



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## اندازه‌گیری هدایت الکتریکی طی غوطه‌وری فرآیند نیم جوش کردن شلتوک به روش گرمایش اهمی

ابراهیم تقی نژاد<sup>۱\*</sup>، محمد هادی خوش تقاضا<sup>۲</sup>، سعید مینایی<sup>۲</sup> و عاصفه لطیفی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس

۳- محقق مرکز تحقیقات برنج کشور، آمل

ایمیل مکاتبه کننده: [ebrahim.taghinezhad@modares.ac.ir](mailto:ebrahim.taghinezhad@modares.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق هدایت الکتریکی و رطوبت شلتوک رقم فجر، طی غوطه‌وری فرآیند نیم جوش کردن اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در دمای ۶۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شده و در ۵ سطح زمانی ۱۵، ۴۵، ۷۵، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه از غوطه‌وری نمونه‌گیری صورت گرفت. دانستن محتوای رطوبت شلتوک طی غوطه‌وری از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا در انتهای فرآیند غوطه‌وری، محتوای رطوبت شلتوک باید به ۳۵٪ بر پایه تر برسد. در غیر اینصورت فرآیند نیم جوش کردن کامل نخواهد شد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی به روش گرمایش اهمی انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار رطوبت و هدایت الکتریکی طی غوطه‌وری به ترتیب به طور لگاریتمی و چندجمله‌ای درجه سوم افزایش یافت. بهترین مدل (معادله درجه دوم) برای برازش منحنی‌های تغییرات مقدار رطوبت شلتوک نسبت به هدایت الکتریکی آب شلتوک (با بیشترین مقدار  $R^2$  و کمترین مقادیر RMSE و SSE) بوده است. در نتیجه، هدایت الکتریکی با مقدار محتوای رطوبت طی غوطه‌وری مطابقت دارد و یک ابزار موثر برای تعیین سریع مقدار رطوبت شلتوک می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** شلتوک، نیم جوش کردن، غوطه‌وری، هدایت الکتریکی

### مقدمه

برنج به‌عنوان یک ماده‌ی غذایی بسیار ارزشمند، نقش بسیار مهمی را در تغذیه‌ی مردم جهان ایفا می‌کند. برنج نه تنها غذای اصلی مردم آسیا، بلکه یکی از مهم‌ترین مواد غذایی برای بیش از نصف جمعیت دنیا است (FAO., 2004). به لحاظ اهمیتی



که برنج پس از گندم در رژیم غذایی مردم کشور ایران، پیدا کرده است، در ردیف کالاهای استراتژیک جای گرفته و دومین ماده‌ی غذایی مورد مصرف اکثر مردم است.

تیمار حرارتی بر روی شلتوک، قبل از فرآیند آسیاب کردن را نیم جوش کردن شلتوک گویند که یک فرآیند هیدرو گرمایی است و شامل سه مرحله غوطه وری، بخاردهی و خشک کردن می باشد (Bualuang et al., 2011). در مرحله ی غوطه وری، شلتوک به نسبت ۱/۵ تا ۲ برابر با آب مخلوط می شود و حداکثر زمان مناسب غوطه‌وری شلتوک، تا رسیدن رطوبت آن به ۳۵٪ بر پایه‌ی تر است (Juliano et al., 1981). هدف از مرحله ی بخاردهی، ژلاتینه شدن (ذوب شدن) ریزدانه‌های نشاسته است که می‌تواند در فشار اتمسفر (دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد) یا تحت فشار (دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتی گراد) باشد. هر چه فشار و دما بالاتر باشد زمان حرارت دهی کاهش می‌یابد (Bhattacharya, 1985).

