



The effect of temperature, time and the use of ultrasonic waves on the process of Deiri dates hydration in Khuzestan

Maedeh Benitorfizadeh¹ | Yaghoob Mansoori² | Ahmad Mostaan³

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

E-mail: ch.m.banitorfi@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

E-mail: Y.mansoori@scu.ac.ir

3. Date Palm and Tropical Fruits Research Institute, Ahvaz, Iran. E-mail: a.mostaan@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 18, 2024

Revised: June. 23, 2024

Accepted: July. 1, 2024

Published online: Winter 2024

Keywords:

Date, Deiri, Hydration, Response surface method, Ultrasound

ABSTRACT

This study investigates the impact of the hydration process on the softening, desirability, and quality of Deiri dates under the influence of ultrasound waves. The experimental setup included two ultrasound application conditions (with ultrasound and without ultrasound), five water temperatures (30, 40, 50, 60, and 70 degrees Celsius), and five soaking durations (40, 55, 70, 85, and 100 minutes). The qualitative parameters examined were moisture content, color indices L, a, b, ΔE , total sugar, and reduced sugar. Textural characteristics such as firmness, chewability, gumminess, and springiness were also evaluated. The response surface methodology (RSM) with a central composite design (CCD) was employed for data analysis using the Design Expert 10 software. The results demonstrated that the proposed regression models were significant in determining the effects of hydration on moisture content, reduced sugar, total sugar, color indices L and ΔE , firmness, chewability, cohesiveness, and springiness of the treated samples. Specifically, the moisture content and reduced sugar of samples treated with ultrasonic hydration were 7.47% and 1.34 times higher, respectively, compared to those treated without ultrasound, indicating a pronounced effect of ultrasound. However, the color indices a and b were not significant at the 0.05 level. Optimization results indicated that the optimal conditions for the hydration process of Deiri date fruits involved a temperature of 40 degrees Celsius and a duration of 85 minutes with the application of ultrasound. While ultrasound had a significant effect on several traits, its economic justification must also be considered.

Cite this article: Benitorfizadeh, M., Mansoori, Y., & Mostaan, A. (2024). The effect of temperature, time and the use of ultrasonic waves on the process of Deiri dates hydration in Khuzestan., *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54 (4), 29-46. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.376685.665549>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.376685.665549>



تأثیر دما، زمان و بکارگیری امواج فراصوت بر فرآیند رطوبت‌دهی خرمای دیری خوزستان

مآده بنی‌طرفی‌زاده^۱ | یعقوب منصوری^۲ | احمد مستعان^۳^۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ch.m.banitorfi@gmail.com^۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه:Y.mansoori@scu.ac.ir^۳. پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری کشور، اهواز، ایران. رایانامه: a.mostaan@areeo.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

در تحقیق حاضر، تأثیر فرآیند رطوبت‌دهی با آب گرم (در دمای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس) و زمان غوطه‌وری (۴۰، ۵۰، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ دقیقه) به کمک امواج فراصوت (در دو سطح با فراصوت و بدون فراصوت) بر نرم کردن و کیفیت خرمای دیری مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های کیفی همچون درصد رطوبت، شاخص‌های رنگی $L, a, b, \Delta E$ ، قند کل، قند احیاء، ویژگی‌های بافتی نظیر سفتی بافت، قابلیت جویدگی، هم‌چسبی و فنریت بررسی شد. برای طرح ریزی آزمایش و تجزیه و تحلیل نتایج از روش سطح پاسخ (RSM) با طرح آزمایش مرکب مرکزی (CCD) در محیط نرم افزار Design Expert 10 استفاده شد. نتایج نشان داد مدل رگرسیونی پیشنهادی در تعیین اثر فرآیند رطوبت‌دهی بر درصد رطوبت، قند احیاء، قند کل، شاخص‌های رنگی L و ΔE ، سفتی، قابلیت جویدگی، هم‌چسبی و فنریت نمونه‌های تحت تیمار معنی‌دار بود. درصد رطوبت و قند احیاء نمونه‌های تحت تیمار رطوبت‌دهی با فراصوت نسبت به تیمار بدون فراصوت به ترتیب ۷/۴۷ درصد و ۱/۳۴ برابر بیشتر بود که بیان‌کننده تأثیر تیمار فراصوت بر نمونه‌ها است. شاخص‌های رنگی a, b در سطح ۰/۰۵ غیر معنی‌دار بودند. براساس بهینه‌یابی انجام شده، دمای ۴۰ درجه سلسیوس و زمان ۸۵ دقیقه با اعمال فراصوت را می‌توان به عنوان شرایط بهینه فرآیند رطوبت‌دهی میوه خرمای دیری تحت آزمایش، اعلام نمود. باید توجه داشت که استفاده از امواج فراصوت با وجود تأثیر بر برخی صفات، باید از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر باشد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۴/۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۱

تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:

خرما، دیری، رطوبت‌دهی، روش سطح پاسخ، فراصوت

استناد: بنی‌طرفی‌زاده، مآده؛ منصوری، یعقوب و مستعان، احمد (۱۴۰۳). تأثیر دما، زمان و بکارگیری امواج فراصوت بر فرآیند رطوبت‌دهی خرمای دیری خوزستان، مجله

مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۴ (۴)، ۲۹-۴۶. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.376685.665549>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.376685.665549>

