

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر عوامل فیزیکی بر عملکرد فرایند حرارتی اهمیک در فراوری آب نارنج

محمد واحدی ترشیزی^۱، محسن آزادبخت^{۲*}، مهدی کاشانی نژاد^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استاد گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۰، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۱۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲۴)

چکیده

در این تحقیق یک دستگاه گرمایش اهمیک ساخته شد و برای فرایند حرارت‌دهی در سه گرادیان ولتاژ ورودی ۱۰/۸۳، ۸/۳۳ و ۱۰/۳۳ V/cm و سه درصد کاهش وزن نمونه ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ نسبت به وزن کل انتخاب گردید. طی فرایند حرارتی توان مصرفی، هدایت الکتریکی و ضریب عملکرد سیستم مورد محاسبه قرار گرفت. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار و با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و نتایج با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که فاکتورهای گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن برای هدایت الکتریکی، توان مصرفی، جریان ورودی، زمان فرایند حرارت‌دهی و ضریب عملکرد سیستم معنی‌دار است و با افزایش ولتاژ میزان هدایت الکتریکی، جریان ورودی و توان مصرفی افزایش و ضریب عملکرد سیستم و مدت زمان فرایند حرارت‌دهی کاهش یافته است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی ۱/۴۹ S/m در گرادیان ولتاژ ۱۰/۳۳ V/cm و درصد کاهش وزن ۳۰٪ و برای عملکرد سیستم ۰/۹۴ در گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ V/cm و درصد کاهش وزن ۱۰٪ بود. همچنین معادلات رگرسیونی تشکیل شده برای ضریب عملکرد سیستم و هدایت الکتریکی زمانی مناسب بود که داده‌های ورودی جریان، گرادیان جریان و مدت زمان فرایند حرارت‌دهی برای تشکیل این معادلات استفاده شده است. یعنی هرچه مقدار داده‌های ورودی برای تشکیل معادله بیشتر باشد دقت معادلات نیز افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: آب نارنج، حرارت‌دهی اهمیک، هدایت الکتریکی، معادلات رگرسیونی.

۱. مقدمه

کشاورزی نقش مهمی در ساخت اقتصاد هر کشور در حال توسعه ایفا می‌کند و محصولات غذایی از ترکیباتی که عمدتاً آب، پروتئین، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی هستند، تشکیل شده است [۱]. زمانی که مواد غذایی عمر مفید خود را از دست می‌دهد، برای مصرف نامناسب می‌شود، و این مساله منجر به ایجاد برخی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در مواد غذایی می‌گردد [۲]. از طرفی کاهش کیفیت، بسیار به نوع غذا، ترکیب آن، فرمولاسیون، بسته بندی و شرایط ذخیره سازی وابسته است و اساساً اثرات مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و میکروبی علل اصلی خراب شدن مواد غذایی هستند [۳]. بنابراین فراوری محصولات غذایی و کشاورزی ضروری و یکی از روش‌های استفاده از فراوری محصولات کشاورزی، فرایندهای حرارتی است که در فرایندهای حرارتی مر سوم با استفاده از مکانیزم جابجایی حرارت به وسیله رسانایی، همرفت و تابش صورت می‌گیرد. مقاومت محصولات در برابر رسانش حرارت منجر به از بین رفتن کیفیت آنها به مقادیر قابل توجهی می‌شود، از این رو باید برای حل این مشکلات فناوری‌های جایگزین استفاده شود، که روش حرارت اهمیت یک روش جایگزین برای عملیات فراوری غذایی است که در آن حرارت درون غذا به وسیله جریان عبوری برق تولید می‌شود [۴-۷]. فناوری‌های حرارتی و غیرحرارتی بر اساس روش‌های فیزیکی برای حفظ مواد غذایی، توان بالقوه برای پاسخگویی به خواسته‌های مصرف کننده و ارائه محصولات با کیفیت بالا را با طول عمر طولانی دارند که بدون مواد افزودنی آزاد هستند و تحت تیمار با حرارت زیاد قرار نگرفته‌اند [۸]. گرمادهی اهمیت یک حرارت جول یک روش جایگزین بسیار سریع است و زمانی رخ می‌دهد که جریان متناوب الکتریکی از طریق یک غذا عبور می‌کند و گرمای ایجاد شده در آن به دلیل مقاومت الکتریکی مواد غذایی است [۹]. از طرفی روش گرمایش اهمیت بر مبنای جریان الکتریکی متناوب (AC) است و از مقاومت محصول حرارت تولید می‌کند و در ابتدا ولتاژ AC به الکترودها اعمال می‌شود و نرخ حرارت به دست آمده به طور مستقیم متناسب با مربع قدرت میدان الکتریکی و هدایت الکتریکی است. قدرت میدان الکتریکی را می‌توان با تنظیم فاصله الکترود یا ولتاژ اعمال شده تغییر داد اما با این حال، مهم‌ترین عامل هدایت الکتریکی محصول و وابستگی دمایی آن

است. اگر محصول بیش از یک فاز داشته باشد، به طور مثال در محصول مخلوط مایع و ذرات وجود داشته باشد، هدایت الکتریکی تمام فازها باید در نظر گرفته شود. هدایت الکتریکی با افزایش دما افزایش می‌یابد، که به لحاظ تئوری می‌تواند به گرمایش منجر شود. تفاوت در مقاومت الکتریکی و وابستگی دمایی آن بین دو فاز می‌تواند ویژگی‌های گرمای سیستم را بسیار پیچیده کند. همچنین از آنجایی که هدایت الکتریکی تحت تاثیر محتوای یونی قرار می‌گیرد، هدایت الکتریکی محصول (هر دو مرحله) با سطح یون (به عنوان مثال، نمک) برای رسیدن به گرمای مهمی موثر می‌باشد [۱۰]. از مزایای حرارت اهمیت می‌توان به ایجاد یک گرمایش یکنواخت اشاره داشت و محصولی با کیفیت بالا را با حداقل تغییرات خواص ساختاری، تغذیه‌ای تولید کرد و همچنین روشی سازگار با محیط زیست است که با توجه به خواص سودمند آن مورد توجه قرار گرفته است. [۱۱]. استفاده از تکنولوژی گرمایش اهمی از لحاظ تاریخی به قرن نوزدهم برمی‌گردد، ولی کاربردهای تجاری بسیار موفق آن در فرایند حرارتی مواد غذایی از دهه ۱۹۰۰ به بعد شکل گرفت. در این زمان برای اولین بار گرمایش اهمی برای پاستوریزه کردن شیر استفاده شد و به فرایند الکتروپور شهرت یافت [۱۲]. در این راستا به تحقیقاتی که با تکنیک گرمایش اهمیت انجام شده اشاره می‌شود: آمیالی و همکاران با استفاده از روش حرارت دهی اهمیت هدایت الکتریکی محصولات کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد ضریب هدایت حرارتی آب میوه‌ها مانند سیب، پرتقال و آناناس بصورت خطی با دما افزایش پیدا می‌کند [۱۳]. سارانگ و همکاران به بررسی رسانایی الکتریکی میوه‌ها و گوشت‌ها در روش گرمایش اهمی پرداختند. آن‌ها بیان کردند که طراحی موثر سیستم گرمایش اهمی به ضریب هدایت الکتریکی ماده غذایی وابسته است. ضریب هدایت الکتریکی را برای شش میوه تازه شامل: گلابی، سیب طلایی، هلو، سیب قرمز، توت‌فرنگی و آناناس و برای سه قطعه گوشت شامل: گوشت مرغ، گوشت گراز و گوشت گاو در دمای اتاق به دست آمد. آن‌ها اعلام کردند که در همه نمونه‌ها ضریب هدایت الکتریکی با افزایش دما افزایش می‌یابد و ضریب هدایت الکتریکی میوه‌ها نسبت به نمونه‌های گوشت بیشتر است. همچنین بیشترین رسانایی الکتریکی را در هلو و توت‌فرنگی

نارنج است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. آماده سازی نمونه

نارنجه‌ها از باغی واقع در شهرستان گرگان، استان گلستان خریداری شد. نارنجه‌ها شست و شو و از وسط به دو نیم تقسیم و بلافاصله پس از خرید در یک شرایط یکسان برای تمام نمونه‌ها آب‌گیری به صورت دستی انجام شد.

