



سامانه اندازه‌گیری بی‌درنگ هدایت الکتریکی برای پیش‌بینی آنلاین مقدار ژلاتینه‌شدن

نشاسته برنج

ابراهیم تقی نژاد^{۱*}، محمد هادی خوش تقاضا^۲ و سعید مینایی^۲

۱-استادیار، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان

۲-دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس

*نویسنده مسئول: e.taghinezhad@uma.ac.ir

چکیده

مرحله‌ی غوطه‌وری از مهم‌ترین مراحل فرآیند نیم‌جوش کردن برنج است. غوطه‌وری گرم، نیازمند کنترل دقیق است، زیرا نشاسته برنج طی مرحله‌ی غوطه‌وری ژلاتینه می‌شود. اندازه‌گیری مقادیر ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج، با استفاده از دستگاه کالری‌متر تفاضلی هزینه‌بر بوده و داده‌های آن به‌صورت بی‌درنگ قابل استفاده نیست. بنابراین در مطالعه حاضر شلتوک (رقم فجر) در ۴ سطوح دمایی ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ درجه سلسیوس و ۵ سطوح زمانی غوطه‌ور شد. نتایج نشان داد که مقادیر رطوبت شلتوک (۲۴/۴۳ تا ۳۴/۹۳٪ بر پایه تر)، هدایت الکتریکی آب شلتوک (۱/۶۳ تا ۲/۷۱ mS.cm⁻¹) و مقدار درجه ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج (۵/۳۸ تا ۳۶/۹۰٪) به‌طور معنی‌دار ($P < 0.05$) و به ترتیب با معادله‌ی نمایی ($R^2 > 0.94$)، خطی ($R^2 > 0.94$) و معادله درجه سوم ($R^2 > 0.98$) طی غوطه‌وری افزایش یافت. با تدوین رابطه‌ی ریاضی بین درجه ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج با رطوبت شلتوک-هدایت الکتریکی آب شلتوک مشخص شد که هدایت الکتریکی آب شلتوک به خوبی با درجه ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج طی غوطه‌وری مرتبط بود. بنابراین یک سامانه اندازه‌گیری بی‌درنگ هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه‌وری ساخته و ارزیابی گردید. این سامانه‌ی، در دمای غوطه‌وری ۶۵°C و ۳ تکرار ارزیابی شد. در نتیجه، این سامانه می‌تواند برای پیش‌بینی دقیق (با دقت ۹۹/۱٪) زمان غوطه‌وری مطلوب بر اساس رابطه بین درجه ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج و هدایت الکتریکی آب شلتوک بکار برده شود.

کلمات کلیدی: خواص کیفی، رطوبت شلتوک، مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته، نیم‌جوش کردن، هدایت الکتریکی

مقدمه

برنج نه تنها غذای اصلی مردم آسیا، بلکه یکی از مهم‌ترین مواد غذایی برای بیش از نصف جمعیت دنیا است (FAO., 2004). تیمار گرمایی^۱ بر روی شلتوک، قبل از فرآیند تبدیل^۲ را نیم جوش کردن شلتوک گویند که یک فرآیند هیدروگرمایی است و شامل سه مرحله غوطه‌وری^۳، بخاردهی^۴ و خشک کردن می‌باشد. نیم‌جوش کردن شلتوک منجر به افزایش میزان رطوبت شلتوک به ۳۵٪ (بر پایه تر) و در نتیجه ژلاتینه‌شدن نشاسته می‌گردد. طی ژلاتینه‌شدن، نشاسته از شکل بلوره^۵ به یک حالت بی‌شکل تغییر می‌یابد. در نتیجه این تبدیل، ساختار چند وجهی ترکیبات دانه‌های نشاسته، به‌طور منظم به شکل متراکم تغییر می‌یابد که مقاومت بیشتری در مرحله‌ی تبدیل خواهد داشت؛ بنابراین دلایل اصلی برای نیم‌جوش کردن شلتوک، ژلاتینه‌شدن و تغییر خواص فیزیکی آن (راندمان برنج سالم، رنگ و درجه آسیاب) در طی فرآیند نیم‌جوش کردن و همچنین کاهش درصد شکستگی است. بنابراین نیم-جوش کردن، می‌تواند تأثیر بسزایی در خودکفایی برنج داشته باشد (Taghinezhad *et al.*, 2015).

سیف و همکاران (۲۰۰۴)، طی نیم‌جوش کردن برنج و سپس آزمون بافت سنجی توسط دستگاه آزمون مواد متوجه شدند که طی نیم‌جوش کردن به دلیل ژلاتینه‌شدن برنج، میزان سفتی و مقاومت دانه برنج، افزایش یافته و به همین دلیل مقاومت برنج طی شالی‌کوبی افزایش می‌یابد (Saif *et al.*, 2004). طی تحقیقی Li و همکاران (۲۰۰۴)، دمای ژلاتینه‌شدن نشاسته ذرت را توسط گرمای اهمی تعیین نمودند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که دمای ژلاتینه‌شدن نشاسته را می‌توان از طریق منحنی دما-هدایت الکتریکی به دست آورد (Li *et al.*, 2004). در تحقیقی دیگر Icier و Ilicali (۲۰۰۵)، رابطه بین هدایت الکتریکی و دما برای پوره میوه هلو و زردآلو را طی گرمایش اهمی بررسی کرده‌اند و دریافته‌اند که ضریب هدایت الکتریکی پوره میوه شدیداً به درجه حرارت و غلظت و مقدار پوره بستگی دارد و رابطه بین هدایت الکتریکی و دما یک رابطه خطی است و ضریب هدایت الکتریکی با زیاد شدن دما افزایش می‌یابد (Icier and Ilicali, 2005). طی تحقیقی Morales و همکاران (۲۰۰۷)، نشاسته برنج را توسط دستگاه کالری‌متر تفاضلی و روش هدایت الکتریکی به‌صورت تابعی از دما مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که از هدایت الکتریکی می‌توان به‌جای استفاده از دستگاه کالری متر تفاضلی به‌منظور تعیین دمای بحرانی فرآیند ژلاتینه‌شدن استفاده کرد (Morales-Sanchez *et al.*, 2007). در تحقیقی دیگر An و King (۲۰۰۷)، خواص حرارتی (توسط دستگاه کالری متر تفاضلی) و گرمایش اهمی نشاسته و آرد برنج را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که وجود چربی و پروتئین در نشاسته تورم گرانول‌های نشاسته را به تأخیر می‌اندازد و موجب افزایش دمای ژلاتینه‌شدن می‌گردد. اختلاف در خواص حرارتی بین نمونه‌ها با محتوای پروتئین و چربی مشابه ممکن است به علت اختلاف در محتوای آمیلوز باشد (An and King, 2007).

