طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه شبیه ساز خوردگی در فرآیند تولید رب گوجه فرنگی

علی کاظمی[۱*]، بهرام قمری[۲]، حدیث مرامی[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ایلام

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ایلام

۳-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ایلام

* ایمیل نویسنده مسئول: ali.kazemi07@yahoo.com

چکیده

پدیده خوردگی در بیشتر مواد مانند پلیمرها، سرامیک‌ها، فلزات و کامپوزیت‌ها اتفاق می‌افتد، اما به طور گسترده در فلزات رخ می‌دهد. بیشتر تجهیزات مورد استفاده در صنایع غذایی از جنس فلز و آلیاژهای فلزی هستند که بایستی از نظر شرایط خوردگی مقاوم باشند. وجود برخی فلزات سنگین ناشی از خوردگی تجهیزات فلزی، مانند جیوه، کادمیوم، سرب، کروم و... در محصولات غذایی فرآوری شده از جمله رب گوجه فرنگی حتی به مقدار کم سلامت انسان را تهدید می‌کند لذا بررسی منشآ این فلزات سنگین و عوامل موثر بر افزایش آن‌ها در رب گوجه فرنگی اهمیت می‌یابد. هدف از این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاهی است که با کمک آن میزان و سرعت خوردگی تجهیزات مورد استفاده در صنایع تولید رب گوجه فرنگی را اندازه‌گیری نماید. شرایط آزمایشگاهی و شبیه‌سازی شده فرآیند تولید رب گوجه فرنگی توسط این این دستگاه فراهم شده است. فرآیند طراحی، بهینه سازی و مونتاژ قطعات دستگاه، در نرم‌افزار Solid Works 2015 انجام شد. پس از ساخت دستگاه، برای اندازه گیری میزان و سرعت خوردگی نمونه‌های فلزی از روش کاهش وزن استفاده شد. برخی خصوصیات برای بهینه سازی ساخت دستگاه و نحوه صحیح انجام آزمونهای خوردگی تعیین گردید که عبارتند از: نحوه کنترل اتوماتیک دما، ابعاد نمونه‌های فلزی، مدت زمان انجام آزمایشات خوردگی، جنس و قطر لوله‌ها و اتصالات دستگاه، خصوصیات مخزن بدون ورود هوا در طول آزمایش.

واژه‌های کلیدی: خوردگی فلز، گوجه فرنگی، شبیه سازی.

مقدمه

گوجه فرنگی یکی از محصولات پرمصرف بیشتر مردم دنیاست که سطح جهانی کشت این محصول حدود ۴۳۹۳۰۴۵ متر مربع با تولید ۱۵۲۹۵۶۱۱۵ تن در سال است(سایت سازمان خواربار جهانی فائو، ۲۰۰۷). سطح زیر کشت گوجه فرنگی ایران ۱۶۳۵۳۹ هکتار در سال زراعی ۸۸-۸۷ با تولید ۵۸۸۷۷۱۵ تن بوده است و چیزی حدود ۷۷۲ هزار تن رب گوجه فرنگی تولید می‌گردد (آمار

نامه کشاورزی ایران ۱۳۸۸). مقدار اسیدیته رب گوجه فرنگی در حدود ۴/۶ است که شرایط مستعدی برای خوردگی در تجهیزات فلزی را فرآهم می‌کند. بررسی میزان و سرعت خوردگی در صنایع مختلف توسط محققین زیادی صورت گرفته است که در زیر به برخی از آنها اشاره خواهیم کرد.