مقدمه

خرما یکی از محصولات عمده باغی ایران و یکی از منابع مهم بالقوه تحصیل ارز برای کشور می‌باشد. طبق آمار فائو، در سال ۲۰۲۲ ایران با تولید حدود ۱/۰۳ میلیون و عملکرد ۸/۴۲ تن بر هکتار جایگاه دوم را پس از مصر داشته است. در این سال مصر تولید مصر ۱/۷۳ میلیون تن و عملکرد آن ۲۹/۶ تن بر هکتار بوده است. با وجود میزان بالای تولید، ایران تنها حدود ۱۵/۶۹ درصد از متوسط میزان سالانه صادرات جهان و ۶/۴۲ درصد از درآمد حاصل از صادرات جهانی این محصول را در اختیار داشته است (FAO, 2022). طبق آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱، خرما از نظر مقدار تولید با ۱/۶ میلیون تن و سهم ۶/۳ درصدی از کل میزان تولید محصولات باغی کشور، چهارمین محصول مهم باغی کشور پس از سیب، پرتقال و انگور بوده است. استان فارس ۲۰/۸ درصد و استان خوزستان با ۱۷/۳ درصد بیشترین سهم را در تولید این محصول داشته‌اند (بی‌نام، ۱۴۰۲).

با وجود بیش از ۴۰۰ رقم خرما در کشور، تنها ارقامی همچون مضافتی، کبکاب، استعمران، ربی، شاهانی، زاهدی، برحی، پیارم، دیری و گنطار به صورت تجاری تولید می‌شوند و بقیه ارقام مصرف محلی دارند. ارقام خرما براساس رطوبت به سه دسته نرم (مانند مضافتی، مرداسنگ، برحی، خاصویی)، نیمه خشک (مانند استعمران، مجول، دگلت نور، پیارم، فرسی، حلاوی) و خشک (نظیر زاهدی، دیری، ربی، کلگی) تقسیم می‌شوند. رقم دیری جزء ارقام خشک و بازارپسند استان خوزستان است. میوه آن علاوه بر مصرف داخلی، در خارج از کشور نیز طرفداران خاص خود را دارد. تاکنون بالغ بر پانصد هزار اصله نهال از ارقام مرغوب و تجاری رقم دیری تولید و در سطح استان های خرما خیز کشور توزیع شده است (مستعان و همکاران، ۱۳۹۶).

طبق اطلاعات کارشناسان خبره، سطح کشت این رقم خرما حدود ۲ درصد سطح نخیلات استان خوزستان و حدود ۹۰۰ هکتار برآورد شده است. اگرچه نامی از خرما دیری در سید صادراتی خرما کشور نیست اما این رقم در زمرة ارقام تجاری جهان بوده و با توجه به بافت آن، برخی کشورها برای توسعه آن در مناطق مرطوب و ساحلی اقدام نموده‌اند. در کشور ما هم به دلیل مقاومت نسبی نخل آن به رطوبت، در مناطق مرطوب و ساحلی، در کنار سایر ارقام در حال توسعه می‌باشد. حمل و نقل میوه خرما دیری به دلیل خشک بودن بافت و مقاومت مکانیکی آن، آسان است (مستعان و همکاران، ۱۳۹۶). با این وجود، افزایش سفتی بافت آن در طی زمان نگهداری، نخستین مشکل صنایع تولید و فرآوری این محصول گرانبها به شمار می‌رود (مستعان و همکاران، ۱۳۹۲). در راستای بررسی و حل این مشکل، تحقیق حاضر به تأثیر عوامل دما، زمان و بکارگیری امواج فراصوت هنگام رطوبت‌دهی بر کاهش سفتی بیش از حد بافت میوه در کنار تأثیر آنها بر سایر صفات فیزیکی و شیمیایی میوه پرداخته است.

پیشینه پژوهش

در جهان، مشکل مشابه آنچه که در مورد سفتی بسیار زیاد میوه خرما دیری بیان شد، برای رقم دگلت نور وجود دارد که محققان برای رفع آن از روشهای مختلف رطوبت‌دهی استفاده کرده‌اند. هدف عمده رطوبت‌دهی نرم کردن بافت محصول رسیده است. شاید ریگ (۱۹۷۵) اولین فردی باشد که در کتاب خود ضمن بررسی جامع علل و منشأهای مختلف خشکی و سفتی بیش از حد میوه خرما، روشهای رایج رطوبت‌دهی خرما در زمان خود را جمع‌بندی نموده است. طبق این کتاب، در کالیفرنیا برای اصلاح بافت خرما دگلت نور، میوه‌ها تحت فشار بخار ۵ psi و درجه حرارت ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴-۸ ساعت قرار داده شده، سپس برای خنک شدن به یخچال منتقل می‌شده‌اند. در نتیجه این عمل، خرماهایی با بافت نرم تر حاصل می‌شد. همچنین اشاره شده است که در الجزایر نیز خرما را در دمای ۶۵ تا ۷۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۵ درصد به مدت ۲-۴ ساعت قرار داده می‌شده است که حاصل کار، محصولی با کیفیت بالا، بافت نرم و مناسب برای مصرف با بازار پسندی بالا بود. خرما دگلت نور تولید شده در الجزایر به دلیل قرارگیری در معرض گرمای کمتری در هنگام رسیدگی، راحت‌تر و سریعتر از خرما دگلت نور تولیدی کالیفرنیا نرم می‌شوند. علاوه بر دمای هوا پس از رسیدگی محصول، اقلیم منطقه و نوع خاک نیز بر شدت خشکی و سفتی میوه خرما دگلت نور مؤثر است. در این کتاب، ترکیب روش قرار دادن میوه‌ها در معرض خلاء نسبی در کنار رطوبت‌دهی با بخار آب و حتی استفاده از آنزیم اینوراز و مواد شیمیایی نظیر آلکالاین آمونیوم سولفیت نیز از نظر دور نمانده است (Rygg, 1975). در تحقیق دیگری بوبکری و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر رطوبت‌دهی به روش حمام آب گرم بر روی خرما دگلت نور را بررسی نموده‌اند. در این پژوهش، خرما در آب گرم با دمای ۲۵، ۴۵ و ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت غوطه ور شده،