¹: Hydrothermal

²: Milling

³: Soaking

⁴: Steaming

⁵: Crystal



اندازه‌گیری درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج با روش‌های رایج (DSC و XRD^۱) انجام می‌شود که هزینه بر بوده و داده‌های خروجی دستگاه به صورت بی‌درنگ قابل استفاده نیست. با اندازه‌گیری بی‌درنگ درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته می‌توان مرحله‌ی غوطه‌وری را بدقت کنترل کرد. بنابراین در راستای این تحقیق با ارائه‌ی مدلی مناسب بین درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته و خاصیت رطوبتی-الکتریکی (رطوبت و هدایت الکتریکی) شلتوک، پیش‌بینی می‌شود که بتوان درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج را با هزینه پایین و به صورت بی‌درنگ با ساخت یک سامانه کنترل خودکار، اندازه‌گیری کرد. با اندازه‌گیری درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج طی زمان‌های مختلف غوطه‌وری و رسیدن آن به مقدار مشخص، سامانه دستور اتمام فرآیند غوطه‌وری را صادر خواهد کرد. درخصوص مدل ارائه شده و سامانه ساخته شده، تاکنون هیچ گزارشی توسط محققان ارائه نشده است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه و غوطه‌وری شلتوک

به منظور اجرای تحقیق، شلتوک رقم فجر از مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور در آمل تهیه گردید. میانگین طول، ضخامت و عرض دانه این رقم به ترتیب برابر با ۱۰/۹۸، ۲/۲۴ و ۱/۹۲ میلی‌متر گزارش شده است (Latifi and Alizadeh, 2014). برای غوطه‌وری از تجهیزات ساخته شده توسط Taghinezhad و همکاران (۲۰۱۵)، استفاده شد. آن‌ها دمای غوطه‌وری ۶۰ تا ۷۵ درجه سلسیوس پیشنهاد داده بوده اند (Taghinezhad *et al.*, 2015).

اندازه‌گیری خاصیت رطوبتی-الکتریکی شلتوک و درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج طی غوطه‌وری

در پژوهش حاضر خاصیت رطوبتی مربوط به اندازه‌گیری رطوبت شلتوک و خاصیت الکتریکی مربوط به اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب شلتوک^۲ طی دما و زمان‌های مختلف غوطه‌وری است. اندازه‌گیری در ۴ سطوح دما و ۵ سطوح زمان غوطه‌وری، مطابق جدول (۱) در ۳ تکرار انجام شد (Miah *et al.*, 2002a; Sareepuang *et al.*, 2008). برای تعیین میزان رطوبت شلتوک، نمونه‌های ۱۰ گرمی به مدت ۲۴ ساعت در اجاق آزمایشگاهی (Memmert D06836, Germany) دمای ۱۳۰°C قرار داده شد.

^۱: X-ray Diffraction

^۲: منظور از آب شلتوک، آبی است که شلتوک در آن طی دمای مشخص غوطه‌ور شده و با گذشت زمان غوطه‌وری، مقدار هدایت الکتریکی آن تغییر می‌کند.

جدول ۱ سطوح مختلف دما و زمان غوطه‌وری برای اندازه‌گیری خاصیت رطوبتی و الکتریکی

زمان‌های غوطه‌وری (دقیقه)					دمای غوطه‌وری (°C)
۲۴۰	۱۳۵	۷۵	۴۵	۱۵	۶۰
۱۸۰	۱۲۰	۷۵	۴۵	۱۵	۶۵
۱۲۰	۷۵	۴۵	۳۰	۱۵	۷۰
۸۰	۶۰	۴۵	۳۰	۱۵	۷۵

اندازه‌گیری خاصیت الکتریکی (ضریب هدایت الکتریکی) آب شلتوک طبق رابطه (۱) به روش (Icier *et al.*, 2008) و توسط سامانه‌ی گرمایش اهمی مطابق شکل (۱)، انجام گرفت. سامانه‌ی گرمایش اهمی شامل تغییر دهنده‌ی ولتاژ، سلول اهمی، واحد داده برداری، دماسنج، رایانه، الکترودها و سیم‌های رابط است.

$$\sigma = \frac{l \times I}{V \times A} \quad (1)$$

σ : هدایت الکتریکی (S/m)،

V : ولتاژ (V)،

I : شدت جریان (A)،

l : فاصله بین الکترودها (m)