هدایت الکتریکی در واقع مقیاسی است از اینکه یک جسم تا چه مقدار بار الکتریکی را منتقل می‌سازد و بر اساس واحد زیمنس بر متر (S/M) بیان می‌شود. در فناوری گرمایش اهمی هدایت بر اساس مقدار مواد معدنی و یا مقدار یونها اندازه‌گیری می‌شود. برای مواد غذایی، معمولاً هدایت الکتریکی به دلیل وجود ترکیبات نمک و رطوبت است. هر چه میزان نمک حل شده در ماده غذایی بیشتر باشد هدایت الکتریکی بیشتر می‌باشد (Icier et al., 2008). Zareifard و همکاران (۲۰۰۳)، هدایت الکتریکی قطعه‌های مختلف هویج در محلول نشاسته را با گرادیان ولتاژ  $12/5V/cm$  مورد بررسی قرار داده‌اند و هدایت الکتریکی را به صورت تابعی از سایز ذرات، غلظت و دما به دست آورده‌اند. سلول اهمی مورد استفاده استوانه‌ای و از جنس تفلون، دارای طول ۲۰ میلی‌متر، ۳۵ میلی‌متر قطر و ۲۵ میلی‌متر ضخامت بوده است. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که با بزرگ‌تر شدن سایز ذرات و افزایش غلظت زمان گرمادهی افزایش یافته و هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد. همچنین مقادیر هدایت الکتریکی بین فاز جامد و مایع در دو حالت ترکیبی و غیرترکیبی اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند (Zareifard et al., 2003). Icier و Ilicali (۲۰۰۵)، رابطه بین هدایت الکتریکی و دما برای پوره میوه هلو و زردآلو را طی گرمایش اهمی با گرادیان ولتاژهای ۲۰ تا  $70v/cm$  را بررسی کرده‌اند و دریافتند 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). Sarang و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی تغییرات هدایت الکتریکی شش نوع آب‌میوه (سیب قرمز، سیب زرد، هلو، گلابی، آناناس و توت‌فرنگی) و سه نوع گوشت (مرغ، خوک و گاو) از دمای اتاق تا دمای استریلیزه شده ( $25-140^{\circ}C$ ) طی فرآیند گرمایش اهمی در گرادیان ولتاژهای ثابت  $25v/cm$  و  $19v/cm$  پرداختند. آن‌ها دریافتند که هدایت الکتریکی به‌طور خطی با دما افزایش پیدا می‌کند و هدایت الکتریکی میوه‌ها نسبت به نمونه‌های گوشت کمتر بوده و در بین میوه‌ها هلو و توت‌فرنگی بیشترین هدایت الکتریکی را دارند (Sarang et al., 2008). Assiry و همکاران (۲۰۱۰)، تحقیقی در خصوص رسانایی الکتریکی آب دریا در طی حرارت اهمی انجام دادند. آن‌ها اثرات دما، قدرت میدان الکتریکی و غلظت مواد جامد در محلول (TDS) را بر هدایت الکتریکی آب دریا بررسی کردند و گزارش کردند که رسانایی الکتریکی به شدت وابسته به دما است (Assiry et al., 2010). Darvishi و همکاران (۲۰۱۳)، هدایت الکتریکی آب‌میوه لیمو را طی گرادیان ولتاژ ۳۰ تا  $50V/cm$ ، به روش گرمایش اهمی به دست آورده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که با افزایش گرادیان ولتاژ، هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد و همچنین هدایت الکتریکی آب‌لیمو به‌طور خطی با



افزایش دما، افزایش می‌یابد (Darvishi et al., 2013). Dhingra و همکاران (۲۰۱۲)، هدایت الکتریکی سبوس برنج را در محتوای رطوبتی ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ (w.b.) و گرادیان ولتاژ ۴۴ تا ۷۲۷/cm (ولتاژ ۱۳۲، ۱۵۰، ۱۶۸، ۱۸۹ و ۲۱۶ ولت) را با استفاده از روش گرمایش اهمی در ۳ تکرار به دست آورده‌اند. آن‌ها در روش گرمایش اهمی از سلول استوانه‌ای با جنس تفلون و الکتروود استیل ضدزنگ استفاده کرده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که با افزایش دما و محتوای رطوبت، مقادیر هدایت الکتریکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است اما اختلاف در مقادیر هدایت الکتریکی به وجود اختلاف در گرادیان ولتاژ معنی‌دار نبوده است (Dhingra et al., 2012).

در این تحقیق مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک و رطوبت رقم فجر طی غوطه‌وری در دمای ۶۵°C اندازه‌گیری شد. در نهایت بهترین معادله ریاضی بین هدایت الکتریکی و مقدار رطوبت بدست آمد. تا بتوان فرآیند غوطه‌وری را به صورت بی‌درنگ با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی طی غوطه‌وری کنترل کرد. در حال حاضر اتمام فرآیند غوطه‌وری با توجه به محتوای رطوبت شلتوک می‌باشد که طی غوطه‌وری به صورت بی‌درنگ اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به وجود گرادیان رطوبتی در شلتوک، اندازه‌گیری رطوبت طی غوطه‌وری با خطا همراه است. بنابراین کنترل فرآیند غوطه‌وری با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، دقیق‌تر خواهد بود.