خوردگی یک واکنش شیمیایی و یا الکتروشیمیایی مخرب بین سطح فلز و محیط اطراف آن است. پدیده خوردگی در همه‌ی گروه‌های اصلی مواد، شامل فلزات، پلیمرها، کامپوزیتها و سرامیک‌ها اتفاق می افتد، اما به طور شایع و گسترده‌ای در فلزات رخ می‌دهد خوردگی فلزات در بیشتر صنایع اتفاق می‌افتد که هزینه‌های زیادی را بر دولت و صاحبان صنایع تحمیل می‌کند. هزینه‌های سالانه خوردگی در ایالات متحده حدود ۳۰ بیلیون دلار است (فونتانا، ۱۳۹۰). سافلی و همکاران در پژوهشی به منظورساخت مکانی مقاوم به خوردگی برای نگه‌داری پسماندهای حیوانی، میزان خوردگی چهار نوع فولاد مختلف شامل فولاد سرد نورد بدون رنگ، فولاد سرد نورد با پوشش رنگ اپوکسی، فولاد گالوانیزه و فولاد ضد زنگ را در تماس با این پسماند ها قرار دادند. نتایج نشان داد که در بین نمونه‌های فولادی دو نوع فولاد سرد نورد و فولاد سرد نورد بدون رنگ با پوشش رنگ اپوکسی بیشتر از نمونه‌های دیگر دچار خوردگی شدند (Safley *et al*,. 1992). در پژوهشی اولادل و اوکورو اثر خوردگی فولاد در آب پرتقال طبیعی و آب پرتقال بسته بندی شده حاوی مواد نگهدارنده را با استفاده از تکنیک کاهش وزن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که خوردگی فولاد در آب پرتقال شیرین عمدتا تابعی از اسیدیته آن است. خوردگی آب پرتقال بسته بندی شده با ماده نگهدارنده بیشتر از آب پرتقال طبیعی بود (Oladel and Okoro, 2011). در تحقیقی دیگر که توسط اوفگبو و همکارانش در نیجریه انجام شد، رفتار خوردگی انواع استیل در محیط فرآوری مواد غذایی مورد بررسی قرارگرفت. نرخ خوردگی فولاد (بدون پوشش)، فولاد گالوانیزه و فولاد ضد زنگ (304L) با استفاده از روش کاهش وزن در طی یک دوره ۹۸ روزه در مواد غذایی خربزه (با نام محلی egusi)، در خمیر کاساوا ، خرما له شده، تفاله گوجه فرنگی و خمیر لوبیا مورد مطالعه قرار گرفت. داده های نرخ خوردگی از فولاد ضد زنگ در هر محیط نشان داد که نرخ خوردگی فولاد گالوانیزه و فولاد در خربزه ۹۱/۴۱ و۳۸/ ۱۳بار، در خمیر کاساوا ۱۸۳/۶۸ و ۱۱/ ۱۴۸بار، در میوه خرما له شده ۵۰/۰۸ و ۵۸/۵۸ بار، در خمیر لوبیا ۳۰۱/۳ و۳۷۷/۸۵ بار و درخمیر گوجه فرنگی۲/ ۱۲۸ و۳۴/ ۱۴بار بود (Ofoegbu *et al*,. 2011). در تحقیقی که توسط سوتسگو و همکارانش انجام شد مقاومت فولاد ضد زنگ YUS270 در برابر خوردگی در تجهیزات مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از YUS270 در امکانات و تجهیزات مواد غذایی، به خصوص در غذاهای بسیار خورنده، تا حد زیادی به بهبود ایمنی و قابلیت اطمینان و همچنین به کاهش هزینه در صنایع غذایی کمک خواهد کرد. به تازه‌گی، استفاده از فولاد ضد زنگ YUS270 به دلیل مقاومت بالا در برابر خوردگی در حال افزایش است (Suetsugu *et al*,. 2003). فلزات سنگین برای سلامتی انسان بسیار مضرند و بایستی مقدار آنها در محصولات غذایی مطابق میزان استاندارد باشد. تا کنون گزارشات زیادی در مورد وجود برخی فلزات سنگین در رب گوجه فرنگی ارائه شده

است که منشا اصلی این فلزات، خوردگی در تجهیزات فرآوری تولید و یا قوطی‌های بسته بندی رب گوجه فرنگی می‌باشد (ملکوتیان و همکاران، ۱۳۹۰). از آغاز ورود گوجه فرنگی خام به یک کارخانه تولید رب تا زمانی که محصول نهایی تولید می‌شود تجهیزات و ماشین‌آلات متعددی وجود دارد که در تماس مستقیم با آب گوجه فرنگی در دماهای مختلف است. جنس مواد به کار رفته در تجهیزات، شرایط کاری و طول عمر آن‌ها در سرعت خوردگی مؤثر است.

