kiani et al., 2016). نوع حسگرها مطابق جدول (۱)، متناسب با نوع ماده مورد آزمایش انتخاب شده است که با توجه به برگه اطلاعات ارائه شده توسط شرکت سازنده مداربندی شدند (شکل ۲).

(Keramat-Jahromi, 2018). شکل (۱) سامانه ماشین بویایی مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱- سامانه ماشین بویایی



شکل ۲- نقشه مداربندی حسگرهای گازی

نگه داشته شد تا به منظور انجام آزمایش‌ها، بخارات و رایحه خرمای خشک شده به محفظه نمونه منتقل شود. سپس آزمایش‌های ماشین بویایی انجام شد. قبل از تزریق هوای داخل محفظه نمونه به سمت حسگرها، لازم است هوای فیلتر شده با کربن فعال از روی حسگرهای گاز عبور داده شده ($T_1 = 200s$) و پاسخ حسگرها ثبت شود. در مرحله دوم با تزریق هوای محفظه نمونه به سمت محفظه حسگرها ($T_2 = 200s$)، پاسخ حسگرها به بوی نمونه ثبت شد. در مرحله سوم اتصالات و حسگرها با هوای فیلتر شده شستشو شدند ($T_3 = 100s$). شکل ۳ پاسخ یک حسگر به بوی نمونه را در طول مراحل مختلف آزمایش نشان می‌دهد.

تحلیل داده‌های حسگر

اولین مرحله در تجزیه و تحلیل داده‌های حسگرهای گازی، پیش‌پردازش پاسخ حسگرها است که به منظور آماده‌سازی پاسخ حسگرهای گازی برای تجزیه و تحلیل انجام می‌شود. پیش‌پردازش اطلاعات، تأثیر زیادی بر روی عملکرد روش‌های تشخیص الگو دارد و نیز تا حدی وابسته به نوع حسگرها بوده و به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود (Pearce et al., 2003). در این پژوهش، از روش میانگین در پیش‌پردازش داده‌های حسگرهای گازی استفاده شده است (Scott et al., 2006).

جدول ۱- حسگرهای استفاده شده در سامانه بینی الکترونیک

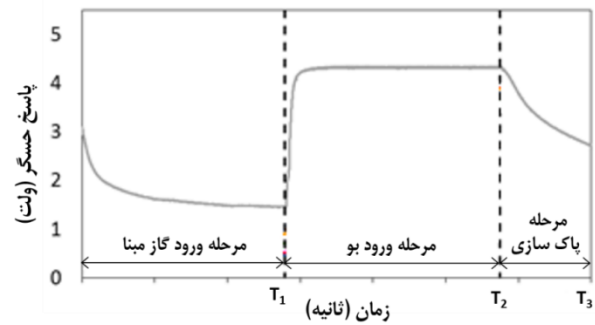
شماره حسگر	نوع حسگر	بیشترین حساسیت
S1	TGS 2611	متان
S2	TGS 2602	ترکیبات آلی فرار ^۱ و گازهای بودار ^۲ ، حساس به آلاینده‌های گازی محیطی ^۳
S3	MQ136	هیدروژن سولفید (H_2S)
S4	MQ131	اُزن (O_3)
S5	TGS 2620	الکل و ترکیبات آلی فرار
S6	MQ3	الکل
S7	MQ138	ترکیبات آلی فرار، ترکیبات آلی فرار شامل n-هگزان، بنزن، آمونیاک، الکل (آلدهید، کتون، استر)، دود، کربن مونوکسید
S8	TGS 822	ترکیبات آلی فرار نظیر اتانول

آزمایش‌های ماشین بویایی

به منظور ارزیابی سامانه بویایی، نمونه‌های رطوبت‌گیری شده از خشک کن خارج و در محفظه نمونه قرار گرفت. محصول به مدت ۳۰ دقیقه درون محفظه نمونه (با حجم ۲۰۰ میلی لیتر)

