نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد دهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱
شماره صفحه: ۹۵-۸۴
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2021.4664.1168

مقاله پژوهشی:

طراحی و شبیه‌سازی یک سیستم الکترونیکی برای تحلیل گازهای گیاه زعفران

احسان عظیمی راد[۱*]، سیدرضا موحد قدسی نیا[۲]، حامد کاوه[۳]

۱- استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت‌حیدریه، تربت‌حیدریه، ایران.
۲- استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت‌حیدریه، تربت‌حیدریه، ایران.
۳- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت‌حیدریه، تربت‌حیدریه، ایران.
*نویسنده مسئول: *Email: e.azimi@torbath.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۶

چکیده

صنایع کشاورزی هم‌پای دیگر صنایع مهم در کشور نیازمند استفاده از حسگرها، آشکارسازها و آنالیزورهای گاز است. وظیفه اصلی این آنالیزورها، آشکارسازی انواع مختلف گازها و آلاینده های محیطی و تحلیل اطلاعات بدست آمده از آن برای تعیین کیفیت فیزیولوژیکی رشد گیاه، سنجش وضعیت ماندگاری اندام‌های برداشت شده همچون گل، میوه و امثال آن می‌باشد. زعفران، یکی از محصولات استراتژیک نواحی جنوبی و مرکزی خراسان بزرگ است که از جنبه‌های گوناگون از تأثیر در اشتغال و اقتصاد این مناطق تا بهره‌وری در مصرف نهاده‌های کشاورزی همچون آب خصوصیات منحصر به فرد دارد. تولید زعفران با هزینه‌های کنونی تنها در صورتی مقرون به‌صرفه خواهد بود که مدل‌سازی رشد آن در شرایط اقلیمی مناطق مختلف خراسان و با بررسی دقیق تبادلات گازی انجام گرفته و توصیه در مصرف نهاده‌ها صرفاً بر مبنای اصول کشاورزی دقیق پیش رود. از طرف دیگر عمرکوتاه گل زعفران که مکانیزم فرآوری (برداشت، جدا و خشک کردن اجزای گل) را مشکل می‌سازد با مطالعه دقیق تبادلات گازی قابل افزایش می‌باشد. در این مقاله سیستمی الکترونیکی مبتنی بر سنسورهای الکتروشیمیایی ارائه می‌شود که با شبیه سازی فعل و انفعال گازها، انواع گازهای موجود در محیط اطراف گیاه زعفران را تشخیص داده و بر روی صفحه نمایشگر نشان می دهد. تحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده از میزان گازهای آشکار شده اطراف گیاه (برحسب PPM و VOL (%))، توسط محققین کشاورزی و حوزه زعفران می‌تواند راهکارهایی را برای بهبود کیفیت رشد، حفظ طولانی‌تر گل در دوره پس از برداشت و امکان-سنجی تولید زعفران با شرایط گازهای کنترل شده در محیط گلخانه‌ای فراهم نماید.

واژه‌های کلیدی: آنالیزورهای گاز، سنسورهای الکتروشیمیایی، فیزیولوژی رشد زعفران، انبارمانی.

مقدمه

صنایع کشاورزی در کنار دیگر صنایع مهم در کشور مانند صنایع اتومبیل‌سازی، صنایع پتروشیمی، صنایع غذایی، صنایع نظامی، صنایع پزشکی و غیره، نیازمند استفاده از آنالیزورهای گاز است. وظیفه اصلی این آنالیزورها، آشکارسازی گازهای مختلف و سپس تحلیل اطلاعات به‌دست آمده از آن برای تعیین کیفیت گیاه، عیارسنجی آن، افزایش طول عمر و غیره می‌باشد. تبادلات گازی در اطراف محصولات کشاورزی حاوی اطلاعات ارزشمندی در مورد کیفیت و نوع آن‌ها است. در این‌باره تحقیقات متنوعی بر روی میوه‌ها، سبزیجات، غلات و گیاهان انجام شده است (Rivandi et al., 2020). در بین گیاهان مختلف، گیاه زعفران یکی از بااهمیت‌ترین گیاهان در صنعت کشاورزی دنیا و کشور ما است. این گیاه یکی از گران‌ترین محصولات کشاورزی و دارویی جهان بوده و قابلیت استفاده در اکثر فراورده های غذایی را دارد. سازگاری قابل توجه آن در برابر خشکی، موجب شده است تا زعفران نقش مهمی در وضعیت اقتصادی و اجتماعی مناطق خشک و نیمه خشک ایفا نماید (Kavousi et al., 2018). بالا بودن ارزش اقتصادی زعفران، اشتغال‌زایی قابل ملاحظه، قابلیت نگهداری این محصول با هزینه اندک و درعین حال طولانی‌مدت، کوتاه بودن طول دوره کاشت، محدود بودن دفعات آبیاری و صادراتی بودن از اهم دلایلی است که رغبت کشاورزان را در منطقه خراسان بزرگ نسبت به کشت زعفران افزایش داده است (Nizam-ol-Islami et al., 2019). گل زعفران در محیط اطراف خود گازهایی از نوع اکسیژن، منوکسیدکربن و اتیلن دارد که در صورت عدم شناسایی و آشکارسازی به‌موقع آن‌ها و عبور میزان آن‌ها از مرز مجاز، می توانند منجر به از بین رفتن گیاه شوند. ضمن اینکه علاوه بر موضوع حفظ و سلامت خود گیاه زعفران، موضوع کنترل هزینه‌های زیست محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع زعفران نیز به‌طور جدی اهمیت دارد (Nizam-ol-Islami et al., 2019). لذا ساخت یک آنالیزور گاز دقیق برای آشکارسازی و تحلیل میزان گازهای موجود در محیط اطراف گیاه زعفران و به عبارتی کنترل میزان مجاز این گازها، می‌تواند یک مسئله مهم و حیاتی و یک نیاز جدی در صنعت کشاورزی باشد. متخصصین با تحلیل اطلاعات آنالیزور گاز، می‌توانند راهکارهایی برای تعیین نوع و کیفیت بهتر زعفران، عیارزنی آن، کیفیت رنگ، نحوه نگهداری زعفران، افزایش طول عمر آن و مسائل مهم دیگری مانند مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و نظام خاک‌ورزی در مزارع زعفران ارائه نمایند (Aalizadeh et al., 2020). در این مقاله یک سیستم الکترونیکی ارائه شده است که انواع گازهای موجود در محیط اطراف گیاه زعفران را تشخیص داده و نشان می‌دهد. تحلیل اطلاعات به‌دست آمده از جمله میزان گازهای آشکار شده برحسب PPM و VOL (٪) می‌توانند راهکارهایی برای تعیین نوع و کیفیت زعفران، عیار آن، کیفیت رنگ و نحوه نگهداری زعفران ارائه نمایند.

