

## طراحی و ساخت سامانه اندازه‌گیری میزان تنفس در محصولات کشاورزی (مطالعه موردی کاهو)

زهرا احمدی<sup>۱</sup>، محمدهادی خوش‌تقاضا<sup>۲\*</sup>، سامان آبدانان مهدی‌زاده<sup>۳</sup>

۱. تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (ahmadi.zahra7774@gmail.com)
۲. تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (khoshtag@gmail.com)
۳. ملاتانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (s.abdanan@asnrukh.ac.ir)

### چکیده

در سال‌های اخیر بسته‌بندی محصولات کشاورزی با چالش‌های اساسی مواجه بوده است. یکی از این چالش‌ها اندازه‌گیری میزان اکسیژن در هنگام تنفس محصولات برداشت شده است. از آنجایی که سنسورها و دستگاه‌های اندازه‌گیری اکسیژن بسیار گران قیمت هستند، محققان بدنبال یافتن روش‌های جایگزین می‌باشند. هدف مقاله حاضر یافتن مدلی ریاضی برای محاسبه میزان اکسیژن و دی‌اکسید کربن محصولات کشاورزی هنگام تنفس با استفاده از اندازه‌گیری دما، رطوبت و فشار تفاضلی و مطلق است. پژوهش حاضر در دو سطح دمایی (۲۵ و ۱۵ درجه سلسیوس) و سه سطح مدت زمان نگهداری (۵، ۱۰ و ۱۵ ساعت) انجام گرفت. داده‌های اندازه‌گیری شده و نمودارهای بدست آمده (از مدل ریاضی) با استفاده از نرم‌افزار متلب با یکدیگر مقایسه شد. بر اساس نتایج مدل ریاضی توانایی پیش‌بینی میزان اکسیژن و دی‌اکسید کربن را با خطای جذر میانگین مربعات ۵/۲ و ۲/۲ (گرم بر کیلوگرم) برای دمای ۲۵ و ۱۵ درجه سلسیوس و ۶۶/۶۴ و ۲۰۹/۸۷ (گرم بر کیلوگرم) برای ۲۵ و ۱۵ درجه سلسیوس را دارا می‌باشد.

### کلمات کلیدی:

## تنفس محصول، انبارمانی، مدل سازی تنفس

# طراحی و ساخت سامانه اندازه گیری میزان تنفس در محصولات کشاورزی (مطالعه موردی کاهو)

### ۱. مقدمه

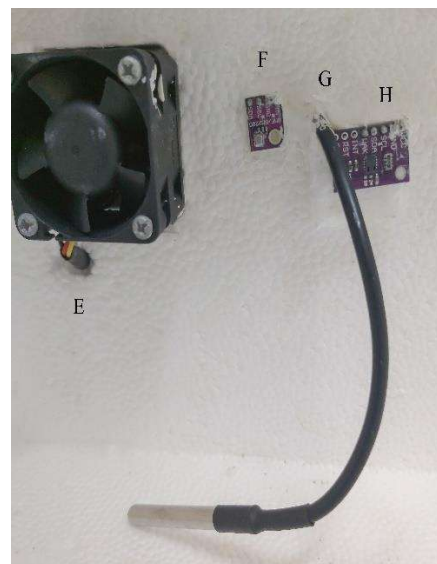
در سال‌های اخیر با توجه به رشد سریع جمعیت جهان، نیاز به مواد غذایی تازه و سالم در بین مصرف کنندگان افزایش یافته است. ایجاد شرایط مناسب نگهداری محصول پس از برداشت جهت افزایش ماندگاری، کاهش ضایعات و حفظ کیفیت محصولات کشاورزی از مهمترین چالش‌ها در زمینه پس‌از برداشت می‌باشد. میوه‌ها و سبزی‌ها حتی پس‌از برداشت نیز تنفس می‌کنند. تنفس گیاه باعث کاهش طول عمر محصول می‌گردد بنابراین محققین برای کاهش یا توقف تنفس از راه حل‌های متفاوتی استفاده می‌کنند که یکی از این راه‌ها استفاده از بسته‌بندی‌های اتمسفر اصلاح شده یا MAP می‌باشد. میزان تنفس گیاه به عوامل داخلی و خارجی بستگی دارد [۱]. فرآیند تنفس پیچیده است و مدل‌هایی که برای پیش‌بینی میزان تنفس استفاده می‌شوند، محدودیت‌هایی دارند [۲]. در سال‌های اخیر، روش‌های استفاده شده برای تعیین میزان تنفس و ارزیابی آن متفاوت بوده و همچنین تغییرات چشمگیری را تجربه کرده‌است؛ اما همچنان روش سامانه‌ی بسته رایج‌تر از سامانه‌های باز است و نظارت بر گازهای تولید شده توسط آنالیزورهای گاز  $O_2$  و  $CO_2$  با استفاده از حسگرهای الکتروشیمیایی برای  $O_2$  و حسگرهای مادون قرمز برای  $CO_2$ ، به جای کروماتوگرافی‌های گازی انجام می‌شود [۳،۴،۵،۶]. تمام روش‌ها به حذف مقدار کمی از گاز متکی هستند و دارای اندازه‌گیری‌های مداوم نیستند، بنابراین منجر به ایجاد داده‌های گسسته می‌شوند. از آنجا که توسعه سرعت تنفس یک روند مداوم و به ندرت خطی است، نقاط اندازه‌گیری گسسته باید با دقت زیادی انتخاب شوند [۱]. فشار و درجه حرارت نسبی اکسیژن تأثیر مهمی در تنفس میوه و سبزیجات دارند. بنابراین، مواد گیاهی اغلب تحت رژیم‌های مختلف دما در فضاها کنترل شده اتمسفر آزمایش می‌شود [۷،۱۰].