1. Volatile organic compounds (VOC)
2. Odorous gases
3. Gaseous air contaminants

سلسیوس و روش خشک کردن ترکیبی (با روش الکتروهدرودینامیک در دمای ۶۰ درجه سلسیوس)، اثر سه سطح از سرعت هوا (۵/۰، ۱ و ۱/۵ متر در ثانیه) و اثر هشت سطح از انواع حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی بر پاسخ حسگر (بر حسب ولت) استفاده شد. مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون توکی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد، اثر روش خشک کردن و نوع حسگر به ترتیب با مقادیر F برابر با ۱۰۷/۰۱ و ۲۴۴۷۴۶/۹ در سطح ۱٪ معنی دار بوده است ولی اثر سرعت جریان هوا و اثر متقابل سرعت هوا و روش خشک کردن بر پاسخ حسگرها اثر معنی داری نداشت. اثر متقابل روش خشک کردن و نوع حسگر در سطح ۱٪ و اثر متقابل سرعت هوا و نوع حسگر در سطح ۵٪ و اثر متقابل سه عامل روش خشک کردن، سرعت هوا و نوع حسگر نیز در سطح ۱٪ معنی دار بود. نتایج نشان می‌دهد تغییرات سرعت جریان هوا تأثیری در قابلیت تفکیک حسگرهای گاز نداشته و ماشین‌بویایی قادر نیست اثر سرعت هوا را در فرآیند خشک کردن از یکدیگر تفکیک نماید. به عبارت دیگر تغییر در سرعت جریان هوای عبوری از محصول در طول فرآیند خشک شدن در هر روش تأثیری بر بو و رایحه محصول خشک شده نداشته است. با توجه به تغییرات سرعت هوا در محدوده ۵/۰ تا ۱/۵ متر در ثانیه با توجه به ماهیت خشک کن الکتروهدرودینامیک، ممکن است این امر به دلیل تفاوت اندک سرعت های مختلف با یکدیگر باشد و استفاده از سرعت‌های بالاتر هوا در طول فرآیند خشک کردن نتایج متفاوتی را در بر داشته باشد.



شکل ۳- پاسخ یک حسگر به بوی نمونه

به‌منظور تحلیل داده‌ها، علاوه بر روش تحلیل مولفه‌های اصلی^۱، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی جهت بررسی پاسخ تک تک حسگرها و مقایسه پاسخ آن‌ها در روش‌های مختلف خشک کردن استفاده گردید. روش مولفه‌های اصلی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید برده به طوری که اولین مولفه اصلی یا محور اصلی شامل بیشترین واریانس داده های ورودی می شود و مولفه های دیگر نیز به ترتیب بیشترین تغییرات در بر گرفته، ارائه می شوند. این روش با کاهش ابعاد داده ها، مجموعه داده هایی که بیشترین تأثیر در واریانس را دارد، حفظ می‌کند. به عبارت دیگر داده‌ها را به نحوی بیان می‌کند که شباهت‌ها و تفاوت‌های بین آن‌ها مشخص تر شود. روش تحلیل مولفه های اصلی، روش رایج و مرسوم در تحلیل نتایج مربوط به بینی الکترونیکی در تحقیقات مختلف است (Lebrun et al., 2007; Santonico et al., 2010; de Lerma et al., 2014; Pei et al., 2016; Yang et al., 2016; Kiani et al., 2016; Chen et al., 2017). محاسبات و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزارهای SPSS و MATLAB انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از روش تجزیه واریانس^۲ طرح آزمایشی و روش تحلیل مولفه‌های اصلی در تحلیل آماری داده‌های حسگرهای ماشین‌بویایی در دو بخش ارائه شده است.

نتایج تجزیه واریانس

از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی برای بررسی اثر چهار سطح از حالت‌های مختلف خشک کردن شامل خشک کردن با روش الکتروهدرودینامیک در دماهای ۲۵ و ۳۵ درجه سلسیوس، خشک کردن با هوای گرم در دمای ۶۰ درجه

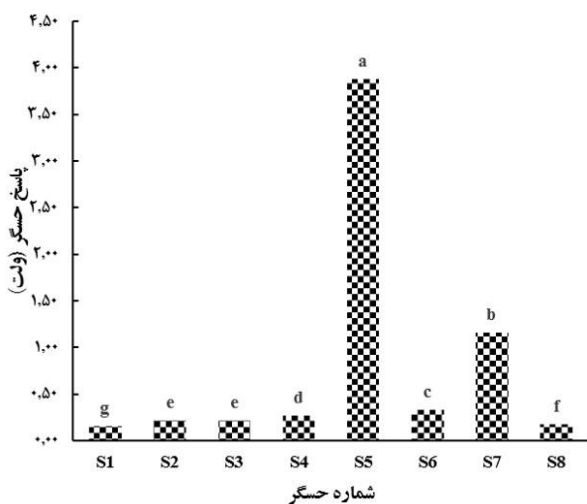
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر روش خشک کردن، سرعت هوا و نوع حسگر بر پاسخ حسگر (ولت)