۲.۲. روش انجام آزمایش

برای انجام این فرایند مخزنی در نظر گرفته شد که نمونه‌ها درون این مخزن و بین دو الکتروود ریخته شده و دمای اولیه آنها پس از ثبات ثبت گردید و بعد از ثبت دمایی ولتاژ به مجموعه وارد و نمونه‌ها گرم شدند. برای انجام فرایند حرارت دهی سه گرادیان ولتاژ $۸/۳۳$ ، $۱۰/۸۳$ و $۱۳/۳۳$ V/cm انتخاب شد و سعی شد با استفاده از این گرادیان ولتاژها، ۱۰٪ از ۹۰ به ۸۱g، ۲۰٪ از ۹۰ به ۷۲g و ۳۰٪ از ۹۰ به ۶۳g از وزن کل نمونه‌های آب نارنج ریخته شده درون سلول طی فرایند گرم شدن بخار گردد. تمامی نمونه‌ها با وزن ورودی ۹۰g انتخاب شد. در شکل (۱) شماتیک فرایند حرارت دهی و اجزای سیستم نشان داده شده است.

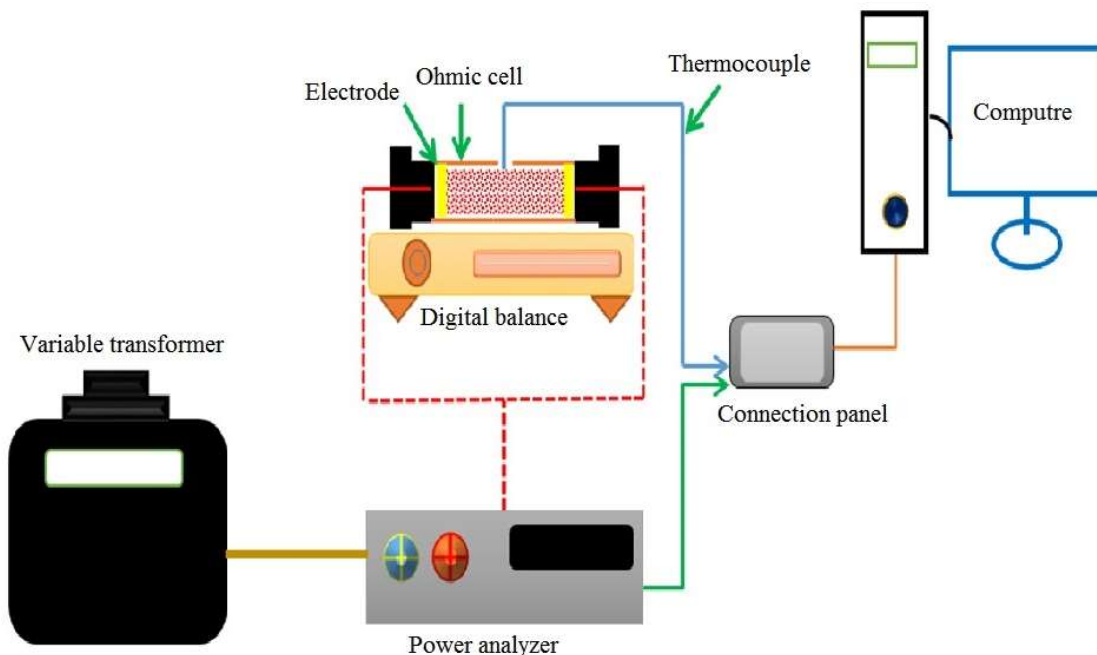
آزمایش‌ها در یک سیستم گرمایش اهمیت ساکن انجام شد. سیستم استفاده شده شامل یک سلول از جنس پلاستیک فشرده و شفاف به طول ۶ cm، عرض ۶ cm، ارتفاع ۳ cm ضخامت دیواره سلول ۰/۳ cm، الکتروود از جنس استیل ضد زنگ با ضخامت ۰/۱ cm و فاصله بین دو الکتروود ۶ cm، پاور کنترل استفاده شده 3 kW, 0-300 V, 50 Hz, MST - 3, Toyo, Japaning پاور آنالیزار Lutron DW-6090، از یک ترموکوپل و یک کامپیوتر برای ذخیره داده‌ها با مشخصات استفاده شده است. ترازویی با دقت ۰/۰۱g جهت اندازه‌گیری میزان وزن سلول و محتویات درون آن در طی فرایند زیر سلول قرار داده شد. تمامی آزمایشات در گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد.

۲.۲. معادلات فرایند حرارت دهی اهمیت

هدایت الکتریکی با استفاده از مقاومت نمونه‌ها و با استفاده شده

نسبت به سیب و گلابی گزارش کردند [۱۴]. آیسیر و همکاران در خصوص وابستگی بین ضریب هدایت الکتریکی و دما در روش گرمایش اهمیت در سال ۲۰۰۵ تحقیقی انجام دادند. در این تحقیق خشک کردن پوره زردآلو و هلو به روش گرمایش اهمیت در گرادیان‌های ولتاژ بین ۲۰ تا ۷۰ V/cm انجام و مشخص گردید که بین ضریب هدایت الکتریکی پوره‌ها و دما رابطه خطی برقرار است. همچنین گزارش گردید که عمل جوش پوره‌ها در بالاترین گرادیان در دمای ۶۰°C رخ می‌دهد و ضریب هدایت الکتریکی با زیاد شدن دما افزایش می‌یابد هرچند سرعت تغییرات دما در پوره زردآلو بیشتر از پوره هلو است. علاوه بر این نشان داده شد که حباب‌های جوشش مایع در دمای ۶۰°C و در گرادیان‌های بالا اتفاق می‌افتد و ضریب هدایت الکتریکی در گرمایش اهمیت پارامتر مهمی در طراحی سلول گرمایش است [۱۵]. درویشی و همکاران رفتار حرارت گرمایی و هدایت الکتریکی رب گوجه فرنگی را طی فرایند حرارت دهی اهمیت بررسی کردند. در این مطالعه، گوجه فرنگی در محدوده شیب ولتاژ مختلف در محدوده دما ۲۶ تا ۹۶°C در محدوده دمایی ۷ V/cm - ۱۴ V/cm گرم می‌شود. نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی آن توسط ولتاژ اعمال شده، غلظت الکتروولیت‌ها، اندازه ذرات غذایی و دما تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اثر گرادیان ولتاژ بر زمان حرارت معنی‌دار و تبدیل هدایت الکتریکی به گرما در گرادیان ولتاژ بالاتر بود. در گرادیان ولتاژ بیشتر نرخ حرارت بالا بود. همچنین با افزایش گرادیان ولتاژ، مقدار pH کاهش یافت. دامنه مشاهده شده pH از ۴/۲۰ به ۴/۵۱ متغیر است. [۱۶]

با توجه به این که معمول‌ترین روش جهت سالم سازی آب نارنج روش حرارت‌دهی است باید بتوان یک روش را ایجاد نمود که علاوه بر حفظ خصوصیات کیفی محصول، پارامترهای خود سیستم حرارت‌دهی نیز بهترین باشد که برای آن باید فاکتورها را بررسی کرد، بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این تحقیق بررسی تاثیر ولتاژ و درصد کاهش وزن بر روی تغییرات هدایت الکتریکی، توان مصرفی و ضریب عملکرد سیستم اهمیت طی فرایند حرارتی بر روی آب نارنج و همچنین بررسی تاثیر جریان ورودی، زمان فرایند حرارت‌دهی بر روی میزان هدایت الکتریکی، توان مصرفی و ضریب عملکرد سیستم و به‌دست آوردن یک معادله ریاضی برای فرایند حرارت دهی اهمیت آب



شکل (۱) شماتیک تجهیزات استفاده شده برای فرایند حرارت دهی اهمیک

Fig. 1. Schematic of equipment used for the ohmic heating process

با معادله (۱) محاسبه شد [۱۷، ۱۸]:

$$E_{\text{given}} = E_{\text{taken}} + E_{\text{loss}} \quad (۵) \quad \sigma = \frac{LI}{AV} \quad (۱)$$

$$\sum(VIt) = mc_p(T_f - T_i) + E_{\text{loss}} \quad (۶)$$

σ = هدایت الکتریکی نمونه L: فاصله دو الکترود (m) از یکدیگر،
A: سطح مقطع صفحات (m²)، V: ولتاژ ورودی (V)، I: جریان ورودی (A).