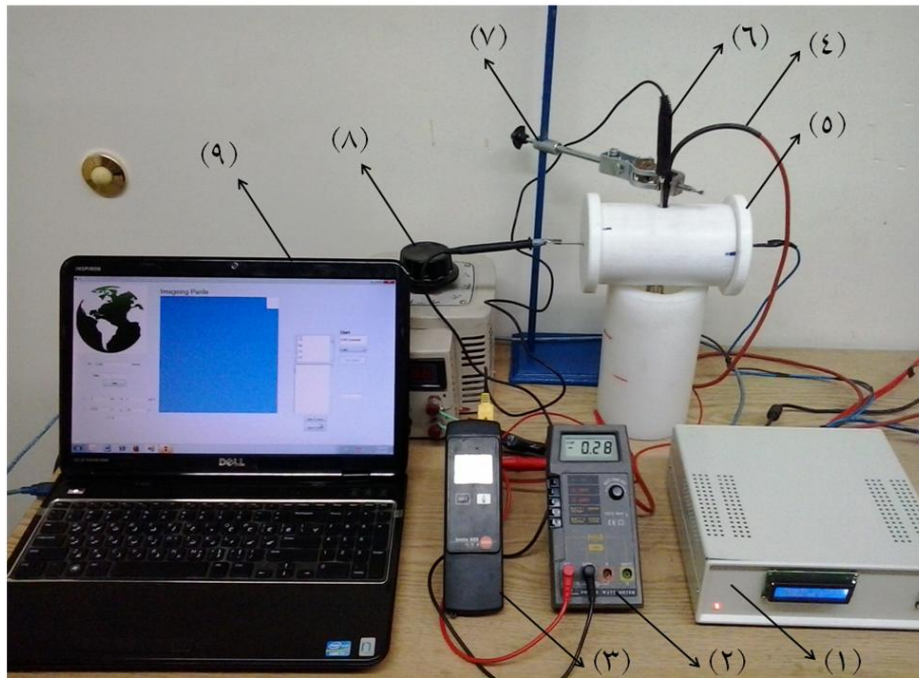
A : مساحت مقطع مؤثر الکتروود (m²) می‌باشند.

منبع توان مورد استفاده مدل TDGC2-KVA (دقت ۰/۱ V) است. آزمایش در ولتاژ ۲۶۴ ولت و گرادیان ولتاژ ۴۴V/cm انجام شد (Dhingra *et al.*, 2012). سلول گرمایش اهمی شامل یک لوله استوانه‌ای شکل تو خالی تفلون^۱، دو الکتروود استیل ضد زنگ (Marra *et al.*, 2009)، دو تویی رزوه‌دار، دو حلقه‌ی آب‌بند برای آبندی و دو میله‌ی استیل، رابط جریان برق به الکتروود می‌باشد. سامانه داده برداری^۲ لحظه‌ای دما و جریان برق عبوری از سلول اهمی شامل ثبت آمپر عبوری از سلول اهمی توسط آمپرسنج ACS712, 5A و ثبت دمای بین دو الکتروود سلول توسط حسگر LM35D می‌باشد. داده‌ها هر ۵۰۰ میلی ثانیه در رایانه ثبت می‌گردید. به دلیل ثابت بودن دما در همه نقاط فقط از یک دماسنج استفاده شد (Zareifard *et al.*, 2003). مجموعه‌ی سامانه‌ی مذکور در شکل (۳-۸)، نشان داده شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، نمونه‌ها در سلول اهمی ریخته شده و از اتصال منبع تغذیه AC به الکترودهای سلول تا رسیدن دمای نمونه به ۹۰ °C استفاده می‌شد (Morales-Sanchez E. *et al.*, 2009). استفاده از جریان مستقیم (DC) تأثیر کمتر و در بعضی موارد، تأثیر نامطلوبی بر کیفیت محصول دارد و این مسئله به این دلیل است که اساساً مبادله الکترون‌ها در سطح تماس بین محصول و الکترودها به دلیل پدیده تجزیه بوسیله جریان برق اتفاق می‌افتد.

¹: Poly Tetra Fluoro Ethylene or Teflon(PTFE)

²: Data logger

جریان متناوب مناسب‌تر بوده و در حقیقت یک حرکت نوسانی از آنیون‌ها را ایجاد می‌کند، در واقع جریان متناوب متضمن پدیده گرمایی - مقاومتی است (Akbari, 2012). جریان، دما و هدایت الکتریکی هر ۵۰۰ میلی ثانیه طی گرمایش اهمی ثبت می‌گردید.



شکل ۱ سامانه ثبت لحظه‌ای دما و جریان برق عبوری از سلول اهمی. (۱) سامانه داده‌برداری آمپر و دمای سلول اهمی، (۲) آمپر متر برای نمایش آمپر، (۳) ترموکوپل، (۴) حسگر LM۳۵ روکش دار، (۵) سلول اهمی، (۶) حسگر دمای نوع K برای اتصال به ترموکوپل، (۷) پایه‌ی نگه‌دارنده، (۸) تغییر دهنده‌ی ولتاژ، (۹) رایانه برای ثبت دما و آمپر و هدایت الکتریکی.

در نهایت هر یک از مقادیر خاصیت رطوبتی - الکتریکی که بتواند با خطای کمتری با مقادیر درصد ژلاتینه‌شدن مدل رگرسیونی بسازد به‌عنوان مبنای اندازه‌گیری در تعیین بی‌درنگ درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته در مرحله‌ی غوطه‌وری در نظر گرفته خواهد شد. برای اندازه‌گیری درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته، دانه‌های برنج نیم جوش توسط آسیاب دستی به ذرات ریزتری تبدیل شده و بعد از آن توسط آسیاب برقی پودر گردید. نمونه‌ها از الک با اندازه $250\ \mu\text{m}$ و $125\ \mu\text{m}$ عبور داده شد. در نهایت آرد برنج با اندازه ذرات کمتر از $125\ \mu\text{m}$ حاصل شد (Miah *et al.*, 2002a). اندازه‌گیری درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج توسط دستگاه کالری‌متر تفاضلی (Micro- DSC VIIIEVO, Setaram, France)، با دقت $0.002\ \mu\text{W} / 0.02\ \mu\text{W}$ در آزمایشگاه علوم و صنایع غذایی^۱ دانشگاه توکیو^۲ انجام شد. بدین منظور ۱۲ ساعت قبل از شروع آزمون، ۳۰٪ آرد برنج حاصل از زمان‌های مختلف غوطه‌وری با ۷۰٪ آب