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
بلوک	۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۱۳ ^{ns}
روش خشک کردن (A)	۳	۰/۰۷۸	۰/۰۲۶۱	۱۰۷/۰۱ ^{**}
سرعت هوا (B)	۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۱/۷۹ ^{ns}
حسگر (S)	۷	۴۱۷/۳۸۲	۵۹/۶۲۵۹	۲۴۴۷۴۶/۹ ^{**}
A × B	۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۷۳ ^{ns}
A × S	۲۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۷	۳/۰۲ ^{**}
B × S	۱۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۵	۲/۰۱ [*]
A × B × S	۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱	۴/۱۵ ^{**}
خطا	۱۹۰	۰/۰۴۶	۰/۰۰۰۲	
مجموع کل	۲۸۷	۴۱۷/۵۷۳		

^{**} سطح معنی داری ۱ درصد ^{*} سطح معنی داری ۵ درصد ^{ns} عدم معنی داری

1. Principal component analysis (PCA)
2. Analysis of variance (ANOVA)

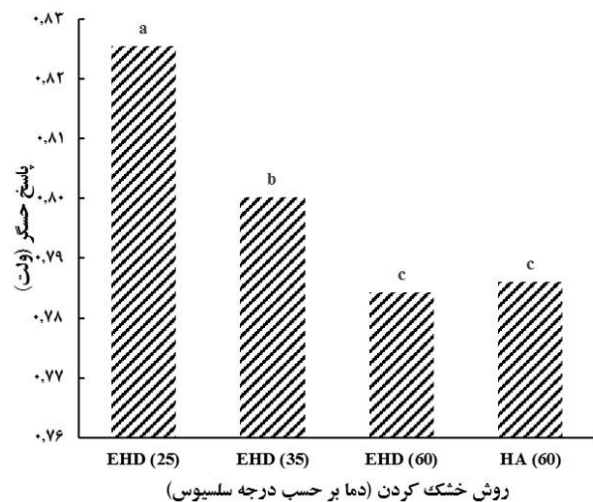
کیفیت بو و رایحه محصول بیشتر خواهد بود. محصول خشک شده در روش های ترکیبی و هوای گرم از لحاظ کیفیت بو مشابه بوده و در سطح پایین تری قرار می گیرند. مقایسه میانگین اثر نوع حسگر (S) بر پاسخ حسگر (ولت) در آزمون توکی در شکل ۵ نشان می دهد تنها پاسخ های دو حسگر S2 (TGS 2602) و S3 (MQ136) با یکدیگر اختلاف معنی داری ندارند و پاسخ سایر حسگرهای گازی مستقل از یکدیگر بوده اند. این موضوع بیانگر آن است که حسگرهای استفاده شده در تحقیق نسبت به بوی محصول، پاسخ های متفاوتی از خود نشان داده اند.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر نوع حسگر بر پاسخ حسگر (ولت)

برای کسب نتیجه روشن تر و به منظور تشخیص حسگرهای موثر در تفکیک روش ها از یکدیگر، از آزمون توکی در مقایسه میانگین اثر متقابل روش خشک کردن و نوع حسگر بر پاسخ حسگر (ولت) استفاده و نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده است. مشابه شکل های ۴ و ۵، حروف متفاوت روی ستون ها، نشان دهنده اختلاف معنی دار و حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار ستون ها با یکدیگر است. اگرچه مطابق شکل ۵، حسگرهای S5 (TGS 2620) و S7 (MQ138) به ترتیب دارای بیشترین مقادیر پاسخ در بین حسگرها بوده اند ولی مطابق شکل ۶، اختلاف معنی داری بین پاسخ های هر یک از آن ها در روش های مختلف خشک کردن با خودشان وجود ندارد. در نتیجه این حسگرها قادر به تفکیک نمونه های خرمای خشک شده به روش های مختلف از یکدیگر نیستند. پاسخ هر یک از حسگرهای S1، S4 و S6 در روش اول (الکترو هیدرودینامیک در دمای ۲۵ درجه سلسیوس) به طور معنی داری بیشتر از پاسخ خودشان در روش های دیگر است، بنابراین این سه حسگر