در تحقیقی ملکوتیان و همکاران میزان فلزات سنگین در نمونه های رب گوجه فرنگی موجود در شهر کرمان را تعیین نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین غلظت فلزات جیوه، کادمیوم، سرب، کروم و کبالت در رب گوجه فرنگی به ترتیب۱۲/.، ۱/۱۹۵، ./.، ۲/.، ۰/. میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک نمونه بودند (ملکوتیان و همکاران، ۱۳۹۰). سلامت مواد غذایی کنسروی مورد مصرف انسان به ویژه رب گوجه فرنگی که مستعد ایجاد خوردگی فلز در حین فرآیند تولید و ورود فلزات سنگین مضر است همواره از اهمیت ویژه‌ایی برخوردار بوده است. با توجه به گزارشات ارائه شده از سوی محققین مختلف مبنی بر وجود فلزات سنگین در رب گوجه فرنگی عرضه شده در سطح کشور ایران که خود زنگ خطری برای سلامتی انسان می‌باشد، بررسی منشأ این فلزات و عوامل تأثیر گذار بر افزایش آن‌ها در رب گوجه فرنگی ضرورت پیدا می‌کند.

با توجه به تحقیقات انجام شده مشخص گردید که تا کنون پژوهشی در رابطه با اندازه‌گیری میزان خوردگی تجهیزات در صنایع تولید رب گوجه فرنگی صورت نگرفته است. اندازه‌گیری میزان خوردگی فلزات در تجهیزات مورد استفاده در صنایع مختلف در شرایط کاری دستگاه‌ها امری غیر ممکن است لذا هدف از این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه شبیه ساز خوردگی است که به کمک آن بتوان میزان خوردگی قطعات و تجهیزات فلزی که در فرآیند تولید رب در تماس مستقیم با آب گوجه قرار دارند را بررسی نمود.

مواد و روشها

برای ساخت دستگاه شبیه ساز خوردگی، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SolidWorks 2015 طراحی اولیه مطابق شکل ۱ صورت گرفت. مراحل ساخت دستگاه، ارزیابی و تست در کارگاه جوشکاری و ورق کاری دانشگاه ایلام انجام شد. این دستگاه شامل اجزاء زیر است:

۱- شاسی دستگاه
۲- مخزن
۳- پمپ

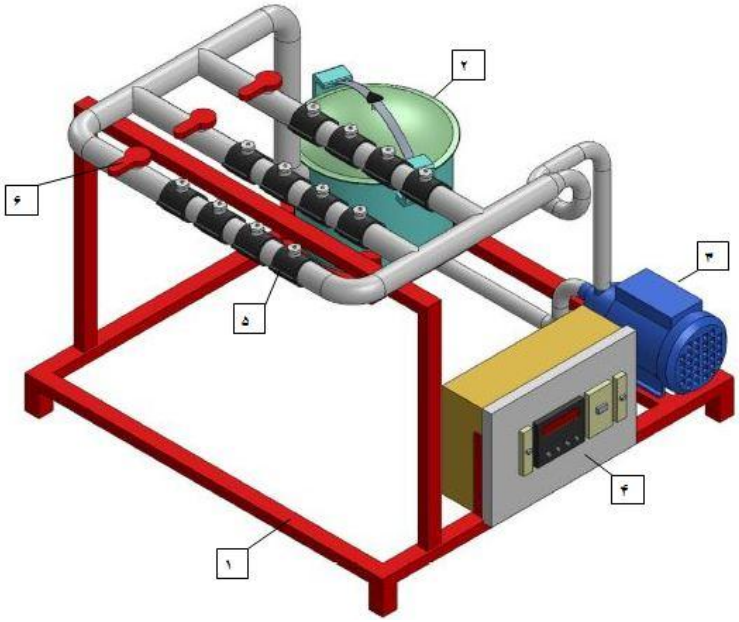
۴- مدار راه‌انداز و کنترل دما

۵- شیر کنترل جریان

۶- مکانیزم نگهدارنده قطعه فلزی

۷- لوله‌ها و اتصالات پلی اتیلن

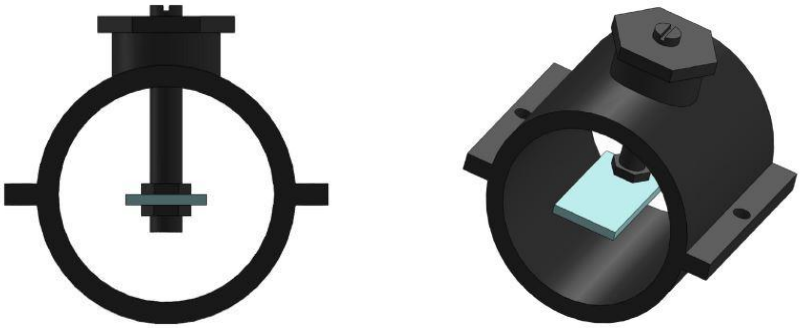
محلول مورد نظر (آب گوجه فرنگی صاف شده) به مقدار سه تا شش لیتر در مخزن ریخته می‌شود سپس با استفاده از مدار کنترل دما (شکل ۲)، مقدار دمای محلول تعیین می‌گردد (حداکثر ۱۱۰ درجه سلسیوس). پمپ مدل Wizz-WKP60-1 محلول را از مخزن مکش می‌کند و به سمت مکانیزم‌های نگدارنده قطعات فلزی مورد آزمایش در داخل لوله‌های پلی اتیلن ارسال می‌کند. در مسیر پمپ تا مخزن و قبل از شیرهای کنترل جریان، مکانیزمی مطابق شکل ۳ تعبیه شده تا قطعات فلزی مورد آزمون در داخل لوله‌ها به صورت موازی با جریان محلول ثابت بمانند و محلول به راحتی بتواند با کل قطعه در تماس بوده و جریان داشته باشد.



شکل ۱. دستگاه طراحی شده شبیه ساز خوردگی در نرم افزار SolidWorks 2015 ۱- شاسی دستگاه، ۲- مخزن کاملا بسته و ایزوله با قابلیت افزایش و کنترل دما (دارای المنت برقی و ترموستات دیجیتال با سنسور دما)، ۳- الکترو پمپ، ٤- جعبه کنترل- (فیوز، ترموستات دیجیتال، کنتاکتور و کلید قطع وصل الکتروپمپ)، ٥ - مکانیزم نگه‌دارنده قطعه فلزی، ٦- شیر کنترل جریان

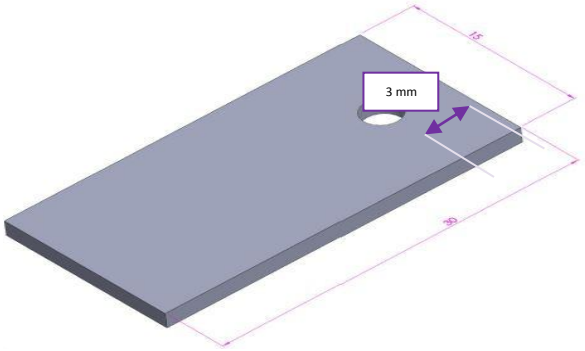
شکل ۲. مدار راه انداز دستگاه با کنترل دمای محلول و المنت