بررسی غلظت گازهای مختلف موثر در فرآیند رشد و نمو در محیط مزارع گیاه زعفران مانند گازهای متان CH_4، دی‌اکسیدکربن CO_2، منواکسیدکربن CO، اتیلن C_2H_4 و اکسیژن O_2، ارزیابی تأثیر آن‌ها بر کیفیت رشد گیاه، انبارمانی گل تازه و محصول فرآوری شده آن، و استفاده از روش‌های کنترل مهندسی و مدیریتی برای ارزیابی عملکرد و کیفیت محصول و یا کاهش خسارت‌های احتمالی، از جمله مسائل اولویت‌دار و مهم در صنعت کشاورزی و زعفران محسوب می‌شوند (Ranjan & George, 2013). مجموعه گازهای جذب و منتشر شده از گیاه حاوی اطلاعات ارزشمندی در مورد کیفیت رشد آن‌ها است که به‌کمک حسگرها و آنالیزورهای گاز آشکار می‌شود (Torri, 2010). مهم‌ترین کارهای پژوهشی در این خصوص بر روی میوه‌ها، سبزیجات، گیاهان، غلات و تعیین سلامت درخت‌ها و نوع کود انجام شده است (Zhang et al., 2008). در زمینه میوه‌ها، می‌توان به‌بررسی تازگی آناناس، پایش فرآیند خشک کردن انگور، تعیین کیفیت هلو، دسته‌بندی انواع مختلف زردآلو، تشخیص ضایعات سیب و تعیین میزان رسیده بودن میوه‌ها اشاره نمود (Brezmes et al., 2005) . در زمینه گیاهان، می‌توان به‌تشخیص بیماری درخت‌ها، بررسی سلامت گیاهان در گلخانه، کنترل تشخیص آلودگی، تشخیص نوع زعفران، کیفیت و سنجش گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی اشاره نمود. (Spinelli *et al.*, 2010; Baby *et al.*, 2005; Carmona *et al.*, 2006; Concina *et al.*, 2009). در زمینه غلات، از حسگرهای گاز برای دسته‌بندی انواع برنج، تشخیص ضایعات ذرت، تشخیص آلودگی‌های قارچی غلات، بررسی کیفیت گندم

و دسته‌بندی انواع جو استفاده شده است (Zheng *et al.*, 2009; Cheli *et al.*, 2009; Paolesse *et al.*, 2008). کنترل فرآیند تولید کود، آشکارسازی گازهای ناشی از کود و کنترل هوای مرغ داری‌ها از دیگر کاربردهای آنالیزورهای گاز در کشاورزی و دامداری است که در تحقیقات محققین زیادی ارائه گردیده است (Nicolas *et al.*, 2006; Sohn *et al.*, 2008).

به‌منظور سنجش تبادلات گازی اطراف گیاه، روش‌های مختلفی ابداع شده که بر حسب ساز و کار و فناوری به‌کار رفته، قادر به تشخیص، تعیین مکان و برآورد میزان گاز تولید شده خواهند بود. یکی از بهترین روش‌ها استفاده از آنالیزور گاز می‌باشد (Tian *et al.*, 2005). آنالیزورهای گاز تجهیزاتی هستند که به‌منظور شناسایی و مانیتورینگ گازها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Geeta & Rohit, 2017). وظیفه اصلی این آنالیزورها، آشکارسازی انواع مختلف گازها جهت تعیین کیفیت گیاه، عیارسنجی و افزایش طول عمر آن می‌باشد. یکی از قطعات مهم در این آنالیزورها، سنسور است. اهمیت سنسورهای محیطی در ارزیابی کیفیت رشد گیاه برکسی پوشیده نیست. امروزه در گلخانه‌ها و مزارع ارزیابی دما، رطوبت با استفاده از سنسورهای مختلفی انجام می گیرد. سنسورهای تشخیص گاز از دسته دیگری از سنسورهای محیطی هستند که در تولید محصولات در شرایط کنترل شده و به‌منظور بهبود عملکرد رشدی گیاه و همچنین در انبارهای نگهداری محصولات کشاورزی به‌طورعمده در کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار می‌گیرند. سنسورهای گاز معمولاً با توجه به تکنولوژی به‌کار رفته جهت تشخیص گازها به انواع (۱) سنسورهای گازی با تکنولوژی مادون قرمز (Okeke & Ehikhamenle, 2017)، (۲) سنسورهای گازی (Soundarya *et al.*, 2014)، (۳) سنسورهای گازی کاتالیستی (Okeke & Ehikhamenle, 2017) و (۴) سنسورهای گازی با تکنولوژی نیمه‌هادی‌ها (Kowshika *et al.*, 2019)، طبقه‌بندی می‌گردند. شکل ۱ نمونه‌ای واقعی از این سنسورهای آشکارساز گاز را نمایش می‌دهد.

شکل ۱. سنسورهای آشکارساز گاز: الف) IR، ب) الکتروشیمیایی، ج) کاتالیستی، د) نیمه‌هادی

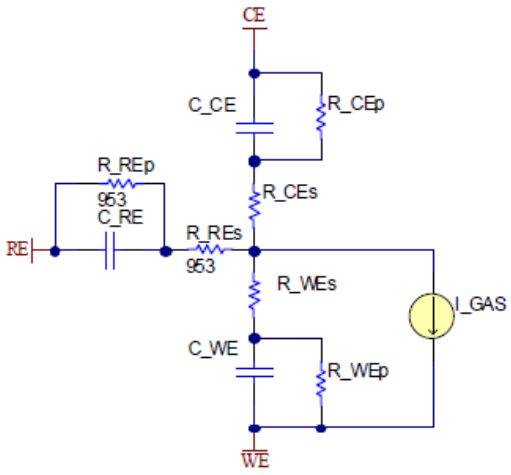
Fig 1. The gas detector sensors: (a) IR, (b) Electrochemical, (c) Catalytic, (d) Semiconductor