سپس میوه‌های خرمای مرطوب شده توسط هوای گرم با دمای ۳۵، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۸۵ درجه سلسیوس خشک شد. نتایج نشان داد از منظر بهبود کیفیت میوه، استفاده از رطوبت‌دهی به در دمای ۴۵ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت بهترین است لکن میزان رطوبتی که میوه جذب می‌کند برای نگهداری آن ایمن نیست. در نهایت در این تحقیق غوطه‌وری در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۸ ساعت به عنوان پیش تیمار و سپس خشک کردن در دمای متوسط ۶۰ درجه سلسیوس برای بدست آوردن محصول نهایی با کیفیت بالا و رطوبت استاندارد ۳۵ درصد (بر مبنای وزن خشک) مناسب‌ترین انتخاب معرفی شده است (Boubekri et al., 2010). برربوح و همکاران (۲۰۱۶) ضمن اشاره به روش‌های رطوبت‌دهی رایج خرمای دگلت نور در آمریکا، الجزایر، فرانسه و آفریقا، تحقیقی را در راستای بهینه‌سازی روش استفاده توأمان از غوطه‌وری در آب و بخاردهی خرمای دگلت نور انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که عمده فرآیند جذب آب توسط خرما در مرحله غوطه‌وری رخ می‌دهد و احتمالاً در فرآیند بخاردهی مقداری کمی آب جذب و رسیدگی میوه تکمیل می‌گردد. محققان خیساندن میوه خرمای دگلت نور (در آب با دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۸ ساعت) و بخاردهی (دمای ۶۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد به مدت ۱۰-۵ ساعت بسته به رطوبت اولیه محصول) را به عنوان شرایط بهینه اعلام نمودند (Berrebeuh et al., 2016). اگر چه اغلب منابع محدود در دسترس به عملیات رطوبت‌دهی با هدف کاهش سفتی میوه خرمای دگلت نور پرداخته‌اند، کاربرد این عملیات محدود به این رقم نمی‌شود. در پژوهش مستعان و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر شرایط بخار دهی بر خصوصیات بافت خمیر خرمای رقم استعمران پرداخته شده است. نتایج حاصله از این آزمایش نشان داد که بخاردهی خمیر خرمای استعمران اثر معنی‌داری بر حفظ خواص بافتی نظیر سفتی بافت، هم‌چسبی، دگر چسبی، فنریت، خاصیت جویدگی و حفظ نرمی آن در طول مدت نگهداری دارد. بخاردهی در مدت زمان بیش از ۱۰ دقیقه و نگهداری آن در دمای ۲۵ درجه سلسیوس موجب حفظ و کاهش سفتی و دگر چسبی و حفظ و افزایش هم‌چسبی، فنریت و خاصیت جویدن خمیر خرمای رقم استعمران شد (Mostaan et al., 2012). تیماردهی خرما با آب گرم برای تحقق رسیدگی محصول خرمای نارس برخی ارقام (نظیر حلاوی و خضراوی) و نیز به عنوان پیش تیمار میوه خرمای مجول پیش از خشک کردن آن نیز بکار برده شده است (Li, et al. 2023; Reddy, et al. 2023).

امروزه امواج فراصوت کاربرد زیادی در علوم و صنایع غذایی به عنوان فرآیندی کمکی یا پیش تیمار پیدا کرده است. این فناوری غیر تخریبی با هدف سرعت بخشیدن به انجام فرآیندها، حفظ کیفیت بافت و ارزش تغذیه‌ای محصول، در فرآیندهای مختلفی از جمله فیلتراسیون، انجماد، گندزدایی، خشک کردن و بازجذب آب به کار برده شده است (Bharagva et al, 2021). استفاده از این فناوری در تحقیقات مرتبط با صنعت فرآوری و نگهداری خرما نیز مورد توجه پژوهشگران واقع شده است.