امروزه با توجه به رشد سریع جمعیت جهان، تقاضا برای تولید محصولات کشاورزی روز به روز در حال افزایش است. از آنجایی که نگهداری محصولات کشاورزی با کیفیت بالا و تلفات کم مورد توجه تمام فعالان حوزه کشاورزی می‌باشد، لذا ارائه راه‌حلی کارآمد برای نگهداری کیفیت و افزایش عمر انبارمانی محصولات الزامی است. با توجه به مطالبی که گفته شد یکی از مسائل مهمی که برای مطالعه وجود دارد اندازه‌گیری و مدل‌سازی تنفس محصول در شرایط متفاوت است. در عمل مدل‌سازی تنفس امکان ارائه راهکارهای پیش‌گیرانه به منظور جلوگیری از زوال محصولات مختلف در خلال انبارمانی را فراهم می‌نماید. لذا هدف از پژوهش حاضر طراحی و

ساخت یک سامانه به منظور کنترل و مدل‌سازی دما و تنفس محصولات کشاورزی می‌باشد. در این راستا از مجموعه حسگرها به منظور اندازه‌گیری و مدل‌سازی تنفس در میوه و سبزیجات استفاده شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر سامانه‌ای به منظور اندازه‌گیری میزان تنفس محصولات کشاورزی ساخته شد. سامانه مورد نظر شامل محفظه‌ای یونولیتی با ابعاد  $25 \times 25 \times 20$  سانتی‌متر مکعب و متشکل از دو بخش داده‌برداری و کنترل دما بود (شکل ۱). همانطور که در شکل ۱ مشخص است بخش کنترل دما شامل خنک‌کننده<sup>۱</sup>، سینک حرارتی<sup>۲</sup>، پمپ آب و فن (بخش C) و بخش داده‌برداری شامل مجموعه‌ای از حسگرها (دی‌اکسید کربن، دمای محیط، فشارسنج مطلق و رطوبت سنسور (H)، دمای توده<sup>۳</sup> (G) و فشارسنج تفاضلی (D))، واحد ارسال و ذخیره داده (B) و همچنین نمایش‌گر (A) می‌باشد. هر دو بخش در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.