در کنار سنسورهای گاز یا به‌عبارت دیگر بینی الکترونیکی (حسگرها) که وظیفه بو کشیدن یک نوع گاز در محیط اطراف خود را برعهده دارند، آنالیزورهای گاز دیگری نیز وجود دارند که از قابلیت بو کشیدن و آشکارسازی همزمان چند نوع گازهای خاص گیاهان مانند گازهای اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و اتیلن برخوردارند (Heidarbeigi *et al.*, 2015; Kiani *et al.*, 2016; Kiani *et al.*, 2017). به‌طور مثال آنالیزورهای F-750، F-900، F-920 و F-950 ساخت شرکت Felix آمریکا که آشکارسازی و تحلیل دو یا هر سه نوع گاز بیان شده را انجام می‌دهند. آنالیزور F-750 برای ارزیابی معیارهای کیفی مواد غذایی مانند خشکی، اسیدیته قابل جذب و رنگ مواد استفاده می‌شود (Felix, 2020). آنالیزورهای F-900 و F-950 آشکارسازی هر سه نوع گاز را انجام می‌دهند (Felix, 2019; Felix, 2013). F-920 نیز آشکارسازی و تحلیل دو نوع گاز اکسیژن و دی-اکسیدکربن را انجام می‌دهد (Felix, 2016). شکل ۲ تصاویر این آنالیزورها را نشان می‌دهد.

شکل ۲. تصاویری از دو دستگاه الکترونیکی آشکارساز گاز F-920 و F-950
Fig 2. The pictures of two electronic gas detector devices F-920 and F-950

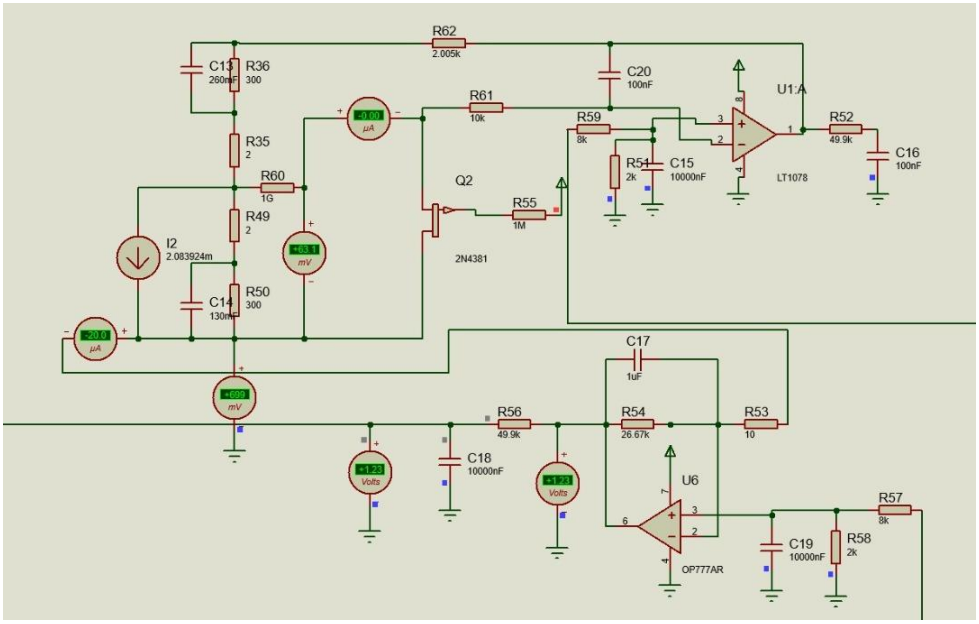
مواد و روش‌ها

دستگاه‌های آنالیزور گاز که نقش اصلی آشکارسازی گازها برای غلات، میوه‌جات و گیاهانی از جمله گیاه زعفران را برعهده دارند دارای اجزای گوناگون و مهمی هستند که از جمله این اجزاء می‌توان به سنسور و راه‌انداز سنسور اشاره نمود. گام اول در ساخت دستگاه آنالیزور گاز، طراحی و شبیه‌سازی بُرد اصلی الکترونیکی دستگاه است تا با تحلیل ارتباطات منطقی بین هر جزء مدار و طراحی مدار کامل الکترونیکی دستگاه بتوان مقدمات پیاده‌سازی و ساخت دستگاه در شرایط واقعی را فراهم نمود. این مقاله به ارائه نتایج حاصل از طراحی و شبیه‌سازی مدار اصلی آنالیزورهای گاز می‌پردازد و نتایج حاصل از پیاده-سازی و ساخت دستگاه و ارائه داده‌های حقیقی ناشی از تست آزمایشگاهی و میدانی دستگاه در مقالات و کارهای تحقیقاتی بعدی ارائه خواهد گردید. در مرحله طراحی و شبیه‌سازی بُرد دستگاه، ابتدا شماتیک مدارات هر جزء از مجموع اجزاء استفاده شده در بُرد الکترونیکی دستگاه در نرم‌افزار قدرتمند تحلیل و طراحی مدارات الکترونیک پروتئوس طراحی و مورد ارزیابی و اجرا قرار گرفت و رفتار خروجی‌های حاصل از هر جزء مدار، با داده‌های ارائه شده در دیتاشیت هر قطعه مورد مقایسه و صحت‌سنجی قرار گرفت. یکی از قطعات مهم سنسورها هستند که در این مقاله از سنسورهای الکتروشیمیایی و مادون قرمز استفاده شده است. سنسورهای گاز اتیلن و اکسیژن که در این مقاله برای آشکارسازی گازها در گیاه زعفران مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در زمره سنسورهای الکتروشیمیایی قرار دارند. در حالی‌که سنسور دی-اُکسیدکربن برمبنای نوع عملکردش از تکنیک اشعه مادون قرمز بدون پراکندگی استفاده می‌کند. این سنسورها میزان گاز را برحسب VOL(%) و PPM و به‌ترتیب به میزان ۰ تا ۱۰۰ درصد برای گازهای اکسیژن و دی‌اُکسیدکربن و ۰ تا ۲۰۰ PPM برای گاز اتیلن آشکار می‌نمایند. یک سنسور گاز الکتروشیمیایی حاوی یک غشاء گاز و دو یا سه الکترودِ دو پایه یا سه پایه که در تماس با یک الکترولیت است می‌باشد. این الکترودها عبارتند از WE، RE و CE. گاز از منافذ غشایی وارد سنسور می شود که میزان انتشار گاز را محدود می کند. هنگامی که گاز به الکترود WE می‌رسد، یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد که این واکنش می‌تواند از نوع اُکسیداسیون به‌معنای افزایش الکترون‌ها مانند گازهای منواکسیدکربن (CO)، اسید سولفوریک (H_2S) و اُکسید نیتروژن (NO) و یا از نوع ریداکشن به معنای کاهش الکترون مانند گازهای اکسیژن (O_2)، دی‌اُکسید نیتروژن (NO_2) و دی‌کلراید (CL_2) باشد. براساس نوع واکنش، جریان سنسور می‌تواند مثبت یا منفی باشد که این جریان متناسب با غلظت گاز است (Martin et al., 2004). مدار معادل سنسور در این مقاله در شکل ۳ نشان داده شده است (Alphasense, 2013).