در تحقیقی انتظاری و همکاران (۲۰۰۴) اثر به کارگیری امواج فراصوت بر استخراج شیره خرما و تعداد میکروارگانیزم‌های آن را بررسی نموده‌اند. آنها با اشاره به ناکافی بودن دمای ۵۰ درجه سلسیوس رایج در فرآیند استخراج صنعتی شیره خرما برای از بین بردن میکروارگانیزمها از یک سو و محدودیت اعمال دمای بالا به دلیل تأثیر آن بر کاهش کیفیت محصول از سوی دیگر، استفاده از امواج فراصوت را روشی مؤثر بر افزایش سرعت استخراج، ارتقای کیفیت محصول و به ویژه کاهش جمعیت میکروبها دانسته‌اند (Entezari et al., 2004). الیماحی و همکاران (۲۰۲۲) به استفاده از امواج فراصوت در فرآیند استخراج مواد مغذی موجود در پودر خرما از جمله قند آن پرداخته‌اند. در این پژوهش از یک حمام فراصوت با فرکانس ثابت ۴۵ کیلوهرتز و توان ۱۲ وات بر لیتر استفاده شد. نتایج نشان داد که اعمال امواج فراصوت بر ماده اولیه، باعث افزایش بازده استخراج مواد قندی می‌گردد (AlYammahiet et al., 2022). عبدالکریم و همکاران (۲۰۲۲) با بکارگیری روش سطح پاسخ برای بهینه‌یابی، امواج فراصوت را بر افزایش عمر ماندگاری خارک رقم برخی مؤثر دانسته‌اند. این تحقیق نشان داد با استفاده از امواج فراصوت با شدت ۱۴۰ وات بر سانتیمتر مربع به مدت ۵/۲ دقیقه و نگهداری میوه تیمار شده در دمای ۲۰/۹ درجه سلسیوس می‌توان عمر ماندگاری میوه‌ها را به ۲۱ روز رساند (Abdelkarim et al., 2022). محمد و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی اثر امواج فراصوت بر پوشش‌دهی مؤثر میوه خرمای رقم هلالی^۱ در مرحله خارک با استفاده از صمغ عربی خوراکی پرداخته‌اند. در این تحقیق، سامانه‌ای برای پوشش‌دهی طراحی و ساخته شده و برای بهینه‌یابی شرایط پوشش‌دهی از روش تحلیل سطح پاسخ استفاده شده است. نتایج نشان داد که روش پوشش‌دهی تحت آزمایش ضمن افزایش عمر ماندگاری، تأثیر اندکی بر تغییر رنگ، کاهش وزن و رسیدگی میوه دارد (Mohammed et al., 2024).

همانگونه که پیشتر اشاره شد، عمده تحقیقات در دسترس مرتبط با فرآیند رطوبت‌دهی با هدف اصلاح سفتی بافت میوه خرما بر خرمای دگلت نور، که جزو ارقام نیمه خشک محسوب می‌شود، تمرکز دارد. در بررسی منابع مرتبط با خرمای رقم دیری تنها یک تحقیق

یافت شد که به ویژگی‌های فیزیکی آن پرداخته است (Keramat Jahromi et al., 2008). با توجه به آنکه خرماي رقم دیری جزو ارقام خشک (و نه نیمه خشک) است، به نظر می‌رسد بررسی فرآیند رطوبت‌دهی آن در مقایسه با رقم دگلت نور ضرورت بیشتری داشته باشد. در این پژوهش به مطالعه تأثیر فرآیند رطوبت‌دهی همراه با استفاده از امواج فراصوت بر کیفیت خرماي دیری تولیدی استان خوزستان پرداخته شده است. ویژگی‌های کیفی مورد بررسی در این پژوهش شامل محتوای رطوبت، محتوای قند، ویژگی‌های بافت و رنگ است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. نمونه‌های خرماي رقم دیری از نخلستان خریداری شد و سعی شد میوه‌ها به لحاظ شکل ظاهری و وزن یکنواخت باشند. پس از جداسازی میوه‌های صدمه‌دیده، میوه‌های سالم در بسته‌های ۲۵ عددی دسته بندی شدند. در این تحقیق رطوبت‌دهی و استفاده از امواج فراصوت (با فراصوت و بدون فراصوت) در پنج سطح دمایی (۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس) و در پنج زمان تیماردهی نمونه‌ها (۴۰، ۵۵، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش پارامترهای کیفی میزان رطوبت، خصوصیات رنگی، ویژگی‌های بافت میوه و مقدار قند بررسی شده‌اند.

رطوبت‌دهی با و بدون فراصوت

در رطوبت‌دهی توأم با فراصوت، نمونه‌های خرما پس از توزین، درون دستگاه حمام فراصوت (مدل Parsonic 7500S با حداکثر توان فراصوت ۱۰۰ وات، حداکثر توان حرارتی ۳۰۰ وات و حجم مخزن شش لیتر) حاوی آب مقطر با دمای مورد نظر تحت موج فراصوت با فرکانس ثابت ۲۸ کیلوهرتز قرار گرفتند. پس از پایان هر دوره زمانی، نمونه از دستگاه خارج شده، آب سطحی آن با استفاده از کاغذ صافی گرفته شده و پارامترهای کیفی آن اندازه‌گیری شد. این کار برای نمونه‌های تحت فرآیند رطوبت‌دهی بدون استفاده از امواج فراصوت نیز بدون روشن کردن مولد امواج فراصوت عیناً تکرار شد. در هر بار اجرای آزمایش پنج بسته پنج عددی خرما درون حمام فراصوت قرار داده شد. نمونه‌های هر یک از بسته‌ها برای تعیین یک گروه از صفات (رطوبت، صفات رنگی و صفات بافتی) مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری رطوبت نمونه

برای اندازه‌گیری رطوبت ابتدا ظروف مخصوص توزین شدند. سپس حدود ۱۵-۱۰ گرم (w_w) از یک نمونه حاصل از له کردن پنج عدد خرما جدا شده، در دمای ۷۰ درجه سلسیوس درون آون خلاء به مدت ۷۲ ساعت خشک شد. وزن نمونه خشک (w_d) نیز پس از سرد شدن آن درون دسیکاتور، تعیین گردید. پس از آن، درصد رطوبت بر اساس وزن خشک با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (موسوی و حجتی، ۱۳۹۰).

$$M. C. (db) = 100 \times \left(\frac{w_w - w_d}{w_d} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

تحلیل رنگ

رنگ میوه با استفاده از دستگاه رنگ سنج مدل Hunter lab KONICA MINOLTA, INC تعیین شد. صفات رنگ شامل سه شاخص L ، a و b می‌باشد که L نماد روشنایی رنگ (از $L=0$ برای سیاه تا $L=100$ برای سفید) a نماد سبزی تا قرمزی رنگ ($a=-60$ برای سبز و $a=+60$ برای رنگ قرمز) و b نماد آبی تا زرد (از $b=-60$ برای آبی و $b=+60$ برای زرد) است [۱۳]. برای مقایسه رنگ معمولاً از پارامترهای روشنایی L و اختلاف کلی رنگ (ΔE) استفاده می‌شود که از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه فوق، L_0 ، a_0 و b_0 شاخص‌های رنگی نمونه شاهد L ، a و b شاخص رنگی نمونه‌های تیمار شده است.