انرژی تلف شده سیستم برابر است با مجموع انرژی لازم برای افزایش دمای سلول، انرژی اتلافی به محیط از طریق جابه‌جایی و انرژی الکتریکی که به حرارت تبدیل می‌شود. در معادلات استفاده شده مقدار ولتاژ مشخص و مقادیر جریان ورودی و زمان محاسبه شد. مقادیر دمای اولیه و دمای نهایی آب نارنج توسط ترمومتر و جرم آب موجود در آب نارنج توسط ترازو محاسبه شد. ضریب کارایی سیستم نیز برابر نسبت انرژی گرفته شده توسط سیستم به انرژی داده شده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۲۲].

$$SPC = \frac{E_{\text{taken}}}{E_{\text{given}}} \quad (۷)$$

$$SPC = \frac{mc_p(T_f - T_i)}{\sum(VIt)} \quad (۸)$$

در این فرمول E_{given} انرژی داده شده به سیستم $T_{f,i}(j)$ دمای نهایی (C)، E_{taken} انرژی گرفته شده از سیستم $T_{i,j}$ دمای

در طول گرمایش، سطح تماس بین نمونه‌ها و الکترود به دلیل خروج بخار کاهش می‌یابد، سطح تماس را می‌توان با استفاده از معادله زیر حساب کرد [۱۹]:

$$A = \frac{M_t}{\rho_t L} \quad (۲)$$

$$\rho_t = 1340 - 3.26M_t^2 \quad (۳)$$

M_t = محتوای رطوبت در هر لحظه

توان مصرفی نیز با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد [۲۰]

$$P = VI = I^2 R \quad (۴)$$

در این فرمول P توان مصرفی (W) است.

انرژی داده شده به سیستم طبق رابطه (۵) ارائه محاسبه شد [۲۱].

الکتریکی در درصد کاهش وزن ۳۰ درصد و گرادیان ولتاژ اهمیک $13/33 \text{ V/cm}$ با مقدار $1/419 \text{ s/m}$ و کمترین هدایت الکتریکی در درصد کاهش وزن ۱۰ درصد و گرادیان ولتاژ $8/33 \text{ V/cm}$ با مقدار $0/899 \text{ s/m}$ بوده است. هدایت الکتریکی مواد غذایی وابسته به ساختار غذا می‌باشد که در اثر فرایند حرارتی اهمیک تغییر می‌یابد که با حرارت دهی بافت بیولوژیکی و افزایش درجه حرارت محصول، به دلیل افزایش در تحرک الکترون‌ها و یون‌ها در نتیجه افزایش تحرک آب موجود در داخل بافت، تغییرات در بافت (تجزیه دیواره سلول، خروج حباب‌های گاز غیر رسانی) هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد [۲۱]. نتایج به‌دست آمده مشابه نتایج آیسیر و همکاران با استفاده از روش اهمیک بر روی آب پرتقال است [۲۳]. همچنین با افزایش گرادیان ولتاژ میزان دمای نمونه‌ها سریع‌تر افزایش می‌یابد و نتایج در شکل (۳) نشان داده شده است، که پالانیا آپن و همکاران بر روی آب پرتقال در طی فرایند اهمیک [۲۴] و آمیالی و همکاران بر روی مایع تخم مرغ طی فرایند اهمیک افزایش هدایت الکتریکی را با افزایش دما گزارش کرده اند [۱۳].

۲.۳. اثر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان جریان ورودی فرایند اهمیک

در شکل (۴) اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان جریان عبوری فرایند اهمیک نشان داده شده است. بیشترین جریان عبوری در درصد کاهش وزن ۳۰ درصد و گرادیان ولتاژ اهمیک $13/33 \text{ V/cm}$ با مقدار $3/28 \text{ A}$ و کمترین مقدار جریان عبوری در درصد کاهش وزن ۱۰ درصد و گرادیان ولتاژ $8/33 \text{ V/cm}$ با مقدار $1/35 \text{ A}$ بوده است. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد ضریب هدایت الکتریکی و جریان ورودی یک رابطه مستقیم با یکدیگر دارند و با توجه به اینکه با افزایش درصد کاهش وزن آب نارنج میزان سطح تماس با الکتروده کاهش پیدا کرده است و همین کاهش سطح مقطع سبب می‌شود که طبق فرمول (۱) میزان مخرج کسر کوچک گردد از این رو جریان و هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش مدت زمان و کاهش وزن آب نارنج میزان غلظت ماده نیز کم شده است و همین امر سبب افزایش میزان جریان ورودی در ماده طی فرایند حرارت دهی اهمیک می‌گردد. سارانگ و همکاران بر روی گوشت و میوه (سیب قرمز، سیب طلایی، هلو و گلابی) نیز

ورودی $E_{\text{loss}}(C)$ انرژی تلف شده در سیستم (j) ، t زمان (s) ، SPC ضریب عملکرد سیستم، m جرم نمونه (kg) است.

۴.۲. آنالیز آماری

نمونه‌های آب نارنج در سه گرادیان ولتاژ $8/33$ ، $10/83$ و $13/33 \text{ V/cm}$ تحت فرایند حرارتی قرار گرفته تا ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد از وزن کل نمونه‌های آب نارنج کاهش یابد و پس از کاهش وزن، هدایت الکتریکی، توان مصرفی، جریان ورودی، زمان حرارت‌دهی اهمیک و ضریب عملکرد سیستم اندازه‌گیری و تمامی فرایندهای حرارت دهی در سه تکرار انجام شد. و نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار آماری SAS تحلیل شدند. همچنین آنالیز همبستگی و معادلات رگرسیونی نیز با استفاده از همین نرم افزار انجام شد.

۳. نتایج و بحث

در جدول (۱) نتایج حاصل از آنالیز واریانس برای هدایت الکتریکی، توان مصرفی، جریان ورودی، زمان فرایند اهمیک و ضریب عملکرد سیستم نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده گرادیان ولتاژ برای توان مصرفی، جریان ورودی، ضریب عملکرد سیستم و زمان فرایند اهمیک ولتاژ در سطح یک درصد و برای هدایت الکتریکی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. برای درصد کاهش وزن نمونه نیز توان مصرفی و هدایت الکتریکی در سطح ۵ درصد و برای جریان ورودی ضریب عملکرد سیستم و زمان فرایند اهمیک در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل گرادیان ولتاژ اهمیک در درصد کاهش وزن برای توان مصرفی، هدایت الکتریکی و جریان ورودی در سطح ۱ درصد و برای زمان فرایند اهمیک و ضریب عملکرد سیستم در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است و با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل آزمون LSD انجام شد که نتایج آن در شکل‌های ۲، ۴، ۵، ۷ و ۸ نشان داده شده است.

۱.۳. اثر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان هدایت الکتریکی

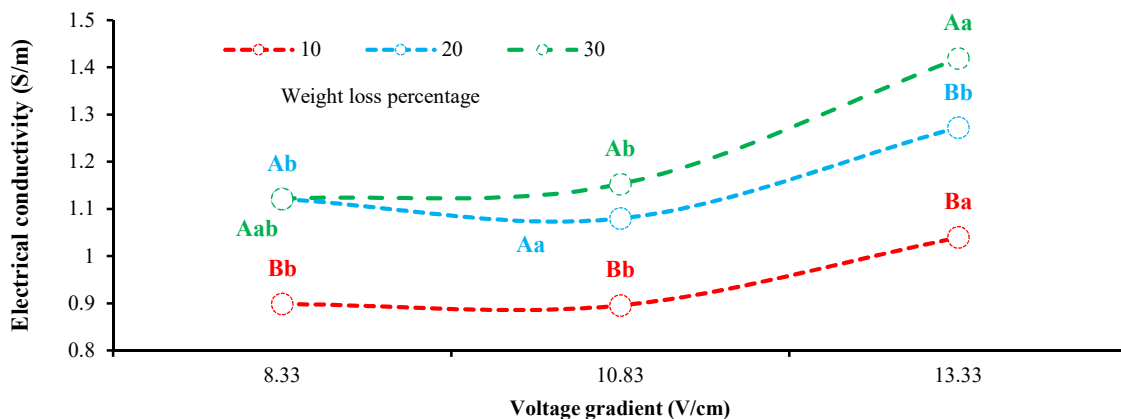
در شکل (۲) اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان هدایت الکتریکی نشان داده شده است. بیشترین هدایت

جدول (۱) آنالیز واریانس هدایت الکتریکی، توان مصرفی، جریان ورودی، زمان حرارت دهی اهمیت و ضریب عملکرد سیستم.