<sup>1</sup> peltier

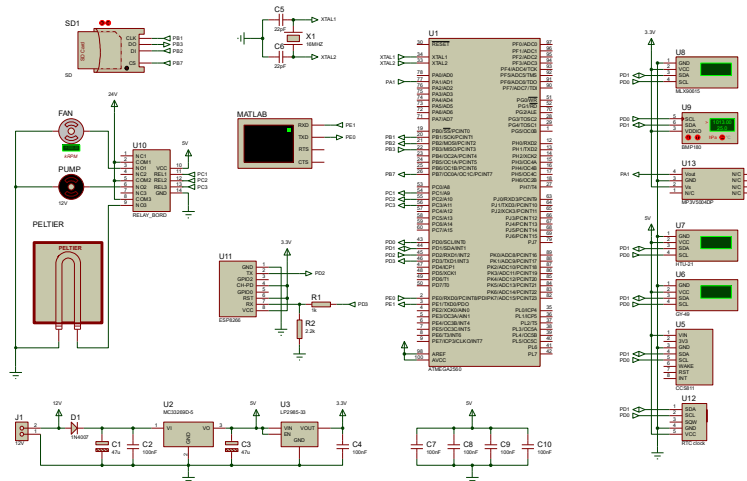
<sup>2</sup> heat sink

<sup>3</sup> Bulk temperature

شکل ۱- سامانه اندازه‌گیری میزان تنفس محصولات مختلف

۲. ۱. طراحی و ساخت مدار سامانه اندازه‌گیری میزان تنفس و کنترل دما

شکل ۲ شماتیک مدار داده برداری، ارسال داده و کنترل دما را نمایش می‌دهد. همه حسگرها و ماژول ثبت داده‌ها توسط یک ریزکنترل‌گر Atmega32 کنترل می‌شوند. در طول آزمایش میزان دی اکسید کربن (CCS811، ساخت کشور چین)، دما و رطوبت محفظه (HTU-21، کشور چین)، دمای توده حسگر مادون قرمز (MLX90615، ساخت کشور چین)، فشارسنج مطلق (bmp180، ساخت کشور آلمان) و یک فشارسنج تفاضلی (MP3V5004DP، ساخت کشور تایوان) به صورت پیوسته جمع‌آوری می‌گردد. علاوه بر داده‌ها به صورت همزمان بر روی یک پورت URL و صفحه نمایش OLED (OLED 128X64، ساخت کشور چین) نیز نشان داده می‌شود. فرکانس داده‌برداری در این پژوهش برای حسگرها هر ۳۰ ثانیه یکبار در نظر گرفته شد؛ شایان ذکر است که این عدد قابل تنظیم توسط کاربر بود. به منظور ارسال داده‌ها به صورت بی‌سیم و مشاهده آن‌ها بر روی تلفن همراه هوشمند از ماژول ESP8266 استفاده گردید. نحوه عملکرد و اتصال به ماژول بدین صورت بود که با استفاده از این ماژول یک نقطه دسترسی با IP مشخص ایجاد می‌گردید که واحد پردازنده توانایی اتصال به این IP را از طریق WiFi برای ارسال اطلاعات دارا بود. در این دستگاه یک ماژول RTC<sup>۴</sup> (Elecrow، ساخت کشور چین) نیز برای ثبت زمان بکار گرفته شد.



شکل ۲- شماتیک مدار الکترونیکی سامانه اندازه‌گیری تنفس محصولات

<sup>4</sup> Real time clock

این بخش به عنوان سیستم تنظیم دمای محفظه در نظر گرفته شد و شامل ۳ عدد رله، یک جت فن (PSD1204PQBX-A، ساخت کشور چین) با ولتاژ کاری ۱۲ ولت و توان ۹ وات، المان سرد/گرم کننده (TEC1-12715، ساخت کشور چین)، پمپ آب (مدل Horizontal، ساخت چین) با ولتاژ کاری ۵ ولت و همچنین دبی خروجی ۱/۲ الی ۱/۶ لیتر بر دقیقه و سینک حرارتی بود. نحوه عملکرد سامانه کنترل به این صورت بود که زمانی که دمای محفظه از دمای تنظیم شده بیشتر می‌شد، بخش کنترلی رله‌ی به ترتیب اقدام به فعال‌سازی پمپ آب، المان سرد کننده و نهایتاً فن می‌نمود. کنترل در نظر گرفته شده از نوع روشن-خاموش با بازه غیر فعال  $\pm 2$  درجه سلسیوس از دمای تنظیمی بود.