^۱: Food Science and Technology

^۲: Tokyo University of Marine Science & Technology



مقطر، ترکیب شده و در دستگاه کالری متر تفاضلی میکرو از ۲۴ تا ۹۸ درجه سلسیوس با آهنگ $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ قرار گرفت (Miah et al., 2002). درجه ژلاتینه شدن طبق رابطه‌ی (۲)، محاسبه می‌گردد (Swasdisevi et al., 2010):

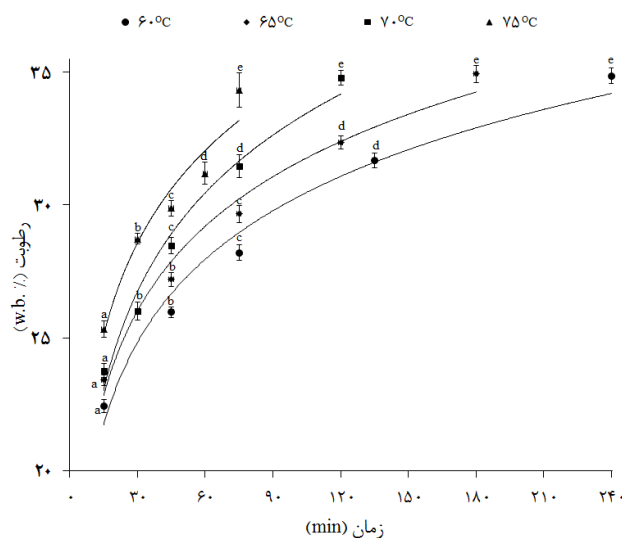
$$SG(\%) = \left[1 - \frac{\Delta H}{\Delta H^*} \right] \times 100 \quad (2)$$

در این معادله، ΔH و ΔH^* به ترتیب تغییرات آنتالپی نشاسته برنج طی ژلاتینه شدن و تغییرات آنتالپی نشاسته برنج خام (غیر ژلاتینه شده) را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

رطوبت شلتوک طی غوطه‌وری

اولین گام در فرآیند نیم جوش کردن، جذب رطوبت کافی توسط دانه و ژلاتینه شدن نشاسته آن طی غوطه‌وری می‌باشد که با غوطه‌وری شلتوک در آب، قابل دستیابی است؛ تغییرات میزان رطوبت شلتوک تا مقدار ۳۵٪ بر پایه‌ی تر، برای سطوح مختلف دما و زمان غوطه‌وری به همراه انحراف معیار در شکل (۲) نشان داده شده است. شرایط و زمان بهینه‌ی غوطه‌وری، باید با توجه به مقدار میزان رطوبت نمونه‌ها در انتهای فرآیند غوطه‌وری انتخاب گردد (۳۵٪ بر پایه‌ی تر) (Das et al., 2004). در دمای غوطه‌وری خیلی پایین، میزان جذب رطوبت طی غوطه‌وری خیلی پایین بوده و نرخ جذب رطوبت در دماهای بالاتر افزایش یافت (Bhattacharya, 1985). منحنی نرخ جذب رطوبت برحسب زمان به‌طور لگاریتمی ($R^2 > 0.94$) تغییر یافته که در ساعت ابتدایی غوطه‌وری، نرخ جذب رطوبت بالایی داشته است. افزایش سریع در میزان رطوبت شلتوک طی غوطه‌وری با افزایش دمای غوطه‌وری ممکن است به سبب جذب رطوبت به همراه افزایش حجم نشاسته و یا ترک برداشتن پوسته‌ی شلتوک و پخته شدن دانه‌های برنج در دمای بالای غوطه‌وری باشد. همچنین ترک برداشتن پوسته‌ی شلتوک، در نهایت موجب تغییر شکل دانه‌های برنج می‌گردد (Igathinathane et al., 2005).

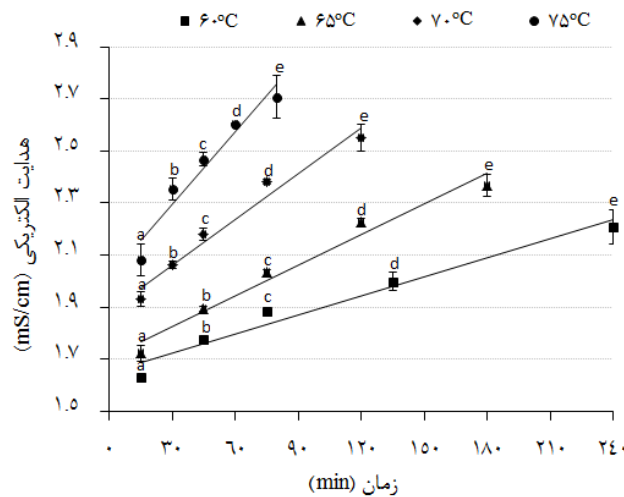




شکل ۲ منحنی جذب رطوبت شلتوک در سطوح مختلف دما و زمان غوطه‌وری تا محتوای رطوبت ۳۵٪ در انتهای مرحله‌ی غوطه‌وری **مقادیر محتوای رطوبت با حروف مختلف بر روی هر منحنی، اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با هم دارند.

هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه‌وری

مطابق شکل (۳)، هدایت الکتریکی آب شلتوک در سطوح مختلف دما و زمان غوطه‌وری اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه‌وری به‌طور معنی‌دار ($P < 0.05$) و خطی افزایش یافت. به نظر می‌رسد که مدل خطی بهترین مدل برازش شده برای مقدار هدایت الکتریکی بر حسب زمان غوطه‌وری باشد زیرا این مدل دارای بالاترین مقدار R^2 (۰.۹۴) بوده است. با افزایش دمای غوطه‌وری مقدار هدایت الکتریکی افزایش یافت. طی غوطه‌وری شلتوک با افزایش دمای غوطه‌وری و نزدیک شدن آن به دمای ژلاتینه‌شدن، گرانول‌های نشاسته متورم می‌گردند (Li et al., 2004). همچنین، با افزایش پیوسته دما، مقداری از گرانول‌های نشاسته شروع به تجزیه کرده و نرخ حرکت ذرات باردار افزایش می‌یابد؛ بنابراین مقدار هدایت الکتریکی با افزایش دما طی غوطه‌وری خواهد یافت (Chaiwanichsiri et al., 2001; Dhingra et al., 2012). هدایت الکتریکی مواد غذایی با تغییر ساختار شیمیایی آن تغییر می‌یابد (An and King, 2007).

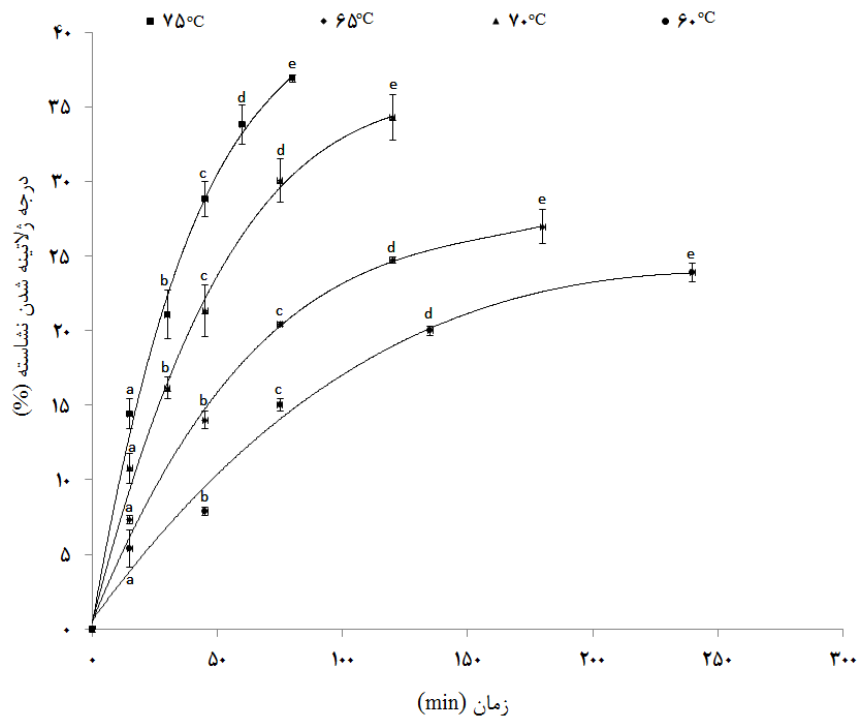


شکل ۳ هدایت الکتریکی آب شلتوک در سطوح مختلف دما و زمان غوطه‌وری

** مقادیر هدایت الکتریکی با حروف مختلف بر روی هر منحنی، اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با هم دارند

مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج طی غوطه‌وری

مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج، یکی از مهم‌ترین خواص گرمایی برنج است که توسط دستگاه مایکرو کالری‌متر تفاضلی با نرخ گرمایی $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ طی زمان و دماهای مختلف غوطه‌وری اندازه‌گیری شد و نتایج آن در شکل (۴) به همراه مقدار انحراف معیار نشان داده شده است. در تمامی تیمارهای غوطه‌وری، مقادیر ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج (از $5/38$ تا $36/90\%$) به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) طی غوطه‌وری افزایش یافت. با افزایش زمان غوطه‌وری، مقدار ژلاتینه‌شدن به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) و با معادله چند جمله‌ای درجه سوم ($R^2 > 0.98$) افزایش یافت. همچنین با افزایش دمای غوطه‌وری نیز مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج روند افزایشی داشته است. این نتایج با مطالعات محققان قبلی که بیان کرده بودند، مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج با شدت تیمار نیم جوش کردن افزایش می‌یابد، سازگار است (Islam *et al.*, 2002, Manful *et al.*, 2008, Lamberts *et al.*, 2006). همچنین غوطه‌وری برنج تحت تیمار گرمایی، موجب جذب آب توسط گرانول‌های نشاسته در برنج شده و در نتیجه گرانول‌های نشاسته به‌طور برگشت ناپذیر متورم و به وزن مولکولی پایین‌تر تبدیل می‌شود؛ که این فرآیند به ترکیب تیمار دما-زمان طی غوطه‌وری بستگی دارد (Takahashi *et al.*, 2005).



شکل ۴ تأثیر زمان غوطه‌وری بر مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج در دماهای مختلف غوطه‌وری

** مقادیر میانگین با حروف مختلف بر روی هر منحنی، اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با هم دارند

مدل ریاضی هدایت الکتریکی-رطوبت با مقدار ژلاتینه‌شدن



با استفاده از مدل خطی رگرسیونی، تغییرات درصد ژلاتینه شدن نشاسته برنج نسبت به مقدار رطوبت شلتوک و مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک به طور جداگانه با استفاده از برنامه Matlab ۲۰۱۱ برازش داده شدند. مقادیر SSE ، $RMSE$ و R^2 و مدل های خطی برای دماهای غوطه وری ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ درجه سلسیوس در جدول (۲) آورده شده است. برازش مقادیر ژلاتینه شدن نشاسته برنج با مقادیر هدایت الکتریکی آب شلتوک که دارای بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقادیر $RMSE$ و SSE بوده، بهترین مدل برای برازش، منحنی های تغییرات مقدار ژلاتینه شدن نشاسته برنج نسبت به هدایت الکتریکی آب شلتوک می باشد؛ به عبارت دیگر، مقدار هدایت الکتریکی با دقت بیشتری می تواند، مقدار ژلاتینه شدن نشاسته برنج طی غوطه وری را پیش بینی کند؛ بنابراین اگر مقدار هدایت الکتریکی طی غوطه وری به حد معینی برسد آنگاه می توان گفت که مقدار ژلاتینه شدن نشاسته برنج، به حد مشخصی رسیده است. زمان اتمام فرآیند غوطه وری مدت زمانی است که نشاسته برنج تا مقدار معلومی (مثلا برای دمای غوطه وری $65^{\circ}C$ تا حدود ۲۷٪ ژلاتینه شود) ژلاتینه گردد. در نهایت می توان نتیجه گیری کرد که اگر سامانه ای بتواند مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک را طی زمان های مختلف غوطه وری اندازه گیری کند آنگاه براحتی می توان از طریق سامانه، دستور زمان اتمام فرآیند غوطه وری را صادر کرد.