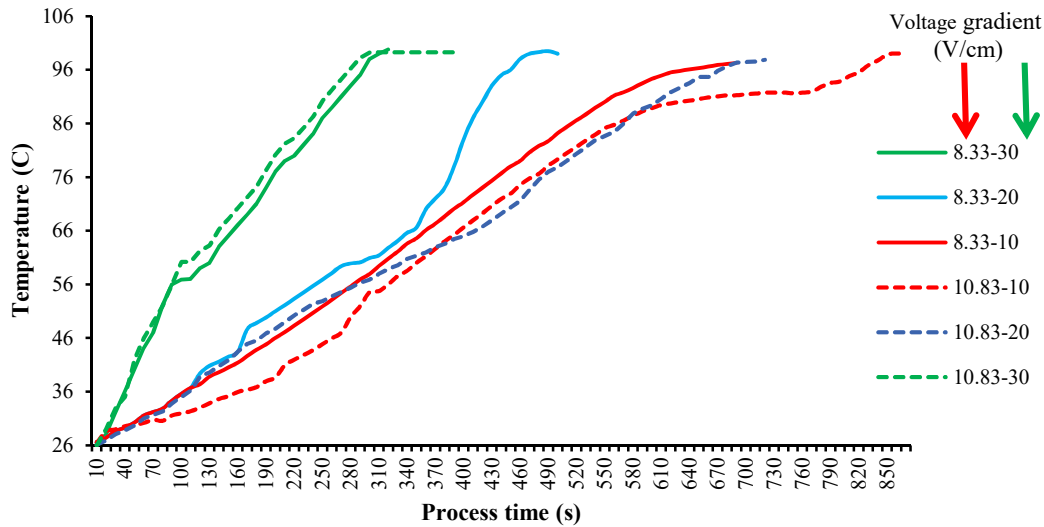
Table 1 Analysis of variance of electrical conductivity, power consumption, input current, ohmic heating time and coefficient performance system.

هدایت الکتریکی electrical conductivity		توان مصرفی power consumption		فاکتورها Factors
F Value	میانگین مربعات Mean square	F Value	میانگین مربعات Mean square	
2.89*	0.0412	66.21**	73230.71	گرادیان ولتاژ اهمیت Ohmic voltage gradient
12.30*	0.1752	5.58*	3640.98	درصد کاهش وزن Weight Loss Percentage
3.94*	0.0562	4.58*	2992.34	گرادیان ولتاژ × درصد کاهش وزن Ohmic voltage gradient × Weight Loss Percentage
	0.0142		952.92	خطا Error
زمان فرایند اهمیت ohmic heating time		جریان ورودی input current		
25.75**	2.35	152.16**	887104.96	گرادیان ولتاژ اهمیت Ohmic voltage gradient
8.39**	0.76	26.77**	156075.62	درصد کاهش وزن Weight Loss Percentage
3.30*	0.30	7.75**	4516.078	گرادیان ولتاژ × درصد کاهش وزن Ohmic voltage gradient × Weight Loss Percentage
	0.0915		5829.90	خطا Error
ضریب عملکرد سیستم coefficient performance system				
292.62		0.103		گرادیان ولتاژ اهمیت Ohmic voltage gradient
41.71**		0.014		درصد کاهش وزن Weight Loss Percentage
4.32*		0.0015		گرادیان ولتاژ × درصد کاهش وزن Ohmic voltage gradient × Weight Loss Percentage
	0.00035			خطا Error

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی‌داری
** Significant at level 1%, * Significant at level of 5%, ns insignificant



شکل (۲) اثر متقابل ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان هدایت الکتریکی
Fig. 2. Interaction of voltage and weight loss percentage on electrical conductivity



شکل (۳) افزایش دمای فرایند طی مدت زمان اهمیک. فلش قرمز: گرادیان ولتاژ - فلش سبز: درصد کاهش وزن
Fig. 3. Increasing the temperature over a period of ohmic time. Red arrow: Voltage gradient - Green arrow: Weight loss percentage

کاهش وزن نمونه میزان زمان افزایش پیدا کرده چرا که باید مقدار ماده بیشتری تبخیر گردد، از این رو میزان زمان فرایند افزایش یافته است. در شکل (۶) نتایج زمان فرایند حرارت دهی اهمیک در ولتاژ و درصد های مختلف نشان داده شده و با توجه به شکل می توان مشاهده کرد که با افزایش میزان درصد کاهش مدت زمان افزایش پیدا کرده است. درویشی و همکاران بر روی آب لیمو طی فرایند حرارت دهی اهمیک آزمایش انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند با افزایش گرادیان ولتاژ مدت زمان فرایند کاهش پیدا کرده و همچنین درویشی و همکاران نیز به نتایج مشابهی دست یافتند که مدت زمان فرایند اهمیک برای رب گوجه فرنگی با افزایش ولتاژ کاهش پیدا کرده است [۱۶، ۲۶].

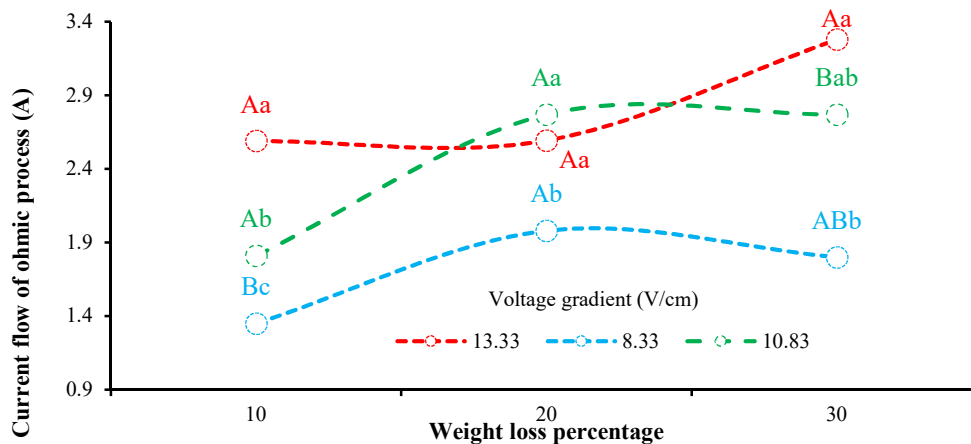
۴.۳. اثر ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان توان مصرفی

نتایج حاصل از اثر متقابل ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان توان مصرفی در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به شکل بیشترین توان مصرفی در درصد کاهش وزن ۲۰ درصد و گرادیان ولتاژ اهمیک $10/83 \text{ V/cm}$ با مقدار $218/73 \text{ W}$ و کمترین مقدار توان مصرفی در درصد کاهش وزن ۳۰ درصد و گرادیان ولتاژ $8/33 \text{ V/cm}$ با مقدار $67/71 \text{ W}$ بوده است. با توجه به این که توان مصرفی با ولتاژ و جریان ورودی رابطه مستقیم دارد با افزایش هریک از این موارد زیاد خواهد شد که این اتفاق در شکل (۷)

مشابه همین نتایج را با روش اهمیک به دست آوردند [۱۴]. از طرفی با نتایج به دست آمده توان مصرفی افزایش پیدا کرده و با توجه به این که جریان ورودی و توان مصرفی با هم رابطه مستقیم دارد از این رو میزان جریان ورودی با افزایش گرادیان و درصد کاهش افزایش پیدا کرده و جایگزین و همکاران که بر روی تاثیر فرایند حرارت دهی اهمیک بر روی تیمار مواد غذایی کار کرده بودند به این موضوع اشاره داشتند [۲۵].