## ۲.۲. محاسبه میزان $O_2$ و $CO_2$ از داده‌های افت فشار و تغییرات دما:

تفاوت بین دمای اتاق و دمای جعبه بر فشار درون جعبه تأثیر می‌گذارد. همبستگی بین افزایش فشار و اختلاف دما را می‌توان براساس قانون گاز ایده‌آل با استفاده از رابطه (۱) محاسبه کرد [۱۱]:

$$\Delta P = \frac{n \times R \times \Delta T}{V} \quad (1)$$

در این رابطه،  $\Delta P$  افزایش فشار،  $n$  تعداد مول ماده،  $[kPa]$ ،  $R$  ثابت گاز عمومی،  $[8.134, kJ/mol \cdot ^\circ K]$ ،  $\Delta T$  تغییرات درجه حرارت گاز،  $[^\circ K]$ ،  $V$  حجم گاز،  $[m^3]$ ، می‌باشد. پس از تعادل دما در جعبه، جذب دی اکسید کربن افت فشار را ایجاد می‌کند که توسط حسگر اندازه‌گیری می‌شود. رابطه‌ی بین تغییرات در تعداد مول ماده و افت فشار توسط معادله (۲) آورده شده است (توجه شود که فرایند هم‌دما است):

$$\Delta n = \frac{\Delta P_{isothermal} \times V}{R \times T} \quad (2)$$

که در آن:  $\Delta n$  تغییر در تعداد مول‌های ماده،  $[k mol]$ ،  $\Delta P_{isothermal}$  افت فشار در شرایط هم‌دما (که با تفاوت بین حداکثر و نهایی تعیین می‌شود)  $[kPa]$ ،  $T$  دمای گاز  $[^\circ K]$ ، است. مقدار ماده از مقدار ذره،  $m/M$ ، بدست می‌آید و در نتیجه می‌توان رابطه (۲) را به صورت رابطه (۳) بازنویسی نمود:

$$\Delta m = \frac{\Delta P_{isothermal} \times V \times M_R}{R \times T} \quad (3)$$

در این رابطه،  $\Delta m$  مقدار ماده  $[g]$  و  $M_R$  وزن مولکولی ماده  $[44g/mol \text{ for } CO_2]$  می باشد. وزن دی اکسید کربن در طی فرایند تنفس، از گرم جامدات (وزنی) به همراه درصد رطوبت نسبی بدست می آید که طبق رابطه (۴) محاسبه می شود  $[۱۲]$ :

$$CO_2 = \frac{\Delta P_{isothermal} (pa) \times 1 \left( \frac{N}{Pa} \right) \times V(m^3) \times 44 \left( \frac{g}{mole} \right)}{8.314 \left( \frac{J}{mole \cdot K} \right) \times 1 \left( \frac{N \cdot m}{J} \right) \times T(K) \times w(kg)} \quad (۴)$$

که در آن،  $CO_2$  دی اکسید کربن خارج شده برحسب  $[g/kg]$  است. به همین ترتیب میزان اکسیژن ( $O_2$ ) از طریق رابطه ۳ و با جایگذاری مقدار وزن مولکولی اکسیژن ( $32g/mo \text{ for } O_2$ ) محاسبه خواهد شد (رابطه ۵):

$$O_2 = \frac{\Delta P_{isothermal} (pa) \times 1 \left( \frac{N}{Pa} \right) \times V(m^3) \times 32 \left( \frac{g}{mole} \right)}{8.314 \left( \frac{J}{mole \cdot K} \right) \times 1 \left( \frac{N \cdot m}{J} \right) \times T(K) \times w(kg)} \quad (۵)$$

برای تأیید مناسب بودن رابطه (۴) و امکان تعمیم دادن آن به رابطه (۵)، غلظت  $CO_2$  همانطور که اشاره شد توسط حسگر اندازه گیری می شود. در این حالت هزینه ساخت سامانه بسیار اندک خواهد شد. به منظور صحت سنجی مقدار اکسیژن دستگاه اندازه گیری نیز از دستگاه اکسیژن متر لوترون مدل YK-2001PHA استفاده شد. به دلیل نبود امکان اندازه گیری مرتب میزان اکسیژن با این دستگاه، در زمان های مشخص، تعداد اندکی داده (۱۰ نقطه) اخذ شد تا بتوان در جریان شبیه سازی صحت سنجی انجام شود.