شکل ۳. مدار معادل سنسورهای الکتروشیمیایی
Fig 3. The equivalent circuit of electrochemical sensors

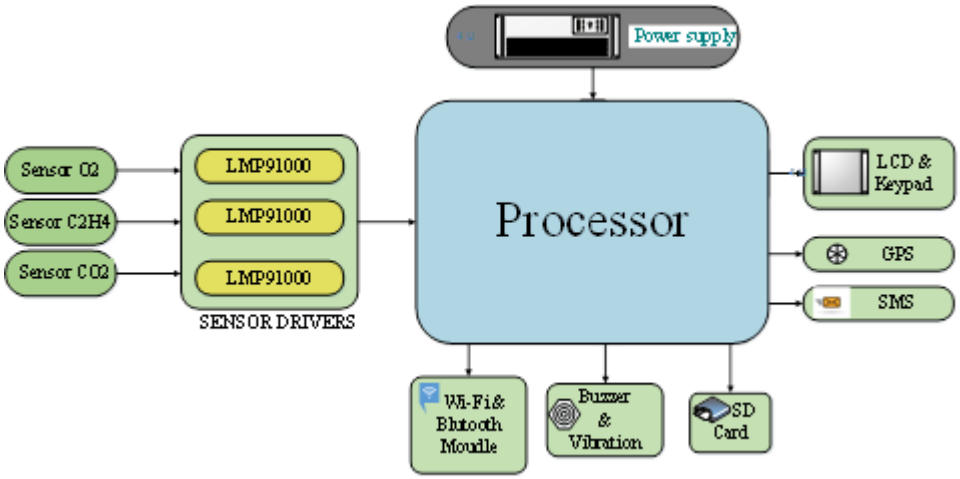
برای خواندن داده‌های سنسور و تحویل آن‌ها به پردازنده از یک آی‌سی به‌نام LMP91000 استفاده شده است. این آی‌سی شامل دو بخش اساسی است که هرکدام وظیفه‌ای دارند. در بخش اول به‌منظور حفظ ناحیه خطی کار، ولتاژ بایاس سنسور تنظیم می‌شود و در بخش دوم که به مدار TIA معروف است، جریان حاصل از سنسور به ولتاژ تبدیل می‌شود (Texas Instruments, 2011; National Semiconductor, 2011). شکل ۴ مدار معادل راه‌انداز سنسور اتیلن و اکسیژن را نمایش می‌دهد.



شکل ۴. مدار معادل راه‌انداز سنسورهای الکتروشیمیایی
Fig 4. The equivalent circuit of the electrochemical sensors driver circuit

علاوه بر سنسورها و درایو راه‌انداز سنسورها، مدار منبع تغذیه، مدار پردازنده، مدار تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال و بالعکس، مدار رابط‌های کاربری، مدار گذرگاه I_2C، مدار محافظ، مدار ذخیره و ارسال داده و مدار راه‌انداز مینی‌پمپ در کنار اجزاء مکانیکی مانند فیلترها و پراب، از جمله مهم‌ترین بخش‌های الکترونیکی سیستم آنالیزور گاز هستند. مدار منبع تغذیه وظیفه تأمین ولتاژ قسمت های مختلف مدار را برعهده دارد. مدار پردازنده نیز وظایف مختلفی از جمله تنظیم رجیسترهای LMP91000، خواندن ولتاژ خروجی ADC، راه‌اندازی

ماژول‌های مختلف، تنظیم دمای سنسور و LMP91000 و کالیبراسیون را برعهده دارد. سایر مدارات بالا به‌ترتیب وظیفه تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال و بالعکس، راه‌اندازی LCD، بیزر و LED، تنظیم رجیسترهای LMP91000 از طریق میکروکنترلر و مدار گذرگاه I_2C، حفاظت از اجزاء حساس مدار مانند سنسورها و غیره، ذخیره‌سازی اطلاعات دریافتی از USB Card و ارسال داده از طریق ماژول‌های Bluetooth و Wi-Fi و راه‌اندازی و تنظیم دور مینی‌پمپ برای داشتن مکش مناسب را برعهده دارند. با توجه به محدودیت حجم تعداد صفحات مقاله، امکان گذاشتن همه اجزای مداری وجود ندارد و مدار کامل الکترونیکی پیشنهادی این مقاله در بخش بعد ارائه شده است. مکانیزم عملکرد مدل الکترونیکی پیشنهادی به این صورت است که مدار دستگاه، گاز نشت شده موجود در اطراف گیاه زعفران را از طریق مینی‌پمپ مکش نموده و میزان گاز مکش شده را اندازه‌گیری و بر روی صفحه نمایشگر به‌نمایش می‌گذارد. مدل الکترونیکی دستگاه تمام این داده‌ها را بر روی حافظه جانبی ذخیره می‌کند. پردازنده در مدل پیشنهادی که وظیفه دریافت اطلاعات، پردازش آن‌ها و نمایش اطلاعات تحلیل شده بر روی صفحه نمایش را دارد از نوع میکروکنترلر ARM STM32F407IGT می‌باشد. شکل ۵ بلوک دیاگرام مدل الکترونیکی پیشنهادی و جدول ۱ مشخصات فنی سنسورهای آشکارساز گازها را نشان می‌دهند. در این شکل، داده‌های آشکارشده از سه سنسور اتیلن، اکسیژن و منواکسیدکربن وارد درایو راه‌انداز شده و خروجی به پردازنده جهت تصمیم‌گیری وارد می‌شود.