## مواد و روش‌ها

### تهیه نمونه و تعیین میزان رطوبت

به منظور اجرای تحقیق، شلتوک رقم فجر از مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور در آمل تهیه گردید. میانگین طول، ضخامت و عرض به ترتیب برابر ۱۰/۹۸، ۲/۲۴ و ۱/۹۲ میلی‌متر به دست آمد (امید و همکاران، ۱۳۸۹). محتوای رطوبت اولیه شلتوک ۱۱٪ (w.b.) بود. برای تعیین میزان رطوبت شلتوک، نمونه‌های ۱۰ گرمی به مدت ۲۴ ساعت و دمای ۱۳۰°C در اجاق آزمایشگاهی قرار داده شد و میزان رطوبت نمونه‌های شلتوک از رابطه ی (۱) بدست می‌آید (A.O.A.C., 1995):

$$M.C. = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، M.C. درصد رطوبت نمونه‌ها بر پایه ی تر (w.b.٪)،  $m_1$  جرم اولیه ی نمونه (kg) و  $m_2$  جرم نهایی نمونه (kg) است. برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتالی AND GF-600 ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. همچنین اجاق آزمایشگاهی Memmert D06836 ساخت کشور آلمان با دقت ۱°C مورد استفاده قرار گرفت.

### غوطه‌وری شلتوک

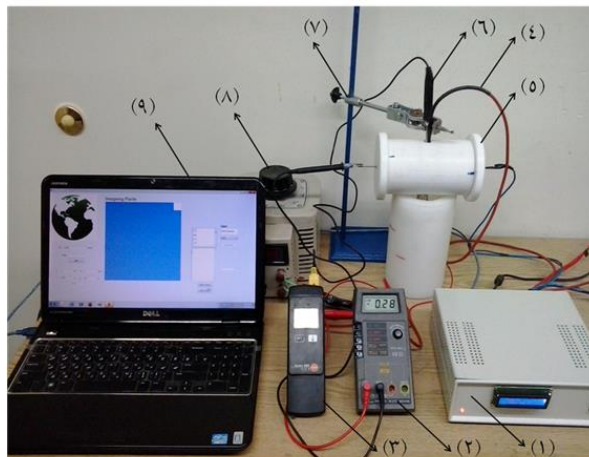
برای غوطه‌وری شلتوک از سامانه ساخته شده توسط تقی نژاد و همکاران (۲۰۱۵) استفاده گردید (Taghinezhad. et al., 2015a). در این تحقیق، دماهای مختلف غوطه‌وری را بر خواص کیفی برنج نیم جوش رقم فجر، مورد بررسی قرار



دادند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که برنج نیم جوش با غوطه‌وری در دمای  $65^{\circ}\text{C}$  بهترین خواص کیفی را داشته است. بنابراین در این تحقیق، نمونه‌گیری در دمای غوطه‌وری  $65^{\circ}\text{C}$  و ۵ سطح زمانی ۱۵، ۴۵، ۷۵، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه صورت گرفت.

### سامانه ثبت لحظه‌ای هدایت الکتریکی

سامانه ثبت لحظه‌ای هدایت الکتریکی شامل ثبت لحظه‌ای دما و جریان برق عبوری از سلول اهمی بوده که با سفارش به شرکت دلنا پارس ساخته شده است. ثبت آمپر عبوری از سلول اهمی توسط آمپر سنج ACS712, 5A و ثبت دمای بین دو الکتروود سلول توسط سنسور LM35D صورت گرفت. سلول گرمایش اهمی از یک لوله استوانه‌ای شکل تو خالی از جنس تفلون<sup>۱</sup>، دو الکتروود از جنس استیل ضد زنگ (Marra et al., 2009)، دو تویی رزوه دار، دو اورینگ جهت آبندی و دو میله ی استیل رابط جریان به الکتروود می‌باشد. استیل ضد زنگ وزن نسبت به سایر فلزات مقاومت خوبی در برابر خوردگی دارد (Ghnimi et al., 2008). داده‌ها هر ۵۰۰ میلی ثانیه در کامپیوتر ثبت می‌گردید. به دلیل ثابت بودن دما در همه نقاط فقط از یک دماسنج استفاده شد (Zareifard et al., 2003). سامانه مذکور در شکل (۱)، نشان داده شد.