جدول ۲ مدل خطی تغییرات درصد ژلاتینه شدن نشاسته برنج نسبت به مقدار رطوبت شلتوک و مقدار هدایت الکتریکی آب

شلتوک

SSE	RMSE	R^2	معادله	دمای غوطه وری ($^{\circ}C$)
۱۴/۱۱	۱/۸۷۸	۰/۹۶۶۳	$DSG = 36/35 \times EC - 54/82$	۶۰
۴۹/۲۳	۳/۵۰۸	۰/۸۸۲۴	$DSG = 1/0.24 \times MC - 14/27$	۶۰
۱۳/۰۴	۱/۸۰۶	۰/۹۷۶۳	$DSG = 33/24 \times EC - 49/68$	۶۵
۴۲/۱۸	۳/۲۴۷	۰/۹۲۳۳	$DSG = 1/178 \times MC - 15/55$	۶۵
۸/۸۹۳	۱/۴۹۱	۰/۹۸۸۹	$DSG = 35/14 \times EC - 55/24$	۷۰
۵۸/۱۹	۳/۸۱۴	۰/۹۲۷۱	$DSG = 1/468 \times MC - 19/28$	۷۰
۱۹/۷۲	۲/۲۲	۰/۹۷۹۲	$DSG = 31/68 \times EC - 50/09$	۷۵
۸۶/۴۴	۴/۶۴۹	۰/۹۰۸۹	$DSG = 1/59 \times MC - 20/02$	۷۵

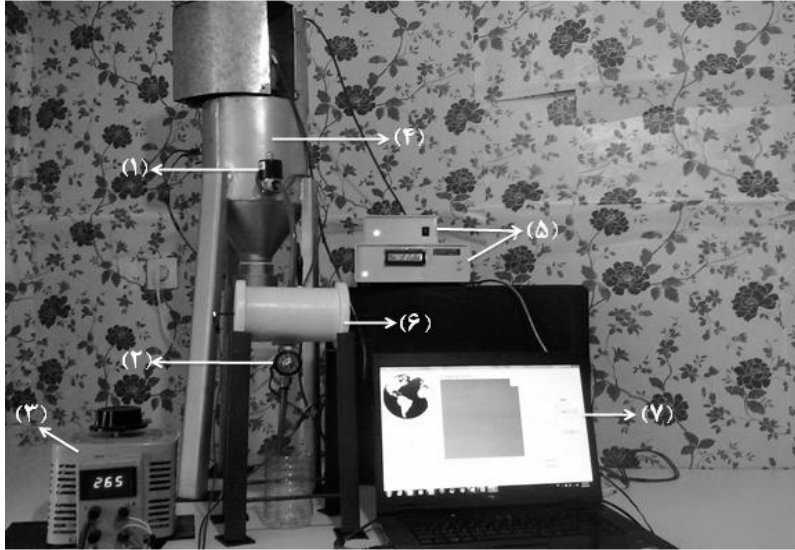
** DSG: درجه ژلاتینه شدن نشاسته (%), EC: هدایت الکتریکی (mS/cm), MC: رطوبت شلتوک (w.b.%)

سامانه اندازه گیری بی درنگ درصد ژلاتینه شدن نشاسته برنج طی غوطه وری

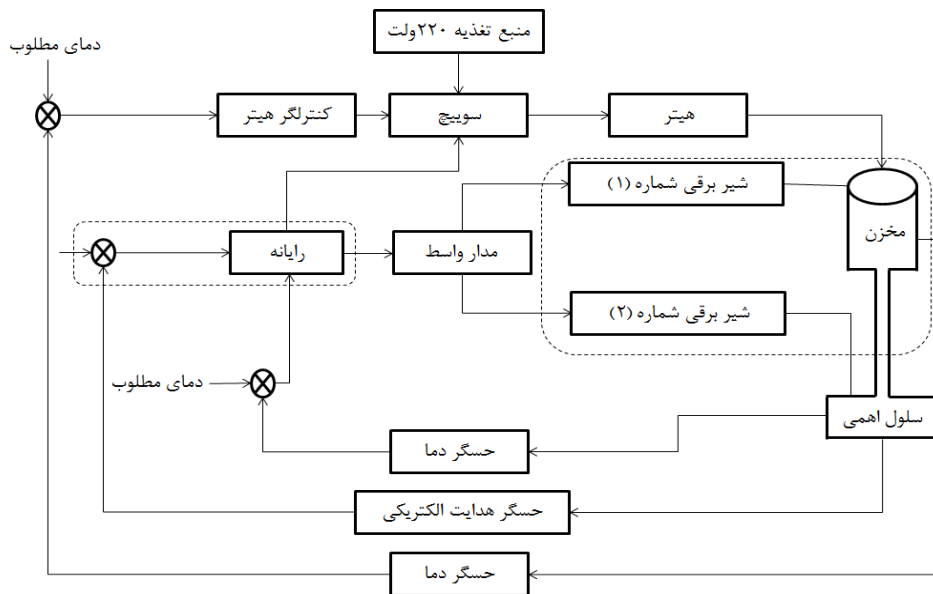
با توجه به مدل ریاضی هدایت الکتریکی-رطوبت با مقدار ژلاتینه شدن مطابق جدول (۲)، با اندازه گیری مقادیر هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه وری به راحتی می توان درصد ژلاتینه شدن نشاسته برنج طی غوطه وری را پیش بینی کرد؛ بنابراین مطابق شکل (۵) و مطابق نمودار روندنا در شکل (۶)، سامانه اندازه گیری بی درنگ مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک ساخته شده است.