دما یکی از مهم‌ترین عوامل خوردگی است و در صنایع تولید رب گوجه فرنگی دمای آب گوجه بین ۷۰ تا ۹۵ درجه سلسیوس قرار دارد. بدین منظور برای فرآهم کردن شرایط افزایش دما به طور دقیق و کنترل شده از یک المنت ۱۰۰ واتی و دستگاه ترموستات میکروپروسسوری دیجیتال مدل Micro Max MMX-400PI استفاده شده است که محدوده دمایی ۵۰- تا ۴۰۰+ درجه سلسیوس را پوشش می‌دهد. با تنظیم مقدار دمای مشخص، ترموستات دیجیتال از طریق سنسوری که در داخل مخزن بکار رفته جریان برق را برای المنت به کمک یک کنتاکتور برقرار می‌کند و زمانی که دمای محلول به مقدار مشخص شده رسید جریان برق قطع شده و المنت خاموش می‌گردد و اگر دما کاهش یابد مجددا المنت روشن شده و بدین ترتیب هواره دمای محلول در حد تعیین شده ثابت می‌ماند.



شکل ۳ . مکانیزم نگهدارنده نمونه فلزی

برای بررسی میزان خوردگی قطعات و تجهیزات فلزی، نمونه‌های فلزی از جنس موادی که بیشتر در صنایع رب گوجه استفاده می‌شود (استیل ۳۰۴ یا ۳۱۶) به شکل مستطیلی با ابعاد مشخص تهیه و با ترازوی دیجیتال به طور دقیق (دقت اندازه‌گیری ۰/۱ میلی گرم) اندازه‌گیری می‌گردد (شکل ۴).



شکل ٤ . نمونه فلزی (استیل یا آلیاژ فلزی)

شکل ٥ . نمایی از شکل واقعی دستگاه

برای انجام آزمایشات و ارزیابی دستگاه از نمونه‌های استیل ۳۰۴ به ابعاد ۲×۱۵×۳۰ استفاده شد. برای آماده سازی سطحی نمونه‌ها طبق استانداردهای ASTM G4-01 و ASTM G1-03 به صورت زیر انجام گرفت:

۱- سنباده زنی با کاغذ کاربید سیلیسیم به شماره‌های ۱۰۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۳۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و۱۵۰۰ و شتشو با آب مقطر.

۲- شتشو در اتانول و استون به مدت ۵ دقیقه و خشک کردن در جریان هوای گرم به منظور چربی زدایی.

پس از آماده سازی سطحی قطعات فلزی در ابتدا وزن نمونه ها اندازه‌گیری می‌شود و سپس نمونه ها در معرض جریان آب گوجه فرنگی با درجه حرارت مشخص قرار می‌گیرند که در این ارزیابی دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس استفاده شد. پس از مدت زمان معین (برای هر بار ۷۲ ساعت)، نمونه ها خارج شده، سطح آن ها با آب مقطر و اتانول پاکسازی و خشک شده و سپس توزین می شوند. با استفاده از رابطه ۱ و بر اساس میزان کاهش وزن نرخ خوردگی آن ها محاسبه می گردد (Haynes, 1985):

$$CR = 87.6 \frac{\Delta W}{A\rho t} \quad (1)$$

که دراین رابطه :

CR = نرخ خوردگی (mm/year)

ΔW = میزان کاهش وزن نمونه (mg)

A = سطح نمونه (cm^2)

ρ = چگالی نمونه (gr/cm^3)

t = مدت زمانی که نمونه درمعرض آب گوجه فرنگی بوده است (h).

برای بررسی سرعت خوردگی، بایستی در طول مدت آزمون در فواصل زمانی یکسان نمونه‌های فلزی را از دستگاه خارج کرده و پس از شستشو و پاکسازی مجددا توزین کرد. این کار بایستی چندین بار (حداقل ۱۵ بازه زمانی ۷۲ ساعته) صورت گیرد تا میزان تغییرات کاهش وزن در مدت زمان‌های کوتاه مشخص شود که بتوان میزان سرعت خوردگی را بدرستی بیان کرد.