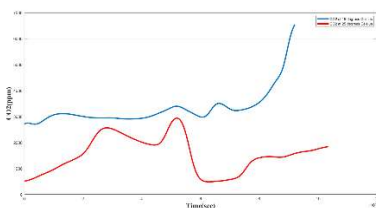
## ۳.۲. طرح آزمایش

در این پژوهش به منظور ارزیابی سامانه اندازه گیری و مدل سازی تنفس از محصول کاهو (رقم رومی) استفاده شد. تمام محصولات از بازار محلی به صورت تازه و روز تهیه گردید و وزن محصول در هر حالت اندازه گیری ۵۰۰ گرم در نظر گرفته شد. طرح آزمایشی پژوهش حاضر در دو سطح دما و سه سطح مدت زمان نگهداری محصول با استفاده از آزمون فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی انجام پذیرفت. داده ها به مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ ساعت در سطح دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس جمع آوری شدند. داده های فشار تجمعی، دی اکسید کربن، دما و رطوبت به صورت هر ۱/۵ ثانیه یکبار ثبت گردیدند. نمودار تغییرات داده ها و همچنین نتایج آنالیز تغییرات دی اکسید کربن اندازه گیری شده و محاسبه شده با استفاده از نرم افزار متلب رسم و تجزیه و تحلیل گردید.

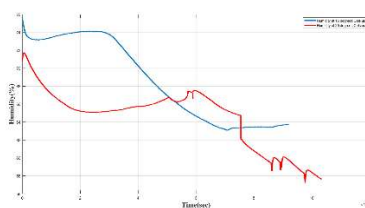
## بحث و نتایج

شکل ۳ داده های استخراج شده در دو دمای متفاوت ۱۵ (نمودار آبی) و ۲۵ درجه سلسیوس (نمودار قرمز) می باشد. مقدار دی-اکسید کربن در دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس روندی صعودی داشت که نشان از روند تنفسی محصول کاهو در مدت ۱۵ ساعت بود (شکل ۳-الف). طبق نتایج بدست آمده در جدول ۱ برای متغیرهای دی اکسید کربن، فشار تجمعی و تفاضلی بین تیمار شاهد و تیمار پوششی در دماهای مختلف اختلاف معنی داری مشاهده نشد، این در حالی است که برای متغیر رطوبت این اختلاف در سطح ۱٪ به وجود آمد، به طوری که پس از گذشت حدود ۶ ساعت از نگهداری، رطوبت محیط روندی کاهشی را داشته است. در تمام مدت اندازه گیری فشار تفاضلی روند ثابتی داشته اما فشار تجمعی روندی متغیر را در بر داشته است (شکل ۳-ج و د). یکی از دلایل معنی دار نبودن این محاسبات ممکن است مربوط به مدت زمان کوتاه داده برداری باشد.

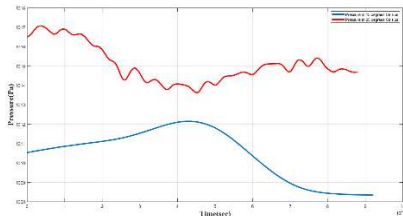
با توجه به تأثیر دما بر میزان تنفس کاهو، همانطور که انتظار می رفت، میزان مصرف اکسیژن و تولید دی اکسید کربن با افزایش دما افزایش یافت. در یک پژوهش میزان تنفس هویج های خرد شده با کاهش دما از ۲۰ به ۴ درجه سلسیوس بین ۸۶ تا ۹۰ درصد کاهش یافت [۶]. همچنین در پژوهشی میزان کیفیت کلم بروکلی در نوسان دما ۱۰ درجه سلسیوس در حین توزیع، در مقایسه با محصولات ذخیره شده در دمای ثابت به شدت تحت تأثیر قرار گرفت [۹]. در پژوهشی دیگر نیز میزان تنفس چهار گونه برسیکا با افزایش دما از ۱ تا ۱۲ درجه سلسیوس، دو تا چهار برابر افزایش یافت [۸]. تأثیر دما بر میزان تنفس کاهو به خوبی در شکل ۵ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل واریانس پارامترهای کیفی کاهو در جدول ۱ گزارش شده است.