طبق ارزیابی کیفی که بر برنج نیم جوش رقم فجر توسط Taghinezhad و همکاران (۲۰۱۵) صورت گرفته بود، دمای غوطه‌وری 65°C به عنوان بهترین دمای غوطه‌وری و زمان غوطه‌وری، 180 دقیقه پیشنهاد گردید (Taghinezhad *et al.*, 2015). بنابراین برای اندازه‌گیری بی‌درنگ هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه‌وری در دمای 65°C زمان‌های نمونه‌گیری 60 ، 120 ، 150 ، 165 ، 180 و 195 دقیقه در نرم‌افزار سامانه ثبت گردید. قبل از شروع آزمایش، سامانه مقدار هدایت الکتریکی و دمای ورودی ($2/369\text{mmS/cm}$ و 65°C) موردنظر را از کاربر می‌خواهد؛ یعنی اگر مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک در دمای 65°C به عدد $2/369\text{mmS/cm}$ برسد، آنگاه مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج در انتهای مرحله‌ی غوطه‌وری به عدد $26/98\%$ رسیده است. در نهایت فرآیند غوطه‌وری به اتمام رسیده و کل سامانه باید خاموش گردد. برای اندازه‌گیری بی‌درنگ هدایت الکتریکی، شیر برقی متصل به مخزن غوطه‌وری در زمان‌های نمونه‌گیری باز شده و نمونه آب شلتوک در سلول اهمی قرار می‌گرفت. سامانه مقدار هدایت الکتریکی و دمای درون سلول را اندازه‌گیری می‌کرد و آن را با دمای و هدایت الکتریکی ورودی (که در شروع آزمایش توسط کاربر به سامانه داده شده بود) مورد مقایسه قرار می‌داد. تا اینکه بعد از 180 دقیقه غوطه‌وری، مقدار هدایت الکتریکی و دمای نمونه‌ی درون سلول اهمی، به مقدار از قبل تعیین‌شده ($2/369\text{mmS/cm}$ و 65°C) رسید. بعد از تخلیه کامل سلول اهمی، فرمان خاموش شدن کل سامانه صادر گردید و مرحله‌ی غوطه‌وری به اتمام رسید؛ بنابراین با استفاده این سیستم، کنترل مرحله‌ی غوطه‌وری را می‌توان به‌طور دقیق انجام داد. در صورتی که در حال حاضر اتمام مرحله غوطه‌وری به‌صورت دستی بوده و بر اساس میزان رطوبت شلتوک در انتهای مرحله‌ی غوطه‌وری است. کاربر در زمان‌های مختلف غوطه‌وری، مقدار رطوبت شلتوک را توسط رطوبت سنج اندازه‌گیری می‌کند. استفاده از این روش طاقت فرسا بوده و با خطای اندازه‌گیری همراه است. با توجه به اهمیت بسیار بالای مرحله‌ی غوطه‌وری، کوچک‌ترین خطا می‌تواند موجب تلفات بالای محصول در این مرحله گردد زیرا اگر شلتوک بیش از اندازه غوطه‌ور گردد موجب پخته شدن دانه‌های درون پوسته می‌گردد یا اگر کمتر از حد مجاز غوطه‌ور گردد، دانه‌های برنج پس از عبور از مراحل بعد، به‌خوبی ژلاتینه نمی‌شود و موجب افت کیفیت محصول می‌گردد. غوطه‌وری بیشتر و کمتر از حد مجاز نیز می‌تواند موجب کاهش راندمان برنج سالم گردد.

این سامانه‌ی بی‌درنگ، برای دمای غوطه‌وری 65°C در 3 تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر 3 تکرار، سامانه به صورت بی‌درنگ در زمان غوطه‌وری 180 دقیقه خاموش گردید. بعد از خاموش شدن سامانه مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج توسط دستگاه کالری متر تفاضلی اندازه‌گیری شد. مقادیر بدست آمده ($26/74\%$) با مقدار آزمایشگاهی ($26/98\%$) با مقایسه میانگین تحت آزمون t -test مستقل اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) نداشته است؛ بنابراین با استفاده از سامانه مذکور می‌توان مرحله غوطه‌وری را با دقت $99/1\%$ کنترل کرد و مقدار ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج را به مقدار حدود 27% رساند تا طی مراحل بعدی فرآیند نیم جوش کردن، به مقدار بالاتری برسد. در نهایت محصول با کیفیت بهتر و راندمان آسیاب بالاتری بدست می‌آید.



شکل ۵ سامانه کنترل خودکار در مرحله غوطه‌وری فرآیند نیم‌جوش کردن. (۱) شیر برقی مخزن، (۲) شیر برقی سلول، (۳) منبع تغذیه ولتاژ، (۴) مخزن، (۵) سامانه بی‌درنگ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و کنترل دمای آب مخزن، (۶) سلول اهمی، (۷) رایانه برای ثبت و تحلیل داده‌ها.