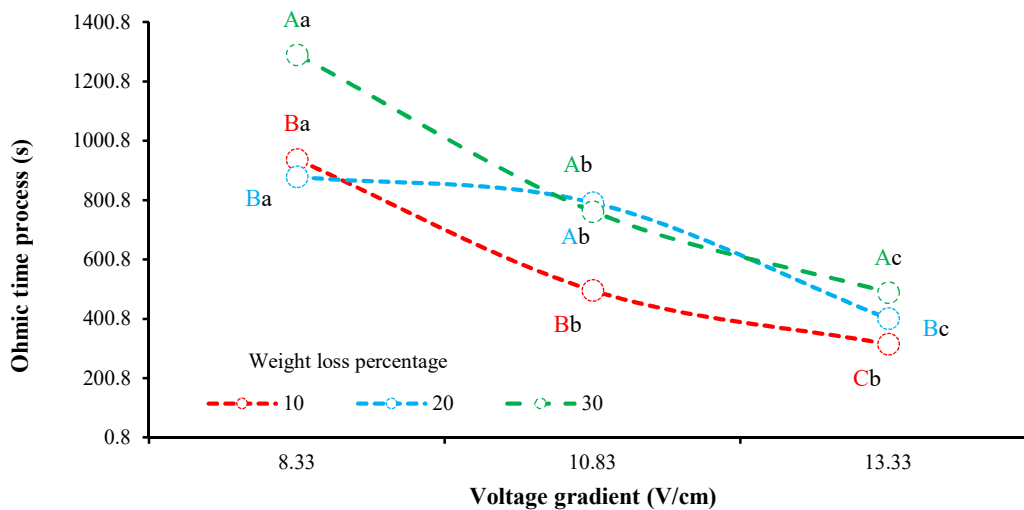
۳.۳. اثر ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان زمان فرایند اهمیک

شکل (۵) مقادیر اثر متقابل ولتاژ ورودی و درصد کاهش وزن را بر روی میزان زمان فرایند اهمیک نشان می دهد. با توجه به شکل بیشترین زمان فرایند برای رسیدن به یک درصد خاص در گرادیان ولتاژ $8/33 \text{ V/cm}$ و در زمانی رخ داده که باید ۳۰ درصد از وزن محصول کاهش می یافت $1291/5 \text{ s}$ و کمترین مقدار در گرادیان ولتاژ $13/33 \text{ V/cm}$ و درصد کاهش ۱۰ درصد 316 s بوده است. دلیل این امر را می توان این گونه توجیه کرد که با افزایش میزان ولتاژ، دمای آب نارنج سریع تر افزایش پیدا کرده و همین امر سبب تبخیر سریع تر آن می گردد از این رو در یک درصد کاهش ثابت با افزایش ولتاژ میزان زمان فرایند اهمیک روند کاهشی داشته است. همچنین در یک ولتاژ ثابت با افزایش درصد



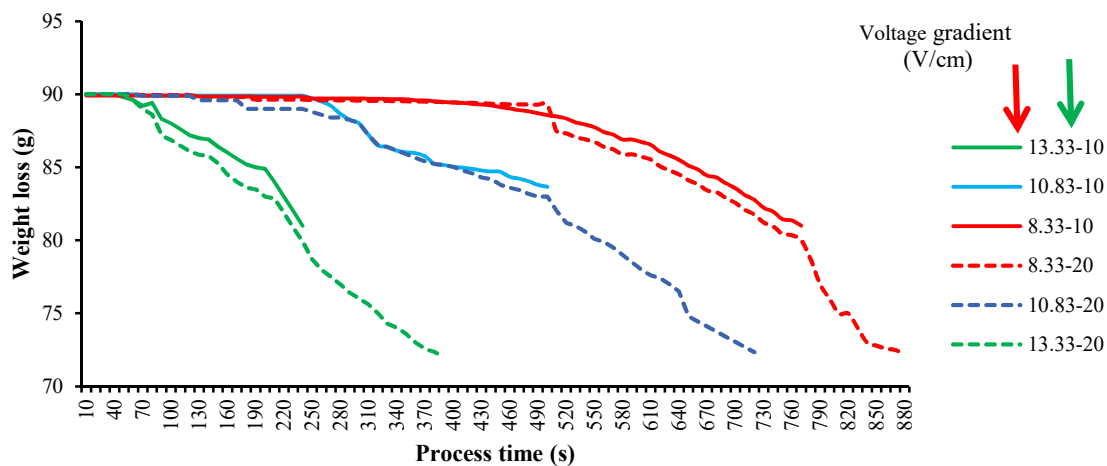
شکل (۴) اثر متقابل ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان جریان عبوری فرایند اهمیک

Fig. 4. Interaction of voltage and weight percentage on current rate of ohmic process



شکل (۵) اثر متقابل ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان زمان فرایند اهمیک

Fig. 5. Interaction of voltage and weight loss percentage on the ohmic time process



شکل (۶) کاهش وزن آب نارنج طی فرایند حرارت دهی اهمیک در طی زمان فرایند. فلش قرمز: گرادیان ولتاژ - فلش سبز: درصد کاهش وزن

Fig. 6. weight loss of sour orange juice during ohmic heating process during. Red arrow: Voltage gradient - Green arrow: Weight loss percentage

همبستگی می‌توان مشاهده کرد که هدایت الکتریکی با ضریب عملکرد سیستم رابطه معنی‌دار و معکوس دارد و هرچه میزان هدایت الکتریکی افزایش یابد میزان ضریب عملکرد سیستم کاهش پیدا می‌کند و دلیل این امر جریان ورودی است که در فرمول هدایت الکتریکی یک رابطه مستقیم و در ضریب عملکرد ویژه رابطه معکوس دارد. همچنین زمان فرایند حرارت دهی رابطه مستقیم و غیرمعنی‌داری داشته است و جریان ورودی و توان مصرفی در سطح ۱ درصد برای هدایت الکتریکی معنی‌دار شده است و رابطه مستقیمی با آن دارد. درویشی و همکاران با تحقیق بر روی آب انار نیز به این نتیجه دست یافتند که افزایش مدت زمان فرایند حرارت دهی سبب افزایش میزان دما شده و افزایش دما با افزایش مدت حرارت بر روی میزان هدایت الکتریکی نمونه تاثیر گذار است [۲۲]. برای توان مصرفی نیز یک رابطه معکوس و معنی‌دار در سطح ۱ درصد با ضریب عملکرد سیستم به دست آمده است. دلیل این امر را نیز می‌توان این‌گونه بیان کرد که گرادیان ولتاژ یک رابطه مستقیم با توان مصرفی دارد ولی با ضریب عملکرد سیستم رابطه عکس دارد که همین امر سبب می‌شود این دو فاکتور رابطه معکوس با هم داشته باشند و آیسر و همکاران بر روی آب پرتقال طی فرایند اهمیت بیان کردند که ضریب عملکرد سیستم به گرادیان ولتاژ به شدت وابسته است [۲۳]. همچنین زمان فرایند حرارت دهی و جریان ورودی یک رابطه مستقیم و معنی‌دار در سطح ۱ درصد را با توان مصرفی داشته‌اند. برای جریان ورودی نیز ضریب عملکرد سیستم یک رابطه معکوس و معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشته است و از طرفی با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش ولتاژ میزان جریان عبوری طی فرایند حرارت دهی بیشتر شده که با توجه به رابطه همبستگی سبب کاهش ضریب عملکرد سیستم می‌شود که درویشی و همکاران بر روی آب لیمو نیز گزارش کردند با افزایش گرادیان ولتاژ میزان ضریب عملکرد کاهش یافته است [۲۶]. زمان فرایند حرارت دهی نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شده است و رابطه‌ای مستقیمی را با جریان ورودی برقرار کرده است. زمان فرایند حرارت دهی با ضریب عملکرد سیستم یک رابطه مستقیم و معنی‌دار در سطح ۱ درصد را برقرار کرده است.