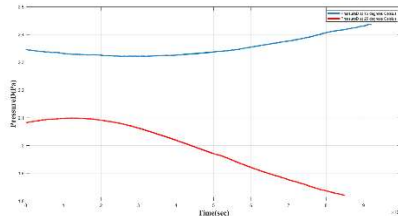
الف - تغییرات دی اکسید کربن در مدت ۱۵ ساعت



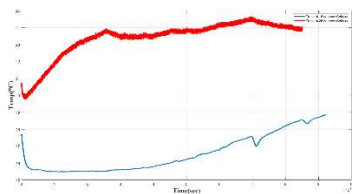
ب- تغییرات رطوبت در مدت ۱۵ ساعت



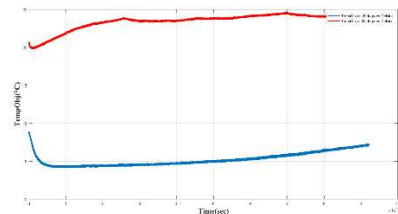
ج- تغییرات فشار تجمعی در مدت ۱۵ ساعت



د- تغییرات فشار تفاضلی در مدت ۱۵ ساعت



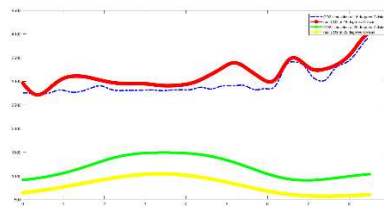
ه- تغییرات دمای محفظه در مدت ۱۵ ساعت



و- تغییرات دمای توده محصول در مدت ۱۵ ساعت

شکل ۳- داده‌های اندازه‌گیری شده در مدت ۱۵ ساعت

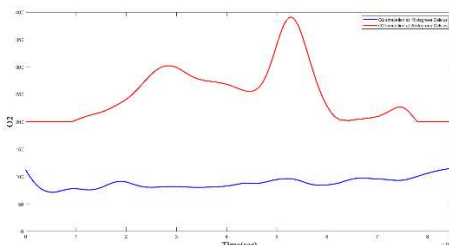
پس از اتمام مدت زمان داده‌برداری، داده‌های دی‌اکسیدکربن اندازه‌گیری شده در دمای ۲۵ سلسیوس (نمودار آبی) با دی‌اکسید کربن محاسبه شده از طریق معادله ۴ (نمودار قرمز) همان دما و همچنین دی‌اکسیدکربن اندازه‌گیری شده در دمای ۱۵ درجه سلسیوس (نمودار زرد) با دی‌اکسید کربن محاسبه شده از طریق معادله ۴ (نمودار سبز) مقایسه شد که نشان دهنده صحت اندازه‌گیری و محاسبه این میزان با استفاده از معادله داده شده می‌باشد (شکل ۴). پس از رسم نمودار مقایسه‌ای برای دی‌اکسیدکربن واقعی و محاسبه شده، میزان خطای جذر میانگین مربعات (RSME) برای این داده‌ها اندازه‌گیری شد که به ترتیب برای دمای ۲۵ و ۱۵ درجه سلسیوس برابر است با ۶۶/۶۴ و ۲۰۹/۸۷ (g/kg). میزان  $R^2$  برای دی‌اکسیدکربن در دمای ۱۵ برابر با ۰/۸۸ و در دمای ۲۵ برابر با ۰/۹۴ محاسبه شد.