شکل ۶ نمودار روند نمای سامانه‌ی اندازه‌گیری بی‌درنگ مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه‌وری فرآیند نیم‌جوش کردن

نتیجه گیری

با افزایش دمای غوطه‌وری، نرخ جذب رطوبت به‌طور لگاریتمی ($R^2 > 0.94$)، مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک (۱/۶۳ تا $2/71 \text{ mS.cm}^{-1}$) به‌طور خطی ($R^2 > 0.94$) و مقدار درجه ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج (۵/۳۸ تا ۳۶/۹۰٪) با معادله درجه سوم ($R^2 > 0.98$) طی غوطه‌وری افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) داشت. مقدار هدایت الکتریکی با دقت بیشتری توانست، مقدار



ژلاتینه شدن نشاسته برنج طی غوطه‌وری را پیش‌بینی کند. زمان اتمام فرآیند غوطه‌وری مدت زمانی است که نشاسته برنج تا مقدار معلومی ژلاتینه گردد. در نهایت با ساخت سامانه‌ی آنلاین برای اندازه‌گیری مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک طی زمان‌های مختلف غوطه‌وری، مقدار ژلاتینه شدن نشاسته طی غوطه‌وری، پیش‌بینی شد. آنگاه سامانه براحتی توانست، بدین طریق، دستور زمان اتمام فرآیند غوطه‌وری را صادر کند. ارزیابی سامانه‌ی ساخته شده، در دمای غوطه‌وری 65°C و ۳ تکرار اجرا شد و این سامانه توانست مرحله غوطه‌وری را با دقت $99/1\%$ کنترل کند و مقدار ژلاتینه شدن نشاسته برنج را به مقدار حدود 27% برساند.

منابع

Akbari F. 2012. Investigation of ohmic heating methods on the physicochemical properties of pomegranate juice University of Shahr e Kord.

An HJ, King JM. 2007. Thermal characteristics of ohmically heated rice starch and rice flours. Journal of food Science 72: C084-088.

Bhattacharya KR. 1985. Parboiling of rice. In rice chemistry and technology, Juliano, B.O. (Ed.). American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, pp: 289-348.

Chaiwanichsiri S, Ohnishi S, Suzuki T, Takai R, Miyawaki O. 2001. Measurement of electrical conductivity, differential scanning calorimetry and viscosity of starch and flour suspensions during gelatinisation process. Journal of the Science of Food and Agriculture 81: 1586-1591.

Das I, Das SK, Bal S. 2004. Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice. Journal of Food Engineering 62: 9-14.

Dhingra D, Chopra S, Rai DR. 2012. Stabilization of raw rice bran using ohmic heating. Agricultural Research 1: 392-398.

FAO. 2004. Food and Population: FAO Looks Ahead. Food and Agricultural Organization of United Nations. Report no.

Icier F, Ilicali C. 2005. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. Food Research International 38: 1135-1142.

Icier F, Yildiz H, Baysal T. 2008. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. Journal of Food Engineering 85: 410-417.

Igathinathane C, Chattopadhyay PK, Pordesimo LO. 2005. Combination soaking procedure for rough rice parboiling. American Society of Agricultural Engineers 48: 665-671.

- Islam MR, Roy P, Shimizu N, Kimura T. 2002. Effect of Processing Conditions on Physical Properties of Parboiled Rice. *Food Science and Technology Research* 8: 106-112.
- Lamberts L, Brijs KMR, Verhelst N, Delcour JA. 2006. Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 9924-9929.
- Latifi A, Alizadeh MR. 2014. Effect of parboiling on qualities and milling of Iranian rice. *Journal of Agricultural and engineering research* 15: 77-88.
- Li F-D, Li L-T, Li Z, Tatsumi E. 2004. Determination of starch gelatinization temperature by ohmic heating. *Journal of Food Engineering* 62: 113-120.
- Manful JT, Grimm CC, Gayin J, Coker RD. 2008. Effect of variable parboiling on Crystallinity of Rice Samples. *Cereal Chemistry* 85: 92-95.
- Marra F, Zell M, Lyng JG, Morgan DJ, Cronin DA. 2009. Analysis of heat transfer during ohmic processing of a solid food. *Journal of Food Engineering* 91: 56-63.
- Miah MAK, Haque A, Douglass MP, Clarke B. 2002. Parboiling of rice. Part II: Effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization. *International Journal of Food Science & Technology* 37: 539-545.
- . 2002a. Parboiling of rice. Part I: Effect of hot soaking time on quality of milled rice. *International Journal of Food Science & Technology* 37: 527-537.
- Morales-Sanchez E, Figueroa JD, Gaytan-Martínez M. 2009. Wet method for measuring starch gelatinization temperature using electrical conductivity. *Journal of food Science* 74: E382-385.
- Morales-Sanchez E, Martinez MG, Vega MLR, Cardenas JDCF. 2007. Electrical conductivity and kinetic parameters of rice starch. *Journal of Food Process Engineering* 30: 578-583.
- Saif SMH, Suter DA, Lan Y. 2004. Effects of Processing Conditions and Environmental Exposure on the Tensile Properties of Parboiled Rice. *Biosystems Engineering* 89: 321-330.
- Sarepuang K, Siriamornpun S, Wiset L, Meeso N. 2008. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled Fragrant rice. *World Journal of Agricultural Sciences* 4: 409-415.



- Swasdisevi T, Sriariyakula W, Tia W, Soponronnarit S. 2010. Effect of pre-steaming on production of partially-parboiled rice using hot-air fluidization technique. *Journal of Food Engineering* 96: 455-462.
- Taghinezhad E, Khoshtaghaza MH, Minaei S, Latifi A. 2015. Effect of soaking temperature and steaming time on the quality of parboiled Iranian paddy rice. *International journal of food engineering* 11: 547-556.
- Takahashi T, Miura M, Ohisa N, Kobayashi S. 2005. Modification of gelatinization properties of rice flour by heat-treatment. *Nihon Reoroji Gakkaishi* 33: 81-85.
- Zareifard MR, Ramaswamy HS, Trigui M, Marcotte M. 2003. Ohmic heating behaviour and electrical conductivity of two-phase food systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 4: 45-55.