بررسی و تحلیل بافت

برای آنالیز بافت از آزمون تحلیل بافت TPA با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (QTS Farnell25) استفاده شد. ابتدا هسته خرماي تحت آزمون به صورت دستی خارج شده، قطعه‌ای استوانه‌ای به ارتفاع ۱ سانتی متر از بخش میانی میوه جدا شد و با دقت روی میز دستگاه بافت‌سنج قرار گرفت. سپس پروبی با قطر ۳/۵ سانتی‌متر، نمونه را با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه به مقدار کلی ۵ میلی‌متر (فشرده‌سازی ۵۰ درصد) تغییر شکل داد. به محض پایان یافتن فشرده‌سازی، پروب جهت معکوس خود را با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه طی کرده،



چرخه دوم اجرا شد. در این آزمون، خواص مرتبط با بافت از جمله سفتی بافت (F)، قابلیت جویدگی (CH)^۲، هم‌چسبی (G)^۳ و فنریت (S)^۴ تعیین شد.

اندازه‌گیری قند احیاء و قند کل

برای اندازه‌گیری قند کل از روش شیمیایی فهلینگ استفاده شد. در این روش ساکارز با استفاده از اسید کلریدریک به فندهای احیاء‌کننده هیدرولیز شده، سپس یون مس دو ظرفیتی محلول‌های فهلینگ در یک محیط قلیایی در اثر احیاء توسط فندهای احیاء‌کننده تبدیل به مس یک ظرفیتی می‌شود. در نهایت بر اساس میزان عصاره میوه (محلول قند) مصرفی جهت احیاء مس و تغییر رنگ محلول، مقدار قند احیاء از رابطه (۳) و قند کل از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد (موسوی و حجتی، ۱۳۹۰).

$$n = \frac{F \times 100 \times 100}{V \times 25 \times 25} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$N = \frac{F \times 100 \times 100}{V \times 25 \times 25 \times 25} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن n و N به ترتیب قند احیاء‌کننده و قند کل بر حسب گرم بر ۱۰۰ گرم، F، فاکتور فهلینگ و V، حجم مصرفی عصاره برای تیتراسیون بر حسب میلی‌لیتر است.

طرح آماری و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده و یافتن اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته کیفیت خرماي ديري، از روش سطح پاسخ^۵ (RSM) با طرح آزمایش مرکب مرکزی^۶ (CCD) استفاده شد. در تمامی مدل‌های رگرسیونی که در ادامه مطلب بیان می‌شوند، A بیانگر دما، B بیانگر زمان، C بیانگر فراصوت است. متغیرهای مستقل و سطوح آنها در جدول (۱) آمده است. تعداد تکرارها برای نقاط محوری، فاکتوریل و مرکزی به ترتیب ۱، ۱ و ۵ بود که با توجه به تعداد سطوح متغیرهای مستقل به ۲۶ آزمایش (اجرا) منجر شد.

جدول ۱. متغیرهای مستقل و سطوح آنها در طرح مرکب مرکزی

فاکتور	+α	+۱	۰	-۱	-α
دما (A) (درجه سلسیوس)	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰
زمان (B) (دقیقه)	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۵	۴۰
فراصوت (C)	با فراصوت	با فراصوت	بدون فراصوت	بدون فراصوت	بدون فراصوت

نتایج و بحث

درصد رطوبت محصول تیمار شده

مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و متغیر وابسته درصد رطوبت به صورت معادله درجه چهارم (رابطه ۵) برای تیمارهای با و بدون فراصوت با $R^2=0/9978$ بدست آمد. جدول (۲) نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در پیش‌بینی روند درصد رطوبت بر حسب وزن خشک با متغیرهای مستقل انتخابی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

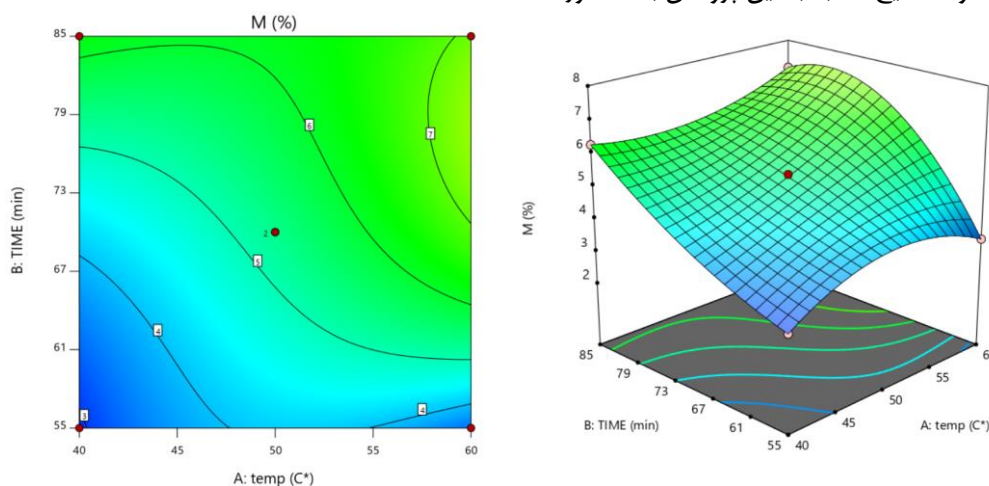
$$\begin{aligned} \text{رابطه (۵)} \quad \text{M.C.}(\%) = & +5/58 + 1/44 A + 1/04 B - 0/2824 C + 0/0578 AB - 0/074 AC - 0/0173 BC + 0/2769 A^2 - 0/2021 B^2 \\ & + 0/038 ABC + 0/7593 A^2 B - 0/0198 A^2 C - 1/03 AB^2 + 0/0304 B^2 C - 0/4648 A^2 B^2 - 0/0106 A^2 BC - 0/0075 \\ & AB^2 C \end{aligned}$$