شکل ۴- مقایسه مقدار دی‌اکسید کربن واقعی و محاسبه شده در مدت ۱۵ ساعت



با توجه به صحت سنجی معادله ۴ میتوان میزان اکسیژن دستگاه را بدون استفاده از سنسور و یا دستگاه اندازه گیری اکسیژن و فقط با استفاده از معادله ۵ بدست آورد. شکل ۵ نشان دهنده میزان اکسیژن شبیه سازی شده در دمای ۲۵ (نمودار قرمز) و دمای ۱۵ (نمودار آبی) درجه سلسیوس می باشد. پس از رسم نمودار مقایسه ای برای اکسیژن محاسبه شده و ۱۰ داده گرفته شده میزان خطای RSME برای این داده ها اندازه گیری شد که به ترتیب برای دمای ۲۵ و ۱۵ درجه سلسیوس برابر است با ۵/۲ و ۲/۲ (g/kg). میزان  $R^2$  برای اکسیژن در دمای ۱۵ برابر با ۰/۹۴ و در دمای ۲۵ برابر با ۰/۹۸ محاسبه شد.



شکل ۵- نمودار اکسیژن بدست آمده از معادله ۵

جدول ۱- تجزیه واریانس داده های حاصل از اندازه گیری شاخص های کمی کاهو در مدت ۱۵ ساعت انبارمانی

منابع تغییرات	متغیرها	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
دما (A)	دی اکسید کربن	۱۰۷۱۱۷/۱۷۳	۱	۱۰۷۱۱۷/۱۷۳	۰/۱۱۸ Ns
	رطوبت	۳۱۵۴/۴۷۹	۱	۳۱۵۴/۴۷۹	۰ **
	فشار تجمعی	۵۵۹۶/۳۸۶	۱	۵۵۹۶/۳۸۶	۰/۶۸۳ Ns
	فشار تفاضلی	۰/۱۷۳	۱	۰/۱۷۳	۰/۵۲۰ Ns
زمان (B)	دی اکسید کربن	۱۴۳۰۱۱/۴۷۸	۲	۷۱۵۰۵/۲۳۹	۰/۰۷۹ Ns
	رطوبت	۱۸/۸۳۲	۲	۹/۴۱۶	۱/۰۰۳ Ns
	فشار تجمعی	۲۳۲۵۷/۶۷۳	۲	۱۱۶۲۸/۸۳۶	۱/۴۱۹ Ns
	فشار تفاضلی	۰/۱۸۵	۲	۰/۱۸۵	۰/۲۷۷ Ns

دما*زمان (A*B)	دی اکسید کربن	۵۹۵۱۶/۹۲۹	۲	۲۹۷۵۸/۴۶۵	۰/۰۳۳ Ns
	رطوبت	۶۸/۲۰۷	۲	۳۴/۱۰۴	۳/۶۳۴ *
	فشار تجمعی	۱۰۳۲۸/۷۶۱	۲	۵۱۶۴/۳۸۱	۰/۶۳۰ Ns
	فشار تفاضلی	۰/۲۲۱	۲	۰/۱۱۱	۰/۳۳۲ Ns
خطای آزمایشی Error	دی اکسید کربن	۵۴۶۲۳۶۳/۷۰۸	۶	۹۱۰۳۹۳/۹۵۱	
	رطوبت	۵۶/۳۱۰	۶	۹/۳۸۵	
	فشار تجمعی	۴۹۱۷۰/۷۱۴	۶	۸۱۹۵/۱۱۹	
	فشار تفاضلی	۲/۰	۶	۰/۳۳۳	
کل Total	دی اکسید کربن	۸۱۴۸۷۵۳۰/۰۱	۱۲		
	رطوبت	۸۵۳۲۳/۶۵۲	۱۲		
	فشار تجمعی	۱۱۵۶۴۸۴۷/۶۸	۱۲		
	فشار تفاضلی	۷۶/۱۱۵	۱۲		

### نتیجه گیری

در این پژوهش تاثیر دما بر میزان تنفس کاهو بررسی و به منظور بدست آوردن میزان اکسیژن مصرف شده توسط محصول از معادله اوبی و سادا کا (معادله ۵) [۱۲] استفاده شد. با توجه به نمودارهای شکل ۵ و همچنین میزان  $R^2$  بدست آمده برای مقدار اکسیژن مصرف و مدل سازی شده (به ترتیب برای دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سیلیسیوس برابر با ۰/۹۴ و ۰/۹۸) می توان گفت مدل ارائه شده (معادله ۵)، با تقریب درصد خطا برای دمای ۱۵ درجه سیلیسیوس برابر با ۲/۲ (گرم بر کیلوگرم) و برای دمای ۲۵ درجه سیلیسیوس برابر با ۵/۲ (گرم بر کیلوگرم)، یک مدل مناسب برای جایگزینی سنسورهای اکسیژن می باشد. این سنسورها بسیار گران قیمت و حساس هستند، بنابراین داشتن معادله ای با دقت مناسب بسیار مقرون به صرفه و کارآمد خواهد بود.