شکل ۱- سامانه ثبت لحظه‌ای دما و جریان برق عبوری از سلول اهمی. ۱- سامانه اندازه‌گیری آمپر و دمای سلول اهمی<sup>۲</sup>، ۲- وات متر برای نمایش آمپر، ۳- ترموکوپل، ۴- سنسور LM35 روکش دار، ۵- سلول اهمی، ۶- سنسور دمای نوع K برای اتصال به ترموکوپل، ۷- پایه ی نگهدارنده، ۸- تغییر دهنده سی ولتاژ، ۹- کامپیوتر برای ثبت دما و آمپر و هدایت الکتریکی

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نمونه‌ها (آب شلتوک<sup>۳</sup>) در سلول اهمی ریخته شده و از اتصال منبع تغذیه AC به الکتروودهای سلول، تا رسیدن دمای نمونه به  $90^{\circ}\text{C}$  استفاده شد (Morales-Sanchez et al., 2009). جریان، دما و هدایت الکتریکی هر ۵۰۰ میلی ثانیه طی گرمایش اهمی ثبت می‌گردید.

<sup>۱</sup>: Poly Tetra Fluoro Ethylene or Teflon(PTFE)

<sup>۲</sup>: Data logger

<sup>۳</sup>: 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 می‌یابد.



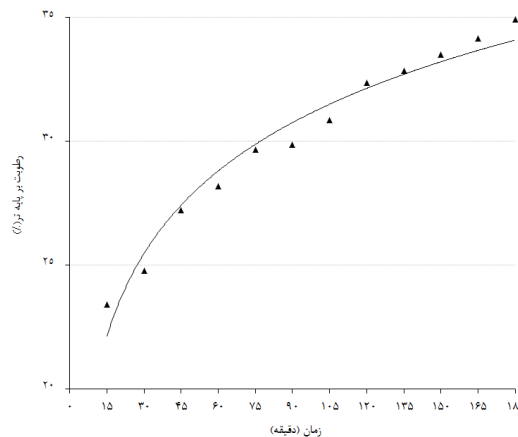
## روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

تحلیل داده‌ها در یک آزمایش فاکتوریل با ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تحلیل آماری با نرم افزار SPSS، مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن و برازش داده‌ها با نرم افزار Matlab 2011 صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### اندازه‌گیری 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. اما شرایط و زمان بهینه‌ی غوطه‌وری، باید با توجه به مقدار محتوای رطوبت نمونه‌ها در انتهای فرآیند غوطه‌وری انتخاب گردد (۳۵٪ بر پایه‌ی تر) (Das et al., 2004). مطابق شکل (۲)، در دمای غوطه‌وری  $65^{\circ}\text{C}$ ، نمودار نرخ جذب رطوبت برحسب زمان به‌طور لگاریتمی تغییر یافته است. شلتوک در دو ساعت ابتدایی غوطه‌وری، نرخ جذب رطوبت، بالایی داشته است. بعد از دو ساعت، نرخ جذب رطوبت به تدریج و آهستگی افزایش یافت. همچنین در انتهای زمان غوطه‌وری، هیچ ترکی در پوسته شلتوک مشاهده نشد.



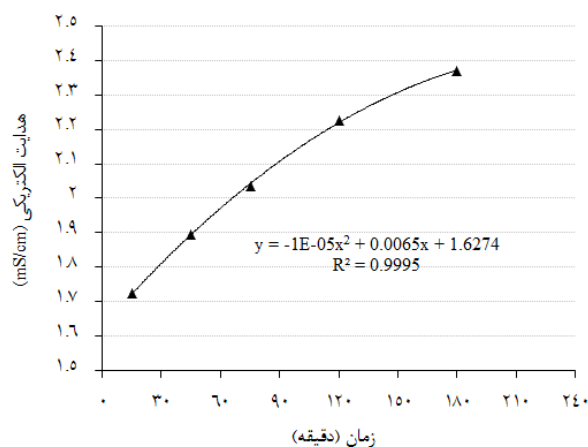
شکل ۲- نمودار جذب رطوبت شلتوک طی دما و زمان‌های مختلف غوطه‌وری

زمان بهینه برای غوطه‌وری وقتی است که محتوای رطوبت نهایی شلتوک به مقدار ۳۵٪ بر پایه‌ی تر برسد (Das et al., 2004). مطابق شکل (۲)، زمان غوطه‌وری شلتوک رقم فجر، برای دمای  $65^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس ۱۸۰ دقیقه به دست آمد.