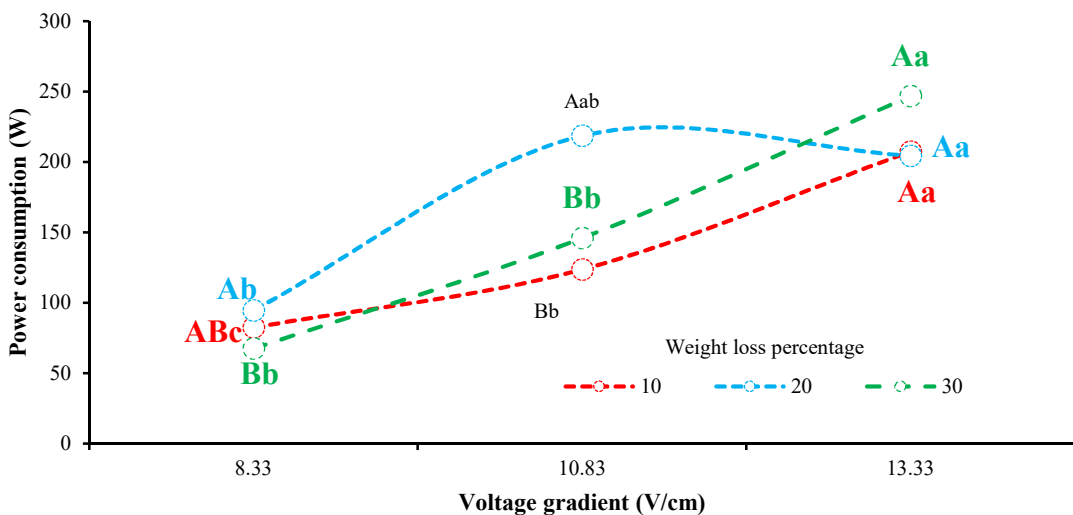
هم نشان داده شده است. همچنین با افزایش گرادیان ولتاژ میزان شدت توان مصرفی افزایش پیدا کرده که همین امر سبب افزایش میزان توان مصرفی در فرایند حرارت دهی شده که ترکیان بلداجی و همکاران بر روی رب گوجه فرنگی طی فرایند اهمیت نتایج مشابهی را گزارش کردند [۲۷].

۳.۵. اثر ولتاژ و درصد کاهش وزن بر ضریب عملکرد سیستم

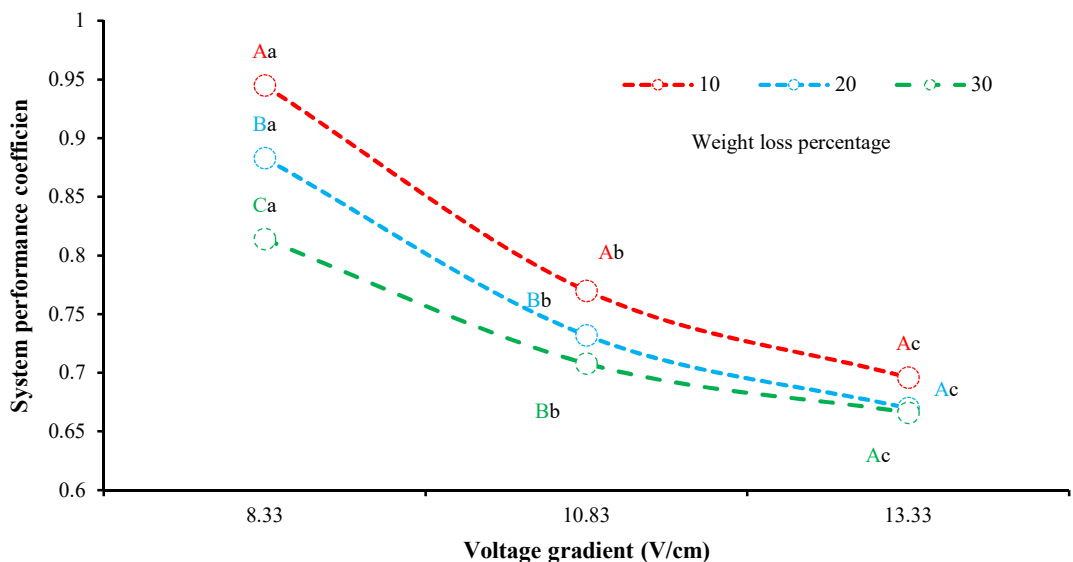
در شکل (۸) ضریب عملکرد سیستم طی فرایند اهمیت برای آب نارنج نشان داده شده است. با توجه به شکل با افزایش گرادیان ولتاژ میزان ضریب عملکرد سیستم کاهش پیدا کرده و بیشترین میزان ضریب عملکرد سیستم در ولتاژ $8/33 \text{ V/cm}$ و میزان درصد کاهش وزن ۱۰ درصد و کمترین مقدار در ولتاژ $13/33 \text{ V/cm}$ و درصد کاهش ۳۰ درصد مشاهده شده و علت این است که با توجه به این که در ولتاژهای بالا جریان بیشتر بوده و با توجه به فرمول (۸) هرچه این مقدار بزرگ‌تر باشد سبب کاهش مخرج کسر می‌گردد و این امر میزان ضریب عملکرد سیستم را کاهش می‌دهد. نتایج به دست آمده مشابه نتایج ایگر و همکاران بر روی پوره میوه طی فرایند حرارت دهی اهمیت است [۲۸] و درویشی و همکاران رفتار رب گوجه فرنگی طی فرایند حرارت دهی به این نتیجه دست یافته‌اند که میزان ضریب عملکرد سیستم به $0/9$ می‌رسد [۱۶] همچنین نتایج آنالیز آماری تفاوت معنی‌داری را برای ولتاژ و درصد کاهش وزن نشان داده است (شکل ۸). با توجه به شکل در یک ولتاژ ثابت (برای گرادیان ولتاژ $8/33$ و $10/83$) ضریب عملکرد سیستم تفاوت معنی‌داری داشته است و همچنین در یک درصد کاهش وزن ثابت تفاوت معنی‌داری بین هر سه ولتاژ مشاهده شده است. همچنین سیرستای و همکاران بر روی فرایند حرارتی گوجه فرنگی طی فرایند اهمیت بیان کردند که با افزایش ولتاژ میزان ضریب عملکرد سیستم کاهش پیدا کرده است که مشابه نتایج به دست آمده است [۲۱].

۳.۶. همبستگی بین فاکتور

در جدول (۲) نتایج حاصل از همبستگی بین جریان ورودی، مدت زمان حرارت دهی، توان مصرفی، ضریب عملکرد سیستم و هدایت الکتریکی نشان داده شده است. با توجه به نتایج آنالیز



شکل (۷) اثر متقابل ولتاژ و درصد کاهش وزن بر میزان توان مصرفی
 Fig. 7. Interaction of voltage and weight loss percentage on power consumption



شکل (۸) اثر متقابل ولتاژ و درصد کاهش وزن بر ضریب عملکرد سیستم
 Fig. 8. Interaction of voltage and weight loss on coefficient performance system

جریان ورودی و ولتاژ ورودی تشکیل شده باشد؛ همچنین در این حالت کمترین میزان RMSE را معادله بالا بوده که می‌توان این معادله را مناسب دانست. زمانی که ورودی‌های تشکیل معادله از سه ورودی به دو ورودی کاهش یافت، دقت معادلات کم شد، اما با این وجود، مدت زمان فرایند حرارت دهی و جریان ورودی توانستند مقدار ضریب تبیین مناسب ۰/۷۴ را برای ایجاد معادله به‌دست آورند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، هرچه گستردگی و دامنه ورودی داده‌ها افزایش یابد معادله‌ای با دقت بالاتر به‌دست

۷.۳ مدل سازی رگرسیونی

۱.۷.۳ مدل رگرسیونی هدایت الکتریکی

در جدول (۲) نتایج رگرسیون برای هدایت الکتریکی طی حالت‌های مدل سازی مختلف نشان داده شده است. با توجه به جدول زمانی که پارامترهای ورودی برای معادله رگرسیونی بیشتر باشد ضریب تبیین بالاتر رفته و بیشترین میزان R با مقدار ۰/۸۶۶۷ در حالتی است که معادله رگرسیون برای هدایت الکتریکی بر اساس پارامترهای ورودی زمان فرایند حرارت دهی،

هدایت الکتریکی در درصد کاهش وزن ۱۰٪ هدایت الکتریکی ۰/۹۹۶ و ۱/۱۵ برابر - در درصد کاهش وزن ۲۰٪ ۰/۹۶۳ و ۱/۱۳ برابر - در درصد کاهش ۳۰٪ ۱/۰۲۷ و ۱/۲۶٪ برابر شده است. همچنین با افزایش گرادیان ولتاژ از $10/83 \text{ V/cm}$ به $13/33$ میزان هدایت الکتریکی در درصد کاهش وزن ۱۰٪، ۲۰ و ۳۰ به ترتیب ۱/۶۷، ۰/۹۳۴ و ۱/۶۸۹ برابر شده است.