1. Firmness
2. Chewability
3. Gumminess
4. Springiness
5. Response Surface Method
6. Central Composite Design
1. Moisture Content

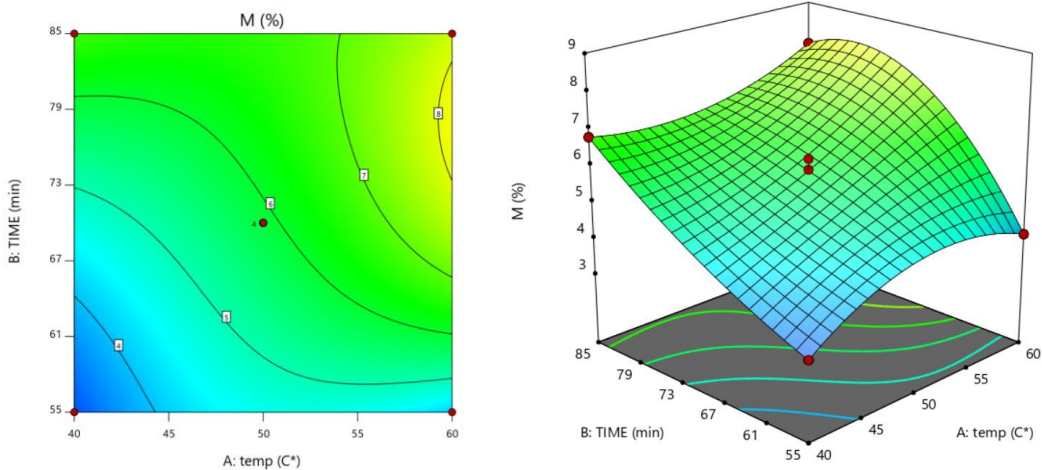
جدول ۲. تحلیل واریانس مدل رگرسیونی برای محتوای رطوبت، مقدار قند احیاء و قند کل

منبع تغییرات	محتوای رطوبت			قند احیاء			قند کل		
	درجه آزادی	میانگین مربعات	P مقدار	درجه آزادی	میانگین مربعات	P مقدار	درجه آزادی	میانگین مربعات	P مقدار
مدل	۱۶	۰/۵۲۸/۵۱	< ۰/۰۰۰۱	۱۶	۰/۴۳۲۴	۰/۰۴۹۴	۱۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۷۲
A (دما)	۱	۳۳/۰۹	< ۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۹۰۶	۰/۴۱۹۴	۱	۴/۲۹۸E-۰۶	۰/۵۰۸۸
B (زمان)	۱	۱۷/۳	< ۰/۰۰۰۱	۱	۰/۲۰۵۳	۰/۲۳۷۷	۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴۰
C (فراصوت)	۱	۵۵	۰/۰۱۳۱	۱	۳/۵۱	۰/۰۰۱۱	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۲۰۳۰
AB	۱	۰/۰۲۶۷	۰/۴۴۶	۱	۰/۵۳۲۷	۰/۰۷۶۱	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۲۷۵۶
AC	۱	۰/۰۸۷۶	۰/۱۹۴۷	۱	۰/۰۰۸۴	۰/۸۰۱۶	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۷۲۲
BC	۱	۰/۰۰۴۸	۰/۷۴	۱	۰/۲۰۵۳	۰/۲۳۷۷	۱	۶/۴۷۰E-۰۸	۰/۹۳۳۹
A ²	۱	۲/۸۴	۰/۰۰۰۴	۱	۱	۰/۰۲۴۶	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۲۵۴۹
B ²	۱	۱/۵۱	۰/۰۰۱۶	۱	۰/۰۷۳۳	۰/۴۶۵۸	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۱۳۶۰
ABC	۱	۰/۰۱۱۵	۰/۶۱۰۳	۱	۰/۱۱۸۲	۰/۳۶	۱	۶/۳۱۹E-۰۶	۰/۴۲۷۹
A ² B	۱	۳/۰۷	۰/۰۰۰۳	۱	۰/۰۵۷۶	۰/۵۱۶۱	۱	۵/۴۴۸E-۰۶	۰/۴۵۹۷
A ² C	۱	۰/۰۱۴۶	۰/۵۶۸۴	۱	۲/۴۴	۰/۰۰۰۳	۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴۴
AB ²	۱	۵/۶۲	< ۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۰۰۲	۰/۹۰۳۲	۱	۳/۰۱۲E-۰۶	۰/۵۷۷۶
B ² C	۱	۰/۰۳۴۱	۰/۳۹۳۲	۱	۲/۰۵	۰/۰۰۴۷	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۳۲۶۶
A ² B ²	۱	۱/۰۷	۰/۰۰۳۴	۱	۰/۲۴۰۹	۰/۲۰۴۷	۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۷۰
A ² BC	۱	۰/۰۰۰۶	۰/۹۰۶۴	۱	۰/۷۳۵۳	۰/۰۴۴۵	۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۲۴
AB ² C	۱	۰/۰۰۰۳	۰/۹۳۳۲	۱	۰/۰۲۲۵	۰/۶۸۱۸	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۲۸۳۲
باقیمانده	۵	۰/۰۳۹۱		۷	۰/۱۲۳۲		۵	۸/۴۹۸E-۰۶	
عدم تطابق	۱	۰/۰۰۰	۰/۹۸۷۵	۱	۰/۰۹۷۶	۰/۴۱۵۲	۱	۶/۷۴۱E-۰۶	۰/۴۳۴۱
خطا	۴	۰/۰۴۸۸		۶	۰/۱۲۷۴		۴	۸/۹۳۷E-۰۶	
کل	۲۱			۲۳			۲۱		