نتایج و بحث

بررسی میزان و سرعت خوردگی تجهیزات فلزی که در صنایع تولید رب گوجه فرنگی استفاده می‌شوند، در شرایط کاری و حین فعالیت امری دشوار و غیر ممکن است. از اهداف ساخت این دستگاه ایجاد محیطی شبیه سازی شده از شرایط واقعی است. با توجه به شرایط تولید و فرآوری رب گوجه فرنگی و اطلاعات بدست آمده از تجهیزات مورد استفاده، کار طراحی و بهینه سازی به کمک نرم افزار تخصصی SolidWorks 2015 صورت گرفت و با در نظر گرفتن شرایط موجود دستگاه شبیه ساز خوردگی ساخته شد. مشخصات فنی این دستگاه به شرح زیر تعیین گردید.

۱- دمای محلول (آب گوجه فرنگی) حداکثر تا ۱۰۵ درجه سلسیوس باشد.

۲- مدار کنترل خودکار تنظیم دما با استفاده از ترموستات دیجیتال با دقت ۱± درجه سلسیوس و کنتاکتور طراحی شد.

۳- مخزن به صورت دربسته و بدون ورود هوا تعبیه گردید تا مانع از اکسید شدن آب گوجه فرنگی شود.

۴- حداکثر جریان حجمی خروجی پمپ ۴۰ لیتر در دقیقه است.

۵- حداقل قطر داخلی لوله‌ها و اتصالات پلی اتیلن با توجه به ابعاد نمونه‌های فلزی مورد آزمون، ۲۰ میلی متر تعیین شد.

۶- ابعاد بهینه نمونه‌های فلزی مورد آزمون خوردگی با طول، عرض و ضخامت ۳۰، ۱۵ و ۲ میلی متر مشخص شد.

۷- جنس نمونه‌های فلزی، استیل ۳۰۴ یا استیل ۳۰۱۶ باشد که بیشترین استفاده در تجهیزات صنایع غذایی دارند.

۸- حداقل مدت زمان انجام آزمون خوردگی و تماس مستقیم نمونه‌های فلزی با جریان آب گوجه فرنگی، با توجه به آزمایشات و ارزیابی‌های انجام شده به صورت ۱۵ بازه زمانی ۷۲ ساعته تعیین گردید.

منابع

فونتانا، م .ج.۱۳۹۰. مهندسی خوردگی. ترجمه :احمد ساعتچی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

ملکوتیان، م.، حیدری، م.، دانش‌پژوه،م.۱۳۹۰. تعیین میزان فلزات سنگین جیوه کادمیوم سرب کروم و کبالت در رب گوجه فرنگی عرضه شده در شهر کرمان، چهاردهمین همایش ملی بهداشت محیط، یزد.

Safley, L., Westerman, P., Kim, M., & Carr, D. (1992). Corrosion of galvanized steel in animal waste environments. Bioresource technology, 40(1), 53-61.

Oladel, S., & Okoro, H. K. (2011). Investigation of corrosion effect of mild steel on orange juice. African Journal of Biotechnology, 10(16), 3152-3156.

Ofoegbu, S. U., Ofoegbu, P. U., Neife, S. I., & Okorie, B. A. (2011). Corrosion Behaviour of Steels in Nigerian Food Processing Environments. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 15(1), 135-139.

Suetsugu, K., Matsuhashi, R., Umeno, M., & Suzuki, T. (2003). The Application of High Corrosion Resistance Stainless Steel YUS270 in Food Processing Facilities and Equipment. Journal of Nippon Steel Technical Report, 87(…), 663-665.

Haynes, G. S.; Laboratory Corrosion Tests and Standards, ASTM: Philadelphia, 1985.