ضریب عملکرد سیستم در درصد کاهش وزن ۱۰٪ توان مصرفی ۰/۹۹۶ و ۱/۱۵ برابر - در درصد کاهش وزن ۲۰٪ ۰/۹۶۳ و ۱/۱۳ برابر - در درصد کاهش ۳۰٪ ۱/۰۲۷ و ۱/۲۶٪ برابر شده است. همچنین با افزایش گرادیان ولتاژ از $10/83 \text{ V/cm}$ به $13/33$ میزان ضریب عملکرد سیستم در درصد کاهش وزن ۱۰٪، ۲۰ و ۳۰ به ترتیب ۱/۶۷، ۰/۹۳۴ و ۱/۶۸۹ برابر شده است.

زمان فرایند در درصد کاهش وزن ۱۰٪ توان مصرفی ۰/۵۲۹ و ۰/۳۳۶ برابر - در درصد کاهش وزن ۲۰٪ ۰/۹۰۱ و ۰/۴۵۶ برابر - در درصد کاهش ۳۰٪ ۰/۵۹۰ و ۰/۳۷۹ برابر شده است. همچنین با افزایش گرادیان ولتاژ از $10/83 \text{ V/cm}$ به $13/33$ میزان زمان فرایند در درصد کاهش وزن ۱۰٪، ۲۰ و ۳۰ به ترتیب ۰/۶۳۵، ۰/۵۰۶ و ۰/۶۴۲ برابر شده است.

جریان ورودی در درصد کاهش وزن ۱۰٪ توان مصرفی ۱/۳۴۰ و ۱/۹۱ برابر - در درصد کاهش وزن ۲۰٪ ۱/۳۹۸ و ۱/۳۱۰ برابر - در درصد کاهش ۳۰٪ ۱/۵۳ و ۱/۸۲۲ برابر شده است. همچنین با افزایش گرادیان ولتاژ از $10/83 \text{ V/cm}$ به $13/33$ میزان ضریب عملکرد سیستم در درصد کاهش وزن ۱۰٪، ۲۰ و ۳۰ به ترتیب ۱/۴۳، ۰/۹۳۶ و ۱/۱۸ برابر شده است.

به طور کلی می توان بیان کرد که افزایش گرادیان ولتاژ باعث افزایش هدایت الکتریکی، توان مصرفی و عبور جریان شده اما میزان مدت زمان فرایند اهمیت و ضریب عملکرد ویژه را کاهش داده است. همچنین با توجه به نتایج آنالیز همبستگی هدایت الکتریکی آب نارنج با زمان فرایند اهمیت، جریان ورودی و توان مصرفی یک رابطه مستقیم دارد و برای مدل سازی رگرسیونی نیز بهترین مدل و معادله زمانی مشاهده شد که داده های ورودی زمان حرارت دهی اهمیت، جریان ورودی و ولتاژ اهمیت بوده و این مورد برای ضریب عملکرد سیستم و هدایت الکتریکی یکسان بود. در مجموع برای معادله رگرسیونی عملکرد سیستم نتایج بهتری با داده های ورودی در حالت های مختلف نشان شده است.

می آید و می توان هدایت الکتریکی را با آن به دست آورد. در معادله ۹: ورودی: زمان فرایند حرارت دهی - جریان ورودی - ولتاژ ورودی، معادله ۱۰: ورودی: جریان ورودی - ولتاژ ورودی و معادله ۱۱: ورودی: زمان فرایند حرارت دهی - ولتاژ ورودی، معادله ۱۲: ورودی: زمان فرایند حرارت دهی - جریان ورودی بوده است.

۲.۷.۳. مدل رگرسیونی ضریب عملکرد سیستم

در جدول (۴) نتایج رگرسیون برای ضریب عملکرد سیستم طی حالت های مدل سازی با ورودی های مختلف جهت ایجاد معادله نشان داده شده است. با توجه به جدول، هنگامی که پارامترهای ورودی برای معادله رگرسیونی بیشتر باشد ضریب تبیین بین داده ها برقرار است و با توجه به جدول زمانی که ورودی های جریان ورودی، زمان فرایند و گرادیان ولتاژ برای ساخت معادله ضریب عملکرد سیستم انتخاب شد بیشترین میزان R با مقدار ۰/۹۱۱ مشاهده گردید و این بدین معنی هست که مدل سازی داده ها بهتر و ارتباط بین داده ها بیشتر است؛ همچنین کمترین میزان RMSE در معادله ای (۱۶) در جدول (۴) است که جریان ورودی و مدت زمان فرایند حرارت دهی به عنوان ورودی برای تشکیل معادله استفاده شده است. هر ۴ مدل تقریباً ضریب تبیین مناسبی را دارا بوده و رنج RMSE نیز در یک محدوده تقریباً یکسانی بوده و تمامی مدل ها را می توان مناسب دانست. در معادله ۱۳: ورودی: زمان فرایند حرارت دهی - جریان ورودی - ولتاژ ورودی، معادله ۱۴: ورودی: جریان ورودی - ولتاژ ورودی معادله ۱۵: ورودی: زمان فرایند حرارت دهی - ولتاژ ورودی، معادله ۱۶: ورودی: زمان فرایند حرارت دهی - جریان ورودی بوده است.

۴. نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش درصد کاهش از $8/33 \text{ V/cm}$ به $10/83$ و از $8/33 \text{ V/cm}$ به $13/33$ برای: توان مصرفی در درصد کاهش وزن ۱۰٪ توان مصرفی ۱/۴۹ و ۲/۵۰ برابر - در درصد کاهش وزن ۲۰٪ ۲/۲۰ و ۲/۱۵ برابر - در درصد کاهش ۳۰٪ ۳/۱۵ و ۳/۶۴ برابر شده است. همچنین با افزایش گرادیان ولتاژ از $10/83 \text{ V/cm}$ به $13/33$ میزان توان مصرفی در درصد کاهش وزن ۱۰٪، ۲۰ و ۳۰٪ به ترتیب ۱/۶۷، ۰/۹۳۴ و ۱/۶۸۹ برابر شده است.

جدول (۲) همبستگی بین جریان ورودی، مدت زمان حرارت دهی، توان مصرفی، ضریب عملکرد سیستم و هدایت الکتریکی.

Table 2 Correlation between input current, heating time, power consumption, coefficient performance system and electrical conductivity.

	ضریب عملکرد سیستم coefficient performance system	زمان فرایند حرارت دهی heating time	جریان ورودی input current	توان مصرفی power consumption	هدایت الکتریکی electrical conductivity
ضریب عملکرد سیستم coefficient performance system	1				
زمان فرایند حرارت دهی Heating process time	+0.64383**	1			
جریان ورودی input current	-0.77224**	+0.48680*	1		
توان مصرفی power consumption	-0.82883**	+0.65369**	+0.94615**	1	
هدایت الکتریکی electrical conductivity	-0.42642*	+0.00046Ns	+0.74323**	+0.59500**	1

**معنی داری در سطح ۱ درصد - * معنی داری در سطح ۵ درصد - ns عدم معنی داری. علامت (-) نشان دهنده رابطه معکوس، علامت (+) نشان دهنده یک رابطه مستقیم
** Significant at level 1%, * Significant at level of 5%, ns insignificant. The sign (-) represents the inverse relationship, the sign (+) represents a direct relationship

جدول (۳) معادلات رگرسیون هدایت الکتریکی.

Table 3 the electrical conductivity regression equations.

شماره Number Equations	معادله Equations	R	RMSE
9	$0/4565-0/0190(\text{ولتاژ})+0/11309(\text{جریان})+0/00129(\text{زمان})+0/002(\text{ولتاژ})^2+0/02(\text{جریان})^2+5/15*10^{-7}(\text{زمان})^2$	0.8667	0.109
10	$1/235-0/0192(\text{ولتاژ})+0/3022(\text{جریان})+893*10^{-7}(\text{ولتاژ})^2+0/010(\text{جریان})^2$	0.68	0.623
11	$-0/15281-0/0239(\text{ولتاژ})+0/0025(\text{زمان})+0/0003(\text{ولتاژ})^2-10*10^{-7}(\text{زمان})^2$	0.53	0.450
12	$0/236+0/18902(\text{جریان})+0/0063(\text{زمان})+0/024(\text{جریان})^2-2/20*10^{-7}(\text{زمان})^2$	0.74	0.697

جدول (۴) معادلات رگرسیون ضریب عملکرد سیستم.