شکل ۴، مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر پاسخ حسگر (ولت) را با استفاده از آزمون توکی نشان می دهد. حروف متفاوت روی ستون ها نشان دهنده اختلاف معنی دار و حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار ستون ها با یکدیگر است. نتایج مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر پاسخ حسگر (ولت) نشان می دهد روش خشک کردن با هوای گرم (HA) و روش ترکیبی الکترو هیدرودینامیک-هوای گرم^۱ با یکدیگر اختلاف معنی داری ندارند. این در حالی است که حسگرهای ماشین بویایی توانسته اند روش خشک کردن به روش الکترو هیدرودینامیک (EHD) در دماهای ۲۵ و ۳۵ درجه سلسیوس را با تفاوت معنی داری از یکدیگر و همچنین از دو روش دیگر تفکیک نمایند. میزان پاسخ حسگرها بیانگر میزان کیفیت مربوط به بو است. هر چه پاسخ حسگر نسبت به نمونه خشک شده به پاسخ آن نسبت به نمونه تازه نزدیک تر باشد، کیفیت بو بهتر حفظ شده است. مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر پاسخ حسگرها نشان می دهد بو و رایحه خرما در خشک کردن به شیوه الکترو هیدرودینامیک در دمای ۲۵ درجه سلسیوس دارای بیشترین مقدار بوده و با افزایش دما، پاسخ حسگرها دارای یک روند کاهشی است.



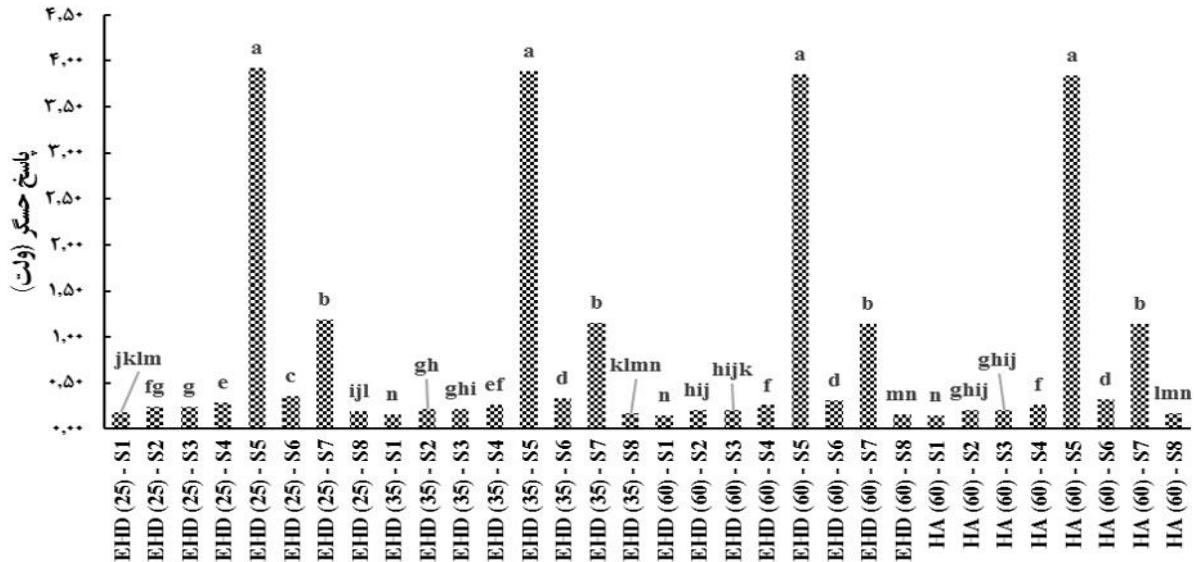
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر پاسخ حسگر (ولت)

با توجه به بالاتر بودن کیفیت محصول در دماهای پایین تر (Miranda et al., 2008) و همچنین اُفت بیشتر عطر و بوی محصول خشک شده در روش های خشک کردن با هوای گرم (Forero et al., 2015)، بالاتر بودن سطح پاسخ حسگرها در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس)، بیانگر بالاتر بودن کیفیت خرمای خشک شده در این دما است. با افزایش دما، میزان اُفت