شکل ۵. بلوک دیاگرام مدار الکترونیکی آشکارساز گاز پیشنهادی

Fig 5. The proposed block diagram of the gas detector electronic circuit

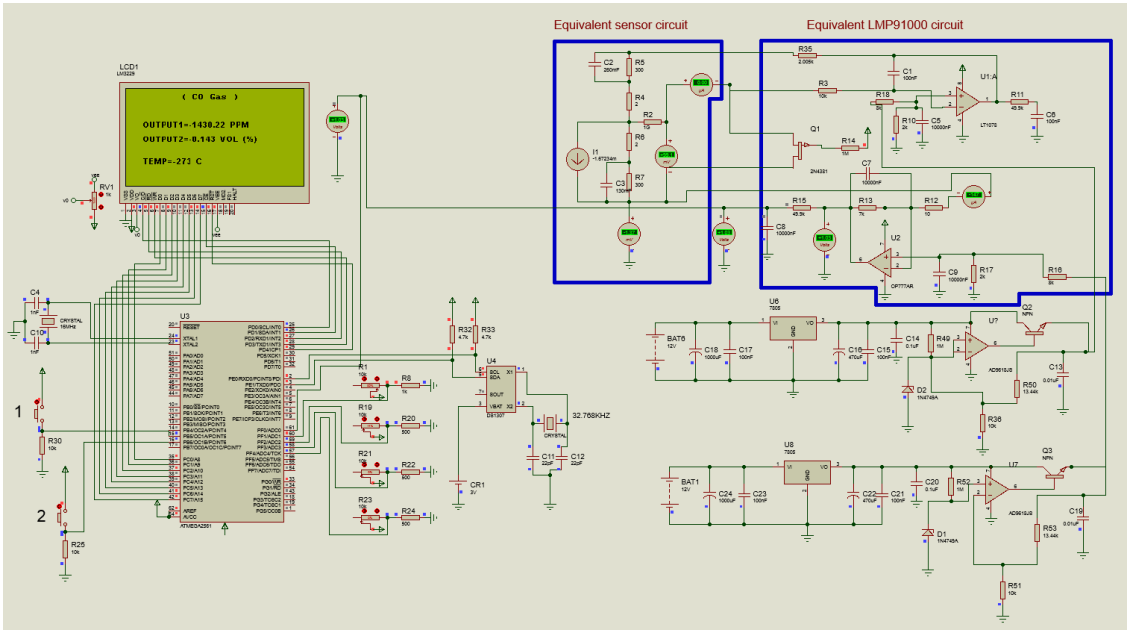
جدول شماره ۱. مشخصات فنی سنسورها

Table 1. Technical specifications of sensors

مشخصه **Characteristic**	سنسور اکسیژن **Oxygen Sensor**	سنسور منوکسیدکربن **Carbon Monoxide Sensor**	سنسور اتیلن **Ethylene Sensor**
رنج Range	0- 100%	0- 5000 *ppm*	0- 200 *ppm*
دقت Resolution	0.01%	0.5 *ppm*	0.5 *ppm*
زمان پاسخگویی Response Time	< 5 sec.	< 25 sec.	< 60 sec.
محدوده دمایی Temperature Range	-20 to 50 C	-30 to 50 C	-20 to 50 C
رنج رطوبت Humidity Range	0- 99%	15- 90%	15- 90%

نتایج و بحث

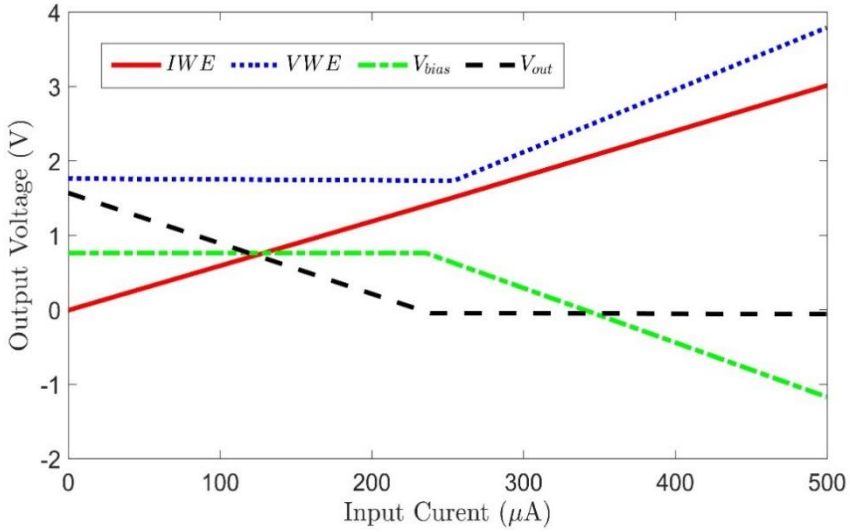
در این مقاله یک مدل الکترونیکی برای طراحی سیستم آنالیزور گاز به‌منظور نمایش نوع و میزان گازهای مجاز در اطراف گیاه زعفران شامل گاز اکسیژن، دی‌اُکسیدکربن و اتیلن ارائه گردید. این مدل قابلیت انتقال اطلاعات دریافتی از آنالیزور به سیستم مرکزی یا ذخیره اطلاعات در حافظه جهت انجام تحلیل‌های لازم را داشته و اطلاعات به‌دست آمده از آن می‌تواند متخصصین را در تعیین نوع و کیفیت زعفران، کیفیت رنگ و نحوه نگهداری زعفران کمک نماید. این سیستم الکترونیکی به‌گونه‌ای طراحی شده است که می‌تواند خروجی گازهای آشکارشده توسط سنسور را از اطراف گیاه زعفران تشخیص داده و نمایش دهد. کشاورزان و محققین حوزه زعفران، با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از این گازها و آنالیز و بررسی آن‌ها می‌توانند تصمیمات مناسبی جهت حفظ و ارتقاء کیفیت گیاه زعفران و مزارع زعفران اتخاذ نمایند. شکل ۶ خروجی نهایی مدل الکترونیکی سیستم آنالیزور گاز را نشان می‌دهد. تمام المان‌ها و ماژول‌های الکترونیک دستگاه با نرم‌افزار تحلیل و طراحی پروتئوس طراحی و در مدار زیر به‌صورت مجتمع و در قالب یک مدار کامل نشان داده شده‌اند.