شکل (۱) و (۲) نیز سطح پاسخ و خطوط تراز را برای درصد رطوبت به ازای تغییر زمان و دما و متغیر کیفی فراصوت (با و بدون) نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، درصد رطوبت با افزایش دما ابتدا افزایش و سپس روند کاهشی پیدا می‌کند و با افزایش زمان، درصد رطوبت افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش همزمان دما و زمان در هر دو شکل، درصد رطوبت نمونه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه دو شکل (۱) و (۲) در دما و زمان ثابت نشان می‌دهد، اعمال امواج فراصوت (۵/۶۱ درصد) بر درصد رطوبت محصول نسبت به متغیر بدون فراصوت (۵/۲۲ درصد) ۷/۴۷ درصد تأثیر بیشتری دارد. بوبکری و همکاران (۲۰۱۰) نیز نتیجه مشابهی گرفتند. اشراقی و همکاران (۱۳۹۰) نیز با بررسی اثر پیش تیمار فراصوت روی خشک شدن ورقه‌های کیوی در سه سطح زمانی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه در دمای محیط در حمام فراصوت، نتایج مشابه به این پژوهش بدست آوردند.



شکل ۱. سطح پاسخ و خطوط تراز درصد رطوبت به ازای تغییرات زمان و دما بدون اعمال فراصوت



شکل ۲. سطح پاسخ و خطوط تراز درصد رطوبت به ازای تغییرات زمان و دما با اعمال فراصوت

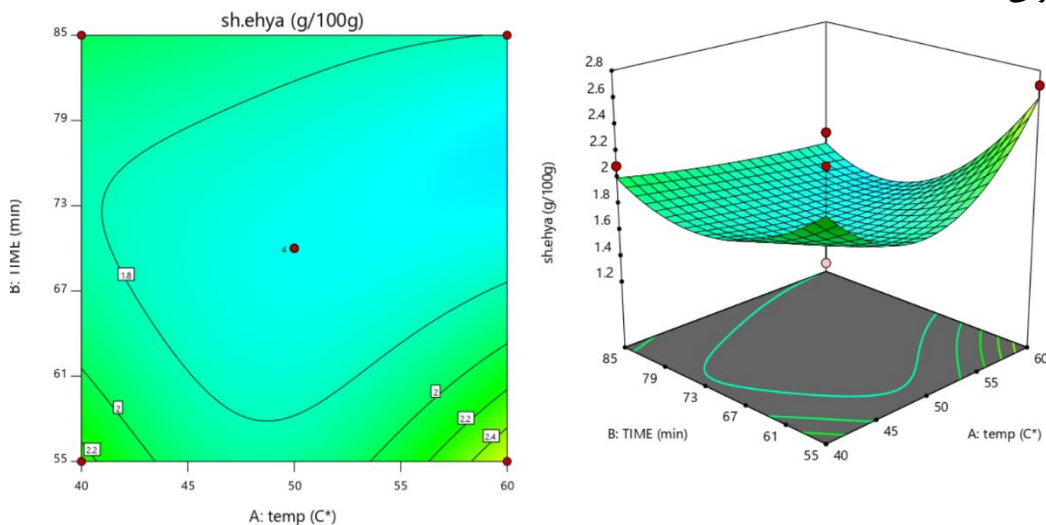
محتوای قند محصول تیمار شده

قند احیاء

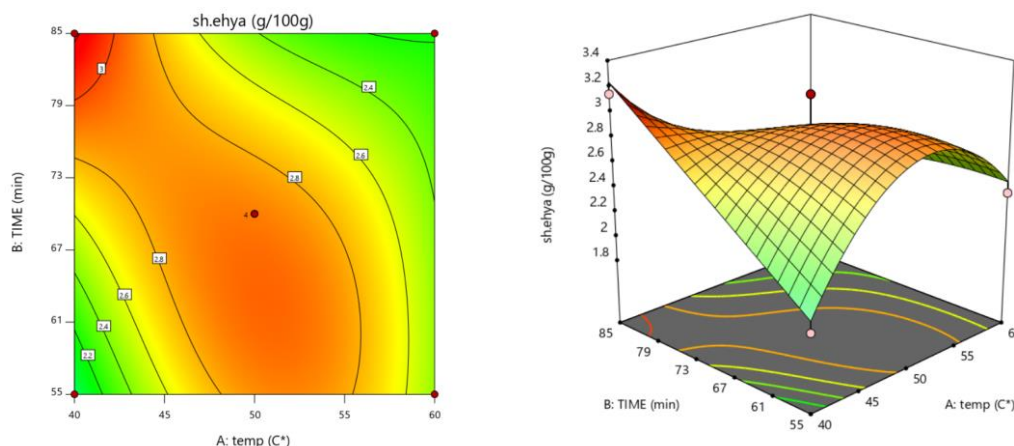
در تعیین مقدار قند احیاء نیز مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و متغیر وابسته مقدار قند احیاء (RS) به صورت معادله درجه چهارمی (رابطه ۶) با $R^2 = 0.8892$ بدست آمد. با استفاده از مدل رگرسیونی می‌توان مقادیر قند احیاء را تحت شرایط مختلف پیش‌بینی نمود. جدول (۲) نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در پیش‌بینی مقدار قند احیاء با متغیرهای مستقل انتخابی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