### منابع

1. Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of

- fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: A review. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 99–119. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6)
2. Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Al-Said, F. A. J., & Opara, U. L. (2013). Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences-A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 303–329. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0932-4>
  3. Alves, J. A., Braga, R. A., & Vilas Boas, E. V. de B. (2013). Identification of respiration rate and water activity change in fresh-cut carrots using biospeckle laser and frequency approach. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.030>
  4. Banda, K., Caleb, O. J., Jacobs, K., & Opara, U. L. (2015). Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful). *Postharvest Biology and Technology*, 109, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.002>
  5. Bhande, S. D., Ravindra, M. R., & Goswami, T. K. (2008). Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 87(1), 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.019>
  6. Iqbal, T., Rodrigues, F. A. S., Mahajan, P. V., & Kerry, J. P. (2009). Mathematical modeling of the influence of temperature and gas composition on the respiration rate of shredded carrots. *Journal of Food Engineering*, 91(2), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.012>
  7. Helena Gomes, M., Beaudry, R. M., Almeida, D. P. F., & Xavier Malcata, F. (2010). Modelling respiration of packaged fresh-cut “Rocha” pear as affected by oxygen concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 96(1), 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.043>
  8. Martinez-Sanchez, A., Allende, A., Cortes-Galera, Y. & Gil, M.I. (2008). Respiration rate response of four baby leaf Brassica species to cutting at harvest and fresh-cut washing. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 382–388.
  9. Tano, K., Oule', M.K., Doyon, G., Lencki, R.W. & Arul, J. (2007). Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 212–221.
  10. Torrieri, E., Perone, N., Cavella, S., & Masi, P. (2010). Modelling the respiration rate of minimally processed broccoli (*Brassica rapa* var. *sylvestris*) for modified atmosphere package design. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10), 2186–2193. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02387.x>
  11. Kamide, K., & Dobashi, T. (2000). Fundamentals of Thermodynamics. In *Physical Chemistry of Polymer Solutions*. <https://doi.org/10.1016/b978-044489430-4/50002-8>
  12. Ubhi, G. S., & Sadaka, S. (2015). Temporal valuation of corn respiration rates using pressure sensors. *Journal of Stored Products Research*, 61, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2015.02.004>



سیزدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک

بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)

۲۴-۲۶ شهریور ۱۴۰۰



## Design and Construction of Respiration Rate Measurement of Agricultural Materials (Case study: Lettuce)

Zahra Ahmadi<sup>1</sup>, Mohammad Hadi Khoshtaghaza<sup>1\*</sup>, Saman Abadanan Mahdizadeh<sup>2</sup>

1. Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Mechanization and Agricultural Machinery Department, Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources, Molasani, Iran

### Abstract

In recent years, the packaging of agricultural products has faced major challenges. One of these challenges is measuring the amount of oxygen in harvested products. Due to the cost of oxygen sensors and devices, researchers are looking for alternative methods. The goal of the present paper is to find a mathematical model for measuring the amount of oxygen during respiration by measuring the amount of carbon dioxide, temperature, humidity and differential and absolute pressure. The present study was performed at two temperature levels (25 and 15 degrees Celsius) and three storage levels (5, 10 and 15 hours). The measured data and graphs obtained (from the mathematical model) were compared using MATLAB software and according to the root mean square error (RSME) of oxygen (for 25 and 15 ° C is 5.2 and 2.2 g/kg) which resulted in a purposed mathematical model.

**Key words:** Respiration, Storage, Respiratory Modeling

\*Corresponding author

E-mail: khoshtag@modares.ac.ir