شکل ۶. مدار الکترونیکی نهایی پیشنهادی آشکارساز گاز

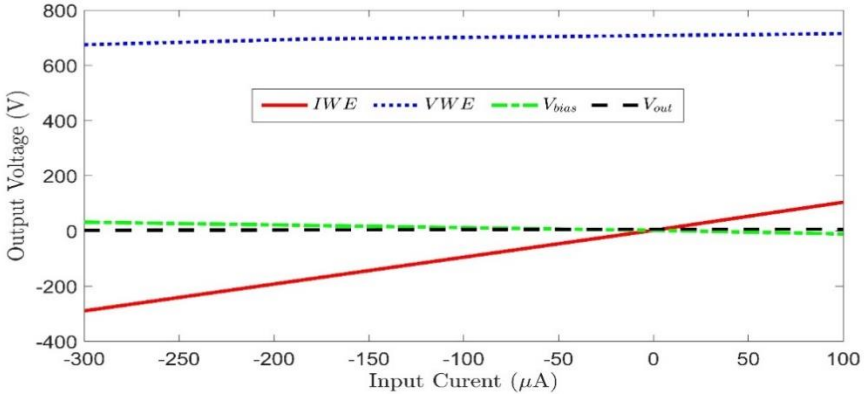
Fig 6. The proposed final electronic circuit of the gas detector

نمودار نتایج شبیه‌سازی سیستم الکترونیک پیشنهادی در این مقاله، شامل سنسورهای دستگاه، راه‌انداز سنسورها و مدار کنترل‌کننده دما که بوسیله‌ی نرم‌افزار MATLAB انجام شده است برای گازهای مدنظر شامل گاز اکسیژن و گاز اتیلن در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده‌اند. در این شکل‌ها، تغییرات ولتاژ خروجی مدار LMP91000 را برحسب جریان ورودی به مدار LMP91000 نشان داده شده‌اند. برق ورودی ۷,۴ ولتی از طریق باتری‌های قابل شارژ و قابل اتصال به برق شهر تأمین می‌شود. سپس این ولتاژ از طریق مدار تغذیه به ولتاژ ۵ ولت برای تأمین عملکرد سنسورها و ولتاژ ۳,۳ ولت برای تأمین عملکرد پردازنده ARM تبدیل می‌شود. لذا در عمل تغییر ولتاژ در سنسور ها وجود ندارد و تثبیت ولتاژ در سنسورها اتفاق می‌افتد. جریان خروجی سنسورها هنگامی‌که به مدار راه‌انداز سنسور اعمال می‌شود، تغییرات ولتاژی را در خروجی مدار راه‌انداز ایجاد می‌کند اما، تغییرات ولتاژ روی سنسورها اساساً وجود ندارد و سنسورها با تغییرات ولتاژ تغییر عملکردی ندارند. صرفاً تغییرات ولتاژ در ورودی مدار وجود دارد و در درون مدار به حالت ثابت درمی‌آید.



شکل ۷. تغییرات ولتاژ خروجی بر حسب جریان ورودی در سنسور اکسیژن

Fig 7. The output voltage changes according to the input current in the oxygen sensor

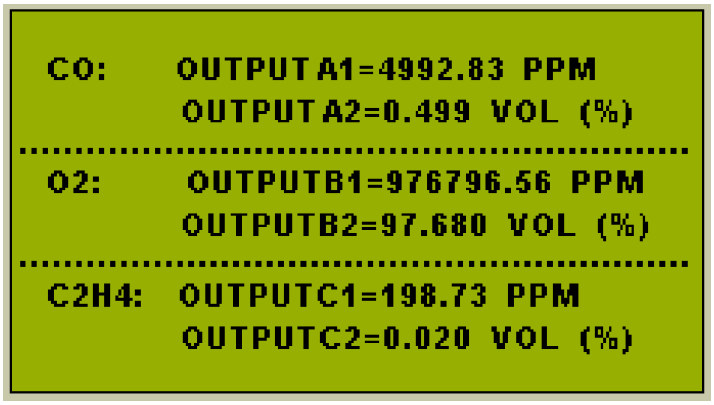


شکل ۸. تغییرات ولتاژ خروجی بر حسب جریان ورودی در سنسور اتیلن

Fig 8. The output voltage changes according to the input current in the ethylene sensor

نمودار نتایج شبیه‌سازی سنسور اکسیژن در شکل ۷ نشان دهنده‌ی این است که ناحیه خطی کار مدار، به‌ازای 0<IWE<240 میکروآمپر می‌باشد، که در این ناحیه، V_{bias}و VWE ثابت و V_{out} با شیب منفی در حال تغییر است. همچنین نمودار نتایج شبیه‌سازی سنسور اتیلن در شکل ۸ نشان دهنده‌ی این است که ناحیه خطی کار مدار، به‌ازای160-<IWE<20 میکروآمپر می‌باشد، که در این ناحیه V_{bias} و VWE ثابت و V_{out} با شیب منفی در حال تغییر است. با فعال‌شدن سنسورها، صفحه نمایشگر در این مدل، تبادلات گازی آشکارشده را نشان می‌دهد. صفحه نمایشگر آنالیزور فوق، می‌تواند هر سه نوع گاز اکسیژن، منوکسیدکربن و اتیلن را به‌طور همزمان نمایش دهد به‌طوری‌که میزان پیچیدگی برنامه پردازنده الکترونیکی آنالیزور به تعداد و نوع گازهای نشت‌یافته ارتباط مستقیم دارد. تحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده از جمله میزان گازهای آشکار شده برحسب PPM و VOL (%) که به‌کمک متخصصین در تحلیل اطلاعات فوق می‌آید و از آن در تصمیم‌گیری‌ها استفاده می‌کنند، در شکل ۹ نشان داده شده است.

همچنین، در جدول ۲، تغییرات نهایی خروجی سیستم پیشنهادی نمایش داده شده است. این جدول تغییرات حجم گازهای آشکارشده (سه گاز بیان شده در متن مقاله)، برحسب PPM و (٪) با تشریح تغییرات دما از ۳۰- تا ۵۰+ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.