1. EHD-HA or EHD (60°C)

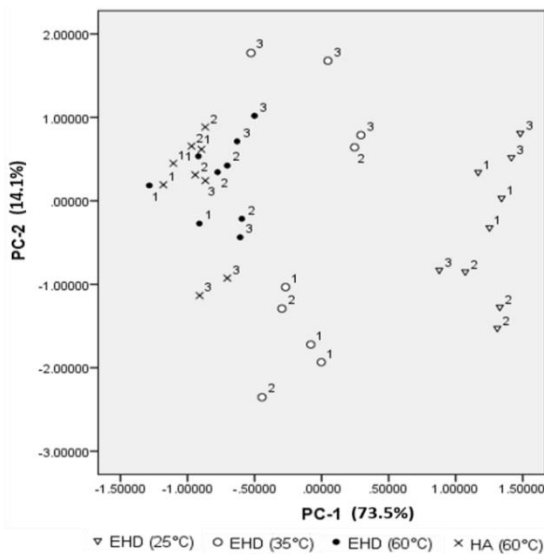
است، اما در خصوص این حسگرها روند و قاعده مشخصی همانند سه حسگر S1، S4 و S6 دیده نمی‌شود.

توانایی تفکیک روش اول را از سایر روش‌های خشک کردن دارند. اگرچه پاسخ هر یک از حسگرهای S2، S3 و S8 در روش‌های مختلف خشک کردن دارای اختلاف معنی‌داری با خود



روش خشک کردن (دما بر حسب درجه سلسیوس) - نوع حسگر

شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل روش خشک کردن و نوع حسگر بر پاسخ حسگر (ولت)



شکل ۷- نمودار وضعیت داده‌ها نسبت به یکدیگر در روش تحلیل مولفه‌های اصلی با دو مولفه اصلی (PC-1 و PC-2)

داده‌های مربوط به بوی نمونه‌های خشک شده در سرعت‌های مختلف از جریان هوا برای هر یک از روش‌های خشک کردن با هم تداخل داشته و از یکدیگر قابل تفکیک نیستند. سرعت‌های مختلف هوا در هر یک از روش‌ها، تأثیری در قابلیت تفکیک حسگرهای ماشین بوایی نداشته و ماشین بوایی نتوانسته است اثر سرعت هوا را در هر روش تفکیک کند. استفاده از سرعت‌های پایین جریان هوا با توجه به ماهیت پدیده

نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

روش تحلیل مولفه‌های اصلی به منظور بررسی وجود اختلاف در بو و رایحه محصول در حالت‌های مختلف خشک شدن با استفاده از داده‌های پیش پردازش شده خروجی حسگرها اجرا گردید. داده‌های ورودی بر اساس چهار روش خشک کردن و هر روش در سه سطح از سرعت جریان هوا برچسب گذاری شدند. مطابق شکل ۷، نخستین مولفه اصلی استخراج شده (PC-1)، بیشترین مقدار پراکندگی داده‌ها را در کل مجموعه در نظر می‌گیرد و دومین مولفه استخراج شده (PC-2)، بیشترین مجموعه داده‌هایی که توسط مولفه اول محاسبه نشده است را در نظر می‌گیرد (Scott *et al.*, 2006). به عبارت دیگر مولفه‌های اول و دوم، واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری نمونه‌ها را بیان می‌کنند به طوری که این دو مولفه ۸۷/۶ درصد واریانس داده‌ها را در بر می‌گیرند.

همانطوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، دو روش الکتروهیدرودینامیک در دمای ۲۵ و ۳۵ درجه سلسیوس از یکدیگر و از دو روش دیگر قابل تفکیک هستند اما دو روش هوای گرم و روش ترکیبی (الکتروهیدرودینامیک در دمای ۶۰ درجه سلسیوس) از یکدیگر قابل تفکیک نمی‌باشند. مطابق شکل ۷، اعداد ۱، ۲ و ۳ در شکل ۷ به ترتیب نشانگر داده‌های مربوط به بوی نمونه‌های خشک شده در سرعت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر در ثانیه است.