$$\text{رابطه ۶)} \quad RS = +2/3-0/075A-0/113 B-0/604 C-0/258 AB+0/022 AC+0/113 BC-0/153 A^2-0/0414 B^2+0/121 ABC+0/103 A^2B+0/239 A^2C+0/019 AB^2+0/219 B^2C+0/212 A^2B^2-0/371 A^2BC+0/065 AB^2C$$

شکل (۳) و (۴) سطح پاسخ و خطوط تراز را برای قند احیاء به ازای تغییر زمان و دما و متغیر کیفی فراصوت (با و بدون) نشان می‌دهد. مقایسه این دو شکل در دما و زمان ثابت نشان می‌دهد، که اعمال فراصوت (۳/۱۴ درصد) نسبت به متغیر بدون فراصوت (۱/۳۴ درصد)، برابر تأثیر بیشتری بر مقدار قند احیاء محصول دارد. علت افزایش قند احیاء، تبدیل ساکارز به گلوکز و فروکتوز و افزایش میزان گلوکز و فروکتوز است. در تحقیق بوبکری و همکاران (۲۰۱۰) میزان تغییرات قند بدون اعمال فراصوت تقریباً ثابت بود که با نتایج این پژوهش همخوانی نداشت.



شکل ۳. سطح پاسخ و خطوط تراز قند احیاء به ازای تغییرات زمان و دما بدون اعمال فراصوت



شکل ۴. سطح پاسخ و خطوط تراز قند احیاء به ازای تغییرات زمان و دما با اعمال فراصوت

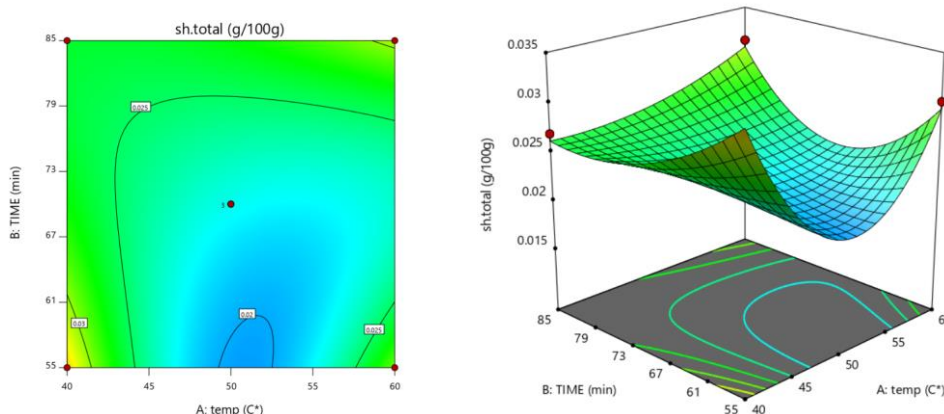
قند کل

در رابطه ۷ معادله درجه چهارم مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و متغیر وابسته (مقدار قند کل^۱ (TS)) با $R^2=0.9517$ بدست آمد. در جدول (۲)، تحلیل واریانس مدل رگرسیونی درجه چهارم برای مقدار قند کل نمونه پس از تیماردهی آورده شده است. طبق این جدول، اثر متغیرهای مستقل دما و فراصوت (با و بدون) بر مقدار قند کل معنی دار نیست اما اثر زمان در سطح ۱ درصد معنی دار است.

$$TS = +0.023 - 0.0005A + 0.0037B - 0.0015C + 0.0013AB - 0.0017AC - 0.0001BC + 0.0006A^2 + 0.0008B^2 + 0.0009AB^2 + 0.0012A^2B + 0.0023A^2C + 0.0008AB^2 + 0.0005B^2C + 0.0037A^2B^2 - 0.0041A^2BC + 0.0015AB^2C$$

رابطه ۷)

همان گونه که در شکل (۵) مشاهده می شود، با افزایش زمان، مقدار قند کل به مقدار بسیار کمی کاهش می یابد. در بررسی بویگری و همکاران (۲۰۱۰) میزان تغییر قند کل ناچیز گزارش شده است.



شکل ۵. سطح پاسخ و خطوط تراز مقدار قند کل به ازای تغییرات زمان و دما بدون اعمال فراصوت

شاخص های رنگی محصول رطوبت داده شده

L شاخص رنگی

در معادله درجه چهارم (رابطه ۸)، مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و متغیر وابسته مقدار شاخص رنگی L با $R^2=0.9733$ بیان شد.

$$L = +30.33 - 1.22A - 0.796 B + 0.055 C - 1.31 AB - 0.267 AC + 0.751 BC + 0.229 A^2 + 0.132 B^2 - 1.05ABC + 0.96 A^2B + 0.72 A^2C + 0.967 AB^2 - 0.834 B^2C + 0.961 A^2B^2 - 3.73 A^2BC - 1.38 AB^2C$$

رابطه ۸)