Table (4) regression equations of the coefficient performance system.

شماره Number Equations	معادله Equations	R	RMSE
13	$2.265 - 0.0311(\text{ولتاژ}) - 0.00011(\text{جریان}) - 0.097(\text{زمان}) + 0.00017(\text{گرادیان ولتاژ})^2 + 0.014(\text{جریان})^2 - 1.47 \times 10^{-8}(\text{زمان})^2$	0.911	0.833
14	$1.860 - 0.021(\text{ولتاژ}) - 0.166(\text{جریان}) - 128 \times 10^{-6}(\text{ولتاژ})^2 + 0.020(\text{جریان})^2$	0.887	0.855
15	$2.386 - 0.0358(\text{ولتاژ}) + 0.00020(\text{زمان}) + 0.00019(\text{گرادیان ولتاژ})^2 - 1/343 \times 10^{-8}(\text{زمان})^2$	0.907	0.891
16	$1.084 - 0.310(\text{جریان}) + 0.00032(\text{زمان}) + 0.042(\text{جریان})^2 - 1.38 \times 10^{-7}(\text{زمان})^2$	0.782	0.742

منابع

- Electrical Conductivity of Tomato Paste. *J Nut Food Sci.* 2,1-5.
- [17] Castro, I., J. A. Teixeira., S. Salengke., S. K. Sastry., A. A. Vicente. (2004). Ohmic heating of strawberry products: Electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 5, 27–36.
- [18] Cappato, L. P., M. V. S. Ferreira., J. T. Guimaraes., J. B. Portela., A. L. R. Costa., M. Q. Freitas., R. L. Cunha., C. A. F. Oliveira., G. D. Mercali., L. D. F. Marzack., A. G. Cruz., (2017). Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends Food Sci. Technol.* 62: 104–112.
- [19] Darvishi, H., A. Hosainpour., F. Nargesi., A. Fadavi. (2015). Exergy and energy analyses of liquid food in an Ohmic heating process: A case study of tomato production. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 31, 73–82.
- [20] Kanjanapongkul, K. (2017). Rice cooking using ohmic heating: Determination of electrical conductivity, water diffusion and cooking energy. *J. Food Eng.* 192, 1–10.
- [21] Srivastav, S., S. Roy. (2014). Changes in electrical conductivity of liquid foods during ohmic heating. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 7, 133–138.
- [22] Darvishi, H., M. H. Khostaghaza., G. Najafi. (2013). Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. *J the Saudi Soci Agri Scie.* 12, 101–108.
- [23] Icier, F., C. Ilicali. (2005). The effects of concentration on electrical conductivity of orange juice concentrates during ohmic heating. *Eur. Food Res. Technol.* 220, 406–414.
- [24] Palaniappan, S., S. K. Sastry. (1991). Electrical Conductivity Of Selected Juices: Influences Of Temperature, Solids Content, Applied Voltage, And Particle Size. *J. Food Process Eng.* 14, 247–260.
- [25] Jaeger, H., A. Roth., S. Toepfl., T. Holzhauser., K. H. Engel., D. Knorr., R. F. Vogel., N. Bandick., S. Kulling., V. Heinz., P. Steinberg. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends Food Sci. Technol.* 55, 84–97.
- [26] Darvishi, H., A. Hosainpour., F. Nargesi., M. H. Khoshtaghaza., H. Torang. (2011). Ohmic processing: Temperature dependent electrical conductivities of lemon juice. *Modern Appl. Sci.* 5, 209–216.
- [27] Boldaji, M. T., A. M. Borghae., B. Beheshti., S. E. Hosseini. (2017). Investigation of voltage gradient and electrode type effects on processing time, energy consumption and product quality in production of Tomato Paste by ohmic heating. *J Agri Mach.* 7, 152–164. (In persian).
- [28] Icier, F., C. Ilicali. (2005). Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Res. Int.* 38, 135–1142.
- [1] Potter, N. N., J. H. Hotchkiss., (1995). *J. Food Sci.* Springer US, Boston, MA.
- [2] Tull, A. (1996). *Food Nutr.* 3rd ed. Oxford University Press.
- [3] Moreno, J., R. Simpson., M. Sayas., I. Segura., O. Aldana., S. Almonacid. (2011). Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham 's Triumph). *J. Food Eng.* 104, 621–627.
- [4] Duan, Z., L. Jiang., J. Wang., X. Yu., T. Wang. (2011). Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating. *Food Bioprod. Process.* 89, 472–476.
- [5] Ozkan, I. A., B. Akbudak., N. Akbudak. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *J. Food Eng.* 78, 577–583.
- [6] Contreras, C., M. E. Martín-Esparza., A. Chiralt., N. Martínez-Navarrete. (2008). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *J. Food Eng.* 88, 55–64.
- [7] Akanbi, C. T., R. S. Adeyemi., A. Ojo. (2006). Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *J. Food Eng.* 73, 157–163.
- [8] Varghese, K. S., M. C. Pandey., K. Radhakrishna., A. S. Bawa. (2012). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *J. Food Sci. Technol.* 51, 2304–2317.
- [9] Shynkaryk, M. V., T. Ji., V. B. Alvarez., S. K. Sastry. (2010). Ohmic heating of peaches in the wide range of frequencies (50 Hz to 1 MHz). *J. Food Sci.* 75, 493–500.
- [10] Golob, P., G. Farrell., J. E. Orchard. (2002). *Crop Post-Harvest: Science and Technology, Volume 1: Principles and Practice*, publication Wiley-Blackwell.
- [11] Saberian, H., Z. Hamidi-Esfahani., H. Ahmadi Gavlighi., M. Barzegar. (2017). Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating. *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 117, 154–161.
- [12] Anderson, A. K., Finkelstein, R. (1919). A study of the electro-pure process of treating milk. *J. Dairy Sci.*, 374 – 406.
- [13] Amiali, M., M. O. Ngadi., V. G. S. Raghavan., D. H. Nguyen. (2006). Electrical Conductivities of Liquid Egg Products and Fruit Juices Exposed to High Pulsed Electric Fields. *Int. J. Food Prop.* 9, 533–540.
- [14] Sarang, S., S. K. Sastry., L. Knipe. (2008). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *J. Food Eng.* 87, 351–356.
- [15] Icier, F., C. Ilicali. (2005). Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Res.* 38, 135–1142.
- [16] Darvishi, H. (2012). Ohmic Heating Behaviour and

*Research Article***Investigating effect of physical factors on ohmic thermal process performance in sour orange juice processing****Mohammad Vahedi Torshizi¹, Mohsen Azadbakht^{2*}, Mahdi Kashaninejad³**

1. Ms.c Student of Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor of Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Professor of Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Abstract

In this investigation, an ohmic heating system was constructed and was selected for thermal process, three voltage gradient inputs 8.33, 10.83, 13.33 / cm and three percent weight loss sample 10, 20 and 30% compared to total weight. During the thermal process, the power consumption, electrical conductivity and coefficient performance system were calculated. All experiments were performed in three replications using factorial experiment and in a completely randomized design. Results were analyzed using SAS software. Statistical analysis results showed that voltage gradient factors and weight loss were significant for electrical conductivity, power consumption, input current, heating process time, and coefficient system efficiency. By increasing the voltage gradient, electrical conductivity, input current and power consumption increased, and the coefficient performance system and heating process time have decreased. The highest electrical conductivity 1.49 S / m was in the voltage gradient 10.33 and 30% percent weight loss, and for coefficient performance system 0.94 was in the voltage gradient of 8.33 volts and the percent weight loss 10%. Also, the regression equations formed for the coefficient performance system and electrical conductivity were appropriate when the current input data, input voltage gradient and heating process time were used to form these equations. That is, the greater the number of input data variables for the formation of the equation, the accuracy of the equations is also increased.

Keywords: Sour orange, Ohmic thermal process, Electrical conductivity, Regression equations.

* Corresponding author: azadbakht@gau.ac.ir