دارد. روش تحلیل مولفه‌های اصلی در یک فضای دوبعدی تفکیک اثر روش‌های خشک کردن را بر بو و رایحه‌ی محصول به نمایش می‌گذارد و در تجزیه واریانس اثر عوامل به کار برده شده و میزان تأثیر آنها را نشان می‌دهد. نمودار استخراج شده از مقایسه میانگین اثر متقابل روش خشک کردن و نوع حسگر بر پاسخ حسگر (ولت) در روش تجزیه واریانس طرح آزمایشی، اطلاعات مفید و روشنی را در بررسی عملکرد حسگرها و در نتیجه انتخاب بهترین حسگرها فراهم می‌سازد و جزئیات بیشتری نسبت به روش تحلیل مولفه‌های اصلی در اختیار محقق قرار می‌دهد. بر اساس این روش، اثر روش خشک کردن الکتروهِیدرودینامیک در دماهای مختلف (۲۵، ۳۵ و ۶۰ درجه سلسیوس) بر بوی خرمای خشک شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و محصول خشک شده از یکدیگر قابل تفکیک است در حالی که اثر روش هوای گرم و روش ترکیبی (روش الکتروهِیدرودینامیک در دمای ۶۰ درجه سلسیوس) بر بوی خرمای خشک شده معنی‌دار نبود. نتایج کلی حاصل از دو روش حاکی از آن است که استفاده از سرعت‌های مختلف و پایین هوا در طول فرآیند خشک کردن، تأثیری بر بوی خرمای خشک شده ندارد. در روش خشک کردن الکتروهِیدرودینامیک عطر و رایحه خرمای خشک شده در دماهای مختلف (۲۵، ۳۵ و ۶۰ درجه سلسیوس) از یکدیگر قابل تفکیک است این در حالی است که عطر و رایحه خرمای خشک شده در روش الکتروهِیدرودینامیک در دمای ۶۰ درجه سلسیوس (روش ترکیبی) و روش هوای گرم از یکدیگر قابل تفکیک نیست. کیفیت بو و رایحه خرمای خشک شده در روش الکتروهِیدرودینامیک در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بهتر از سایر روش‌ها حفظ شده و در روش‌های ترکیبی و هوای گرم دستخوش بیشترین تغییرات نامطلوب می‌گردد. سامانه بینی الکترونیک می‌تواند به طور موفقیت آمیزی روش خشک کردن به شیوه الکتروهِیدرودینامیک در دماهای محیطی را از روش هوای گرم و ترکیبی تفکیک نماید.

سپاسگزاری

تحقیق مذکور (با طرح شماره ۹۶۰۰۰۲۱۲) به تصویب صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور رسید و مورد حمایت مالی قرار گرفت. از صندوق مذکور و همچنین معاونت علمی و فناوری ریاست محترم جمهوری در تامین منابع مالی این تحقیق تشکر می‌گردد. همچنین از کمک‌ها و راهنمایی‌های آقایان دکتر مرتضی آغباشلو، دکتر امین نصیری و دکتر سید حسن پیشگر کومله تشکر و قدردانی می‌گردد.

الکتروهِیدرودینامیک و نزدیک بودن این سرعت‌ها به یکدیگر، می‌تواند به عنوان عاملی در یکنواختی کیفیت مربوط به بوی نمونه‌های خشک شده در سرعت‌های مختلف هوا دخیل باشد. به منظور تعیین میزان همبستگی هر یک از حسگرهای گازی با مولفه‌های اصلی، مقدار همبستگی حسگرها در روش تحلیل مولفه‌های اصلی با دو مولفه اصلی (PC-1 و PC-2) بررسی شد (جدول ۳). حسگری است که دارای بیشترین مقدار مؤلفه اصلی اول (PC-1) است، موثرترین حسگر در شناسایی نمونه‌های مختلف بوده و نقش آن در تشخیص نمونه‌ها بیشتر است.

جدول ۳- مقادیر همبستگی حسگرها در روش تحلیل مولفه‌های اصلی با دو مولفه اصلی

شماره حسگر	نوع حسگر	PC-1 (73.5%)	PC-2 (14.1%)
S1	TGS 2611	۰/۹۵۳	۰/۰۶۰
S2	TGS 2602	۰/۹۲۱	-۰/۲۷۲
S3	MQ136	۰/۹۴۰	۰/۱۵۷
S4	MQ131	۰/۷۵۱	۰/۱۹۵
S5	TGS 2620	۰/۷۹۰	۰/۵۰۵
S6	MQ3	۰/۹۶۲	۰/۱۴۳
S7	MQ138	۰/۴۲۰	۰/۸۴۰
S8	TGS 822	۰/۹۷۴	۰/۰۸۵