### اندازه گیری هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه وری

مطابق شکل (۳)، هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه‌وری، به‌طور معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) و با معادله درجه سوم 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 افزایش خواهد یافت (Dhingra et al., 2012). مقدار هدایت الکتریکی مواد غذایی با تغییر ساختار آن تغییر می‌یابد (An and King, 2007). اختلاف در هدایت الکتریکی می‌تواند به خاطر مقاومت متفاوت ذرات باردار از همدیگر در دماهای مختلف غوطه‌وری باشد. این نتایج خیلی با اهمیت است، زیرا گزارش‌های خیلی زیادی از مقدار هدایت الکتریکی نشاسته و ترکیب نشاسته-آب وجود دارد (Morales-Sanchez et al., 2007, Miah et al., 2002, Li et al., 2004). اما رفتار هدایت الکتریکی به‌عنوان تابعی از زمان غوطه‌وری، تاکنون گزارش نشده است.



شکل ۳- هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه‌وری

\*\* مقادیر هدایت الکتریکی با حروف مختلف بر روی هر نمودار، اختلاف معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) باهم دارند

### تعیین مدل ریاضی هدایت الکتریکی-رطوبت با مقدار ژلاتینه‌شدن

تغییرات مقدار رطوبت شلتوک نسبت به مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک با استفاده از برنامه Matlab ۲۰۱۱ برآزش داده شدند. مقادیر  $SSE^4$ ،  $RMSE^5$  و  $R^2^6$  و مدل چند جمله‌ای درجه ۱ و درجه ۲، در جدول (۱) آورده شده است. بهترین

<sup>4</sup> : The sum of squares error (SSE)



برازش مقادیر رطوبت شلتوک با مقادیر هدایت الکتریکی آب شلتوک که دارای بیشترین مقدار  $R^2$  و کمترین مقادیر RMSE و SSE بوده، بهترین مدل (معادله درجه دوم) برای برازش منحنی‌های تغییرات مقدار رطوبت شلتوک نسبت به هدایت الکتریکی آب شلتوک می‌باشد.

جدول ۱: مقادیر SSE، RMSE و  $R^2$  و مدل چندجمله‌ای تغییرات محتوای رطوبت شلتوک نسبت به مقدار هدایت الکتریکی آب شلتوک (محتوای رطوبت شلتوک=MC، هدایت الکتریکی آب شلتوک=EC)

$R^2$	RMSE	SSE	دمای غوطه‌وری ( $^{\circ}\text{C}$ )
۰/۸۸۶۲	۳/۲۲۷	۴۱/۶۴	MC-EC ( $65^{\circ}\text{C}$ )
۰/۹۷۳۸	۱/۷۸۷	۹/۵۸	MC-EC ( $65^{\circ}\text{C}$ )

### نتیجه‌گیری

نمودار نرخ جذب رطوبت برحسب زمان به‌طور لگاریتمی تغییر یافته است و زمان غوطه‌وری شلتوک رقم فجر، برای دمای ۶۵ درجه سلسیوس ۱۸۰ دقیقه به دست آمد. هدایت الکتریکی آب شلتوک طی غوطه‌وری، به‌طور معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) و با معادله درجه سوم افزایش یافت. رفتار هدایت الکتریکی به‌عنوان تابعی از زمان غوطه‌وری، تاکنون گزارش نشده است. بهترین برازش مقادیر رطوبت شلتوک با مقادیر هدایت الکتریکی آب شلتوک که دارای بیشترین مقدار  $R^2$  و کمترین مقادیر RMSE و SSE بوده، بهترین مدل (معادله درجه دوم) برای برازش منحنی‌های تغییرات مقدار رطوبت شلتوک نسبت به هدایت الکتریکی آب شلتوک می‌باشد.

### منابع و مأخذ

1. A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis, 16th edn. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.
2. An, H. J. and King, J. M. 2007. Thermal characteristics of ohmically heated rice starch and rice flours. Journal of food Science, 72: C084-88.
3. Assiry, A. M., Gaily, M. H., Alsamee, M. and Sarifudin, A. 2010. Electrical conductivity of seawater during ohmic heating. Desalination, 260: 9-17.
4. Bhattacharya, K. R. 1985. Parboiling of rice. In rice chemistry and technology, Juliano, B.O. (Ed.), American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, pp: 289-348.
5. Bualuang, O., Tirawanichakul, S. and Tirawanichakul, Y. 2011. Study of drying kinetics and qualities of two parboiled rice: hot air and infrared radiation. TICHe International Conference, ee010: 1-6.