شکل ۹. گازهای آشکارشده در شبیه‌سازی مدار کامل الکترونیکی پیشنهادی

Fig 9. The detected gases in a simulation of the proposed complete electronic circuit

جدول ۲. خروجی گازهای آشکارشده برحسب تغییرات دما در سیستم الکترونیکی پیشنهادی

Table 2. The output of detected gases based on temperature changes in the proposed electronic system

دما Temperature (C)	گاز منواکسیدکربن Monoxide Carbon (PPM)	گاز اتیلن Ethylene Gas (PPM)	گاز اکسیژن Oxygen Gas (%)
-30	504	6.482	1093
-20	445	6.198	443
-10	341	5.9622	194
0	247	5.7633	116.5
10	178.6	5.5899	99.17
20	134	5.437	97
30	102.3	5.3087	95.55
40	76.5	5.209	89.2
50	60.1	5.124	76.14

نتیجه‌گیری

نیاز صنعت کشاورزی به‌ویژه صنعت زعفران به‌استفاده از آشکارسازهای گاز برای دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر از گازهای نشت‌یافته در اطراف گیاهان برای حفظ سلامتی، مرغوبیت و کیفیت گیاهان و افزایش کیفیت و عیار گیاه زعفران ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. هسته اصلی این آشکارسازها، یک سیستم الکترونیکی است که قلب آن‌را سنسورهای الکتروشیمیایی برای اندازه‌گیری و سنجش میزان گازهای منتشرشده در اطراف گیاه تشکیل می‌دهند. در این مقاله، یک سیستم الکترونیک با کمک نرم‌افزار پروتئوس پیشنهاد گردید که مبتنی بر سنسورهای الکتروشیمیایی طراحی و نتایج شبیه‌سازی براساس تغییرات دما و عملکرد سنسورها و تغییرات ولتاژ و جریان هرکدام از سنسورها ارائه شد. نتایج شبیه‌سازی در خروجی صفحه نمایشگر سیستم الکترونیک، نشان‌دهنده گازهای موجود در محیط اطراف گیاه زعفران است که به تغییرات دما نیز حساس بوده و در برابر تغییرات دما در هر لحظه از شبانه‌روز و در هر محیطی واکنش نشان می‌دهند. اندازه‌گیری میزان گازهای اکسیژن، اتیلن و دی‌اکسیدکربن در اطراف گیاه زعفران باعث می‌شود تا کشاورزان و محققین حوزه زعفران، با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از این گازها و آنالیز و بررسی آن‌ها بتوانند تصمیمات مناسبی جهت حفظ و ارتقاء کیفیت گیاه زعفران و مزارع مربوطه اتخاذ نمایند. تغییر ترکیب گاز اطراف گیاه هم می‌تواند ناشی از تغییر گازهای جو و هم ناشی از وضعیت سلامتی و رشد گیاه و ناشی از نحوه مدیریت اعمال شده بر آن باشد. اندازه‌گیری غلظت گازهای اطراف گیاه در میکروکلیمای اطراف گیاه که عمدتاً تغییر گازهای آن ناشی از وضعیت درونی گیاه است، یک معیار مناسب از وضعیت رشدی گیاه را ارائه خواهد نمود. آن‌چنان‌که در حال حاضر برای سنجش وضعیت تنفسی، فتوسنتزی و عملکرد گیاه نسبت به دما،

آبیاری و تغذیه در بسیاری از گیاهان پیازی و غیرپیازی ارزیابی شرایط گازی اطراف گیاه مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین، ایجاد چنین سیستم اندازه گیری، گامی به سمت کشاورزی دقیق بوده و بهره‌وری آب و کودهای شیمیایی را در تولید محصولات کشاورزی از جمله زعفران بهبود خواهد بخشید.

منابع

Aalizadeh, M.B., Makarian, H., Ebadi, E., and Shafaroodi, A. (2020). Evaluation of the effect of different fertilizer treatments on yield and some reproductive traits of Saffron in the climatic conditions of Ardabil, *Journal of Saffron Research, 9(1): 11-27*. [In Persion]

Alphasense, L. (2013). Modeling Amperometric Electrochemical Gas Sensors, Alphasense Application Note, Available at Web site http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2014/01/AAN_111.pdf.

Baby, R., Cabezas, M., Castro, E., Filip, R., and WalsöedeReca, N.E. (2005). Quality control of medicinal plants with an electronic nose, *Sensors and Actuators B, 106(1): 24-28*.

Brezmes, J., Fructuoso, M.L.L., Llobet, E., Vilanova, X., Recasens, I., and et al., (2005). Evaluation of an electronic nose to assess fruit ripeness, *IEEE Sensors Journal, 5(1): 97-108*.

Carmona, M., Martinez, J., Zalacain, A., Rodriguez-Mendez, M.L., de Saja, J.A., and et al. (2006). Analysis of saffron volatile fraction by TD-GCMS and E-nose, *European Food Research and Technology, 223(1): 96-101*.

Cheli, F., Campagnoli, A., Pinotti, L., Savoini, G., and Dell'Orto, V. (2009). Electronic nose for determination of aflatoxins in maize, Biotechnology Agronomy Society at Environment, *13(1): 39-43*.

Concina, I., Falasconi, M., Gobbi, E., Bianchi, F., Musci, M., and et al. (2009). Early detection of microbial contamination in processed tomatoes by electronic nose, *Food Control, 20(1): 873-880*.

Felix, L. (2019). F-950 Instruction Manual, https://felixinstruments.com/food-science-instruments/handheld-ethylene-co2-o2-analysis/f-950-three-gas-analyzer/.

Felix, L. (2020). F-750 Produce Quality Meter,https://felixinstruments.com/food-science-instruments/portable-nir-analyzers/f-750-produce-quality-meter/.

Felix, L. (2013). F-900 Operations Manual,https://felixinstruments.com/food-science-instruments/handheld-ethylene-co2-o2-analysis/f-900-portable-ethylene-analyzer/. (verified 2020)

Felix, L. (2016). F-920 Instruction Manual, https://felixinstruments.com/food-science-instruments/headspace-map-analysis/f-920-check-it-gas-analyzer/.

Felix, L. (2014). F-950 Instruction Manual, https://felixinstruments.com/static/media/uploads/manuals/f950_manual.pdf

Geeta L., and Rohit B. (2017). Design & Implementation of LPG Gas Detector using GSM Module, *International Journal on Emerging Technologies, 8(1): 98-100*.

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*.