مطابق جدول ۳، در روش تحلیل مولفه‌های اصلی، حسگر TGS 822 دارای بیشترین مقدار مؤلفه اصلی اول بوده و بیشترین تأثیر را در تفکیک رایحه نمونه‌های خشک شده خرما دارد. حسگرهای TGS 822، MQ3 و TGS 2611 به ترتیب بیشترین و حسگر MQ-138 کمترین اختلاف واریانس را در تفکیک نوع روش خشک کردن خرما دارند. اگر چه در روش تجزیه واریانس طرح آزمایشی، جزئیات بیشتری قابل بررسی است، لیکن در روش تحلیل مولفه‌های اصلی، انتخاب حسگرها از لحاظ اولویت و میزان اهمیت به صورت راحت تری قابل انجام است. با توجه به میزان اهمیت و تأثیر حسگرها در تفکیک رایحه، می‌توان با حذف حسگرهایی که تأثیر کمی در فرآیند تشخیص دارند، هزینه ساخت آرایه حسگری سامانه ماشین بویایی را کاهش داد (Heidarbeigi et al., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به دست آمده از هر یک از روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی و تجزیه واریانس طرح آزمایشی، اطلاعات مفید و قابل مقایسه‌ای را فراهم نموده و عملکرد مناسبی در تفکیک و تمایز رایحه محصول خشک شده در روش‌های مختلف خشک کردن

REFERENCES

- Alemrajabi, A. A. & Lai, F. C. (2005). Effect of Particle Size on Evaporation and Drying by Electrohydrodynamics. In: *Ninth Fluid Dynamics Conference*, 9-11 March, Department of Mechanical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, Volume 9 (In Farsi)
- Amira, E. A., Guido, F., Behija, S.E., Manel, I., Nesrine, Z., Ali, F., Mohamed, H., Noureddine, H.A. & Lotfi, A., (2011). Chemical and aroma volatile compositions of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at three maturation stages. *Food Chemistry*, 127(4), 1744-1754.
- Bajgai, T.R., Raghavan, G.S.V., Hashinaga, F., & Ngadi, M.O. (2006). Electrohydrodynamic drying- A concise overview. *Drying Technology*, 24(7), 905-910.
- Chen, G., Wu, F., Pei, F., Cheng, S., Muinde, B., Hu, Q., & Zhao, L. (2017). Volatile components of white *Hypsizygus marmoreus* detected by electronic nose and HS-SPME-GC-MS: Influence of four drying methods. *International Journal of Food Properties*, 20(12), 2901-2910.
- de Lerma, N. L., Moreno, J., & Peinado, R. A. (2014). Determination of the optimum sun-drying time for *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo grapes by e-nose analysis and characterization of their volatile composition. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), 732-740.
- Dinani, S. T., Hamdami, N., Shahedi, M., & Havet, M. (2014). Mathematical modeling of hot air/electrohydrodynamic (EHD) drying kinetics of mushroom slices. *Energy Conversion and Management*, 86, 70-80.
- Dinani, S. T., Hamdami, N., Shahedi, M., & Havet, M. (2015). Quality assessment of mushroom slices dried by hot air combined with an electrohydrodynamic (EHD) drying system. *Food and Bioprocess Technology*, 94, 572-580.
- Elmizadeh, A., Shahedi, M., & Hamdami, N. (2017). Comparison of electrohydrodynamic and hot-air drying of the quince slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43, 130-135.
- Erbay, Z. & Icier, F. (2010). A Review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50 (5), 441-464.
- Esehaghbeygi, A. and Basiry M. 2011. Electrohydrodynamic (EHD) drying of tomato slices (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Food Engineering*, 104, 628-631.
- Esehaghbeygi, A., Pirnazari, K. & Sadeghi, M. (2014). Quality assessment of electrohydrodynamic and microwave dehydrated banana slices. *LWT - Food Science and Technology*, 55 (2), 565-571.
- Falade, K. O., & Abbo, E. S. (2007). Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 724-730.
- Forero, D. P., Orrego, C. E., Peterson, D. G., & Osorio, C. (2015). Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. *Food Chemistry*, 169, 85-91.
- Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Aghbashlo, M. (2014). Electronic nose and electronic mucosa as innovative instruments for real-time monitoring of food dryers. *Trends in Food Science & Technology*, 38(2), 158-166.
- Heidarbeigi, K., Mohtasebi, S. S., Foroughirad, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, S., & Rezaei, K. (2015). Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. *International Journal of Food Properties*, 18(7), 1391-1401.
- Hui, G., Jin, J., Deng, S., Ye, X., Zhao, M., Wang, M., & Ye, D. (2015). Winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) quality forecasting method based on electronic nose. *Food Chemistry*, 170, 484-491.
- Infante, R., Rubio, P., Contador, L., & Moreno, V. (2010). Effect of drying process on lemon verbena (*Lippia citrodora* Kunth) aroma and infusion sensory quality. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(1), 75-80.
- Izli, G. (2017). Total phenolics, antioxidant capacity, colour and drying characteristics of date fruit dried with different methods. *Food Science and Technology*, 37(1), 139-147.
- Keramat-Jahromi, M. (2018). Monitoring the Drying Process of Date Fruit Chips in a Solar Electrohydrodynamic (EHD) Dryer Using Machine Vision and Electronic. Ph.D. dissertation, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran (In Farsi).
- Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2016). Fusion of artificial senses as a robust approach to food quality assessment. *Journal of Food Engineering*, 171, 230-239.
- Lebrun, M., Billot, C., Harrak, H. & Selfa, G. (2007). The electronic nose: a fast and efficient tool for characterizing dates. *Fruits*, 62 (6), 377-382.
- Lippolis, V., Ferrara, M., Cervellieri, S., Damascelli, A., Epifani, F., Pascale, M., & Perrone, G. (2016). Rapid prediction of ochratoxin A-producing strains of *Penicillium* on dry-cured meat by MOS-based electronic nose. *International Journal of Food Microbiology*, 218, 71-77.
- Loutfi, A., Coradeschi, S., Mani, G. K., Shankar, P., & Rayappan, J. B. B. (2015). Electronic noses for food quality: A review. *Journal of Food Engineering*, 144, 103-111.
- Martynenko, A. & Zheng, W. (2016). Electrohydrodynamic drying of apple slices: Energy and quality aspects. *Journal of Food Engineering*, 168, 215-222.