<sup>5</sup> : Root mean square error(RMSE)

<sup>6</sup> : The coefficient of determination( $R^2$ )



6. Darvishi, H., Khostaghaza, M. H. and Najafi, G. 2013. Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 12: 101-108.
7. Das, I., Das, S. K. and Bal, S. 2004. Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice. *Journal of Food Engineering*, 62: 9-14.
8. Dhingra, D., Chopra, S. and Rai, D. R. 2012. Stabilization of raw rice bran using ohmic heating. *Agricultural Research*, 1: 392-398.
9. Fao. 2004. *Food and Population: FAO Looks Ahead*. Food and Agricultural Organization of United Nations.
10. Ghnimi, S., Flach-Malaspina, N., Dresch, M., Delaplace, G. and Maingonnat, J. F. 2008. Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for thermal processing of highly viscous liquids. *Chemical Engineering Research and Design*, 86: 626-632.
11. Icier, F. and Ilicali, C. 2005. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Research International*, 38: 1135-1142.
12. Icier, F., Yildiz, H. and Baysal, T. 2008. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. *Journal of Food Engineering*, 85: 410-417.
13. Juliano, B. O., Perez, C. M., Barber, S., Blakeney, A. B., Iwasaki, T. A., Shibuya, N., Keneaster, K. K., Chung, S., Laignelet, B., Launay, B., Del Mundo, A. M., Suzuki, H., Shiki, J. I., Tsuji, S., Yama, J. T., Tatsumi, K. and Webb, B. D. 1981. International cooperative comparison of instrument method for cooked rice texture. *Journal of Texture Studies*, 12: 17-38.
14. Li, F.-D., Li, L.-T., Li, Z. and Tatsumi, E. 2004. Determination of starch gelatinization temperature by ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 62: 113-120.
15. Marra, F., Zell, M., Lyng, J. G., Morgan, D. J. and Cronin, D. A. 2009. Analysis of heat transfer during ohmic processing of a solid food. *Journal of Food Engineering*, 91: 56-63.
16. Miah, M. a. K., Haque, A., Douglass, M. P. and 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.
17. Morales-Sanchez, E., Figueroa, J. D. and Gaytan-Martínez, M. 2009. Wet method for measuring starch gelatinization temperature using electrical conductivity. *Journal of food Science*, 74: E382-85.
18. Morales-Sanchez, E., Martinez, M. G., Vega, M. L. R. and Cardenas, J. D. C. F. 2007. Electrical conductivity and kinetic parameters of rice starch. *Journal of Food Process Engineering*, 30: 578-583.
19. Sarang, S., Sastry, S. K. and Knipe, L. 2008. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 87: 351-356.
20. Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M. H., Minaei, S. and Latifi, A. 2015a. Effect of soaking temperature and steaming time on the quality of parboiled Iranian paddy rice. *International journal of food engineering: (under revision)*.
21. Zareifard, M. R., Ramaswamy, H. S., Trigui, M. and Marcotte, M. 2003. Ohmic heating behaviour and electrical conductivity of two-phase food systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4: 45-55.





نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## The measurement of electrical conductivity during soaking of parboiling process by ohmic heating

### Abstract

In this study was measured the electrical conductivity and the moisture content of paddy (Fajr) during soaking of parboiling process. The samples were soaked at 65oC for 15, 45, 75, 120 and 180 min. The moisture content value of paddy is very important during soaking. Because the moisture content of paddy at the end of soaking was suggested to be 35% (w.b.). Otherwise, the parboiling process will not be complete. The measurement of electrical conductivity was performed by ohmic heating. The results showed that the amount of moisture and electrical conductivity increased exponentially and cubic polynomial, respectively. Quadratic equation had been the best model for fitting of the curves of the paddy moisture content and the electrical conductivity of paddy water (with maximum  $R^2$  and minimum values of RMSE and SSE). Consequently, the electrical conductivity corresponds with the moisture content values during soaking are an effective tool for the quick determination of the amount of moisture of paddy.

**Keywords:** Paddy; Parboiling; Soaking; Electrical conductivity