Kavousi, M., Khashei Siuki, A., and Behdani, M.A. (2018). Efficiency of support vector machine models and gene expression programming in predicting saffron yield, *Journal of Saffron Research, 8(2): 343-358*. [In Persion]

Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2016). A portable electronic nose as an expert system for aroma-based classification of saffron, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 156, 148-156*.

Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2017). Integration of computer vision and electronic nose as non-destructive systems for saffron adulteration detection. *Computers and Electronics in Agriculture, 141, 46-53*.

Kiani, S., Minaei, S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Ayyari, M. (2017). An original approach for the quantitative characterization of saffron aroma strength using electronic nose. *International journal of food properties, 20(sup1), S673-S683*.

Kowshika, V., Akila, K., Nagaraj, S., Surendar, S., and Kalpanadevi, S. (2019). E- Safety Provider, *International Journal of Engineering*

Science and Computing, 9(3): 20909-20913.

Martin, S.M., Gebara, F.H., Strong, T.D., and Brown, R.B. (2004). A low-voltage, chemical sensor interface for systems-on-chip: the fully-differential potentiostat. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (IEEE Cat. No.04CH37512), Vancouver, Canada, 23-26*.

National Semiconductor. (2011). Applications LMP91000 Sensor AFE System: Configurable AFE Potentiostat for Low-Power Chemical Sensing, Available at Web site https://datasheet.octopart.com/LMP91000SDE/NOPB-National-Semiconductor-datasheet-10031884.pdf.

Nicolas, J., Romain, A.C., and Ledent, C. (2006). The electronic nose as a warning device of the odour emergence in a compost hall, *Sensors and Actuators B, 116(1): 95-99*.

Nizam-ol-Islami, A., Abolhassani L., Shahnoshi N., Karbasi A., and Khezri D. (2019). Estimation of environmental costs of greenhouse gas emissions in saffron farms (Case study of Torbat-e Heydarieh), *Journal of Saffron Agronomy and Technology, 7(2): 245-285*. [In Persian]

Okeke, R., and Ehikhamenle, M. (2017). Design and simulation of gas and fire detector and alarm system with water sprinkle, *International Journal of Engineering Research and General Science, 5(1): 216-225*.

Paolesse, R., Alimelli, A., Martinelli, E., Natale, C.D., D'Amico, A., and et al. (2008). Detection of fungal contamination of cereal grain samples by an electronic nose, *Sensors and Microsystems, 385-390*.

Ranjan, A., and George, B. (2013). A child-left-behind warning system based on capacitive sensing principle. *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013, p. 702-706*.

Rivandi, M., Ghasemnezhad, A., Hemmati, K., Ghorbani, K., Abhari, A. (2020). Effects of pH, Bicarbonate and Salinity of Irrigation Water on Yield and Flowers Yield Components of Saffron, *Journal of Saffron Research, 8(2): 241-253*. [In Persian].

Sohn, J.H., Hudson, N., Gallagher, E., Dunlop, M., Zeller, L., and et al. (2008). Implementation of an electronic nose for continuous odour monitoring in a poultry shed, *Sensors and Actuators B, 133(1): 60-69*.

Soundarya, T., Anchitaalagammai, J.V., Deepa, P., and KarthickKumar, S.S. (2014). C-leakage: Cylinder LPG Gas Leakage Detection for home safety, *IOSR Journal of Electronics and Communication (IOSR-JECE), 53-58*.

Spinelli, F., Noferini, M., Vanneste, J.L., and Costa, G. (2010). Potential of the electronic-nose for the diagnosis of bacterial and fungal diseases in fruit trees, *OEPP/EPPO Bulletin, 40(1): 59-67*.

Texas Instruments. (2011). LMP91000 Sensor AFE System: Configurable AFE Potentiostat for Low-Power ChemicalSensing Applications, Available at Web site http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmp91000.pdf.

Tian, F., Yang, S., and Dong, K. (2005). Circuit and noise analysis of odorant gas sensors in an E-nose, *Sensors, 5(1): 85-96*.

Torri, L., Sinelli N., and Limbo, S. (2010). Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose, Postharvest Biology and Technology, 56: 239-245.

Zhang, H., Chang, M., Wang J., and Ye, S. (2008). Evaluation of peach quality indices using an electronic nose by MLR, QPST and BP network, *Sensors and Actuators B Chemical, 134(1): 332-338*.

Zheng, X.Z., Lan, Y.B., Zhu, J.M., Westbrook, J., Hoffmann, W.C., and et al. (2009). Rapid identification of rice samples using an electronic nose, *Journal of Bionic Engineering, 6(1): 290-297*.

COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Journal of Saffron Research (semi-annual)

Vol.10, No.1, Spring & Summer, 2022

p. 84-95

http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2021.4664.1168

University of Birjand

Original Article:

Design and Simulation of an Electronic System for Analysis of Saffron Plant Gases

Ehsan Azimirad[1*], Seyed Reza Movahhed Ghodsinya[2], Hamed Kaveh[3]

1- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

** Corresponding author Email: e.azimi@torbath.ac.ir*

Received 03 September 2021; Accepted 28 October 2021

Abstract

Agricultural industries with other important industries in the country require to the use of sensors, detectors and gas analyzers. The main task of these analyzers is to detect of the different gases types and environmental pollutants and analyze the information obtained from it, to determine the physiological quality of plant growth, measure the shelf life of harvested organs, such as flowers, fruits and suchlike. Saffron is one of the strategic products of the southern and central regions of greater Khorasan, which has unique characteristics in various aspects, from the effect on employment, the economy of these regions and productivity in the consumption of agricultural inputs, such as water. Production of saffron at current costs will be cost-effective only if its growth is modeled in the climatic conditions of different regions of Khorasan and by carefully examining gas exchanges and recommending the use of inputs based solely on precise agricultural principles. On the other hand, the short life of saffron flowers, which makes the processing mechanism difficult (harvesting, separating and drying the flower components), can be increased by carefully studying gas exchanges. In this paper, an electronic system based on electrochemical sensors is presented, which, by simulating the interaction of gases, detects the gases types in the environment around the saffron plant and displays them on the screen. Analysis of the information obtained from the amount of gases detected around of the plant (in terms of PPM and VOL (%)), can provide solutions by agricultural and saffron researchers to improve the quality of growth, maintain flowers longer in the post-harvest period and the possibility of provide saffron production with controlled gas conditions in the greenhouse environment.

Keywords: Gas analyzers, Electrochemical systems, Saffron growth physiology, storage.