- Martynenko, A., & Kudra, T. (2016). Electrically-induced transport phenomena in EHD drying - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 63-73.
- Martynenko, A., Astatkie, T., Riaud, N., Wells, P., & Kudra, T. (2017). Driving forces for mass transfer in electrohydrodynamic (EHD) drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43, 18-25.
- Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K. & Vegalvez, A. (2008). Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91 (2), 297-304.
- Oliveros, M. C. C., Pavon, J. L. P., Pinto, C. G., Laespada, M. E. F., Cordero, B. M. & Forina, M. (2002). Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as a fast alternative for the detection of adulteration of virgin olive oils. *Analytica Chimica Acta*, 459, 219-228.
- Pearce, T.C., Schiffman, S.S., Nagle, H.T. and Gardner, J.W. (2003), *Handbook of machine olfaction: electronic nose technology*. Wiley-VCH, Weinheim.
- Pei, F., Yang, W., Ma, N., Fang, Y., Zhao, L., An, X., Xin, Z. & Hu, Q. (2016). Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC-MS and electronic nose. *Lwt-Food Science and Technology*, 72, 343-350.
- Pirnazari, K., Esehaghbeygi, A., & Sadeghi, M. (2014). Assessment of quality attributes of banana slices dried by different drying methods. *International Journal of Food Engineering*, 10(2), 251-260.
- Santonico, M., Bellincontro, A., De Santis, D., Di Natale, C., & Mencarelli, F. (2010). Electronic nose to study postharvest dehydration of wine grapes. *Food Chemistry*, 121(3), 789-796.
- Scott, S. M., James, D., & Ali, Z. (2006). Data analysis for electronic nose systems. *Microchimica Acta*, 156(3-4), 183-207.
- Shahdadi, F., Mirzaei, H. O., & Garmakhany, A. D. (2015). Study of phenolic compound and antioxidant activity of date fruit as a function of ripening stages and drying process. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 52(3), 1814-1819.
- Shahdadi, F., Mirzaei, H. O., Garmakhany, A. D., Mirzaei, H., & Khosroshahi, A. G. (2013). Effect of drying process on antioxidant properties of date palm fruits, *Minerva Biotecnologica*, 25(4), 235-243.
- Wei, Z., Wang, J., & Zhang, W. (2015). Detecting internal quality of peanuts during storage using electronic nose responses combined with physicochemical methods. *Food Chemistry*, 177, 89-96.
- Yang, W., Yu, J., Pei, F., Mariga, A. M., Ma, N., Fang, Y., & Hu, Q. (2016). Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose. *Food Chemistry*, 196, 860-866.
- Zhang, W., Pan, L., Zhao, X., & Tu, K. (2016). A study on soluble solids content assessment using electronic nose: persimmon fruit picked on different dates. *International Journal of Food Properties*, 19(1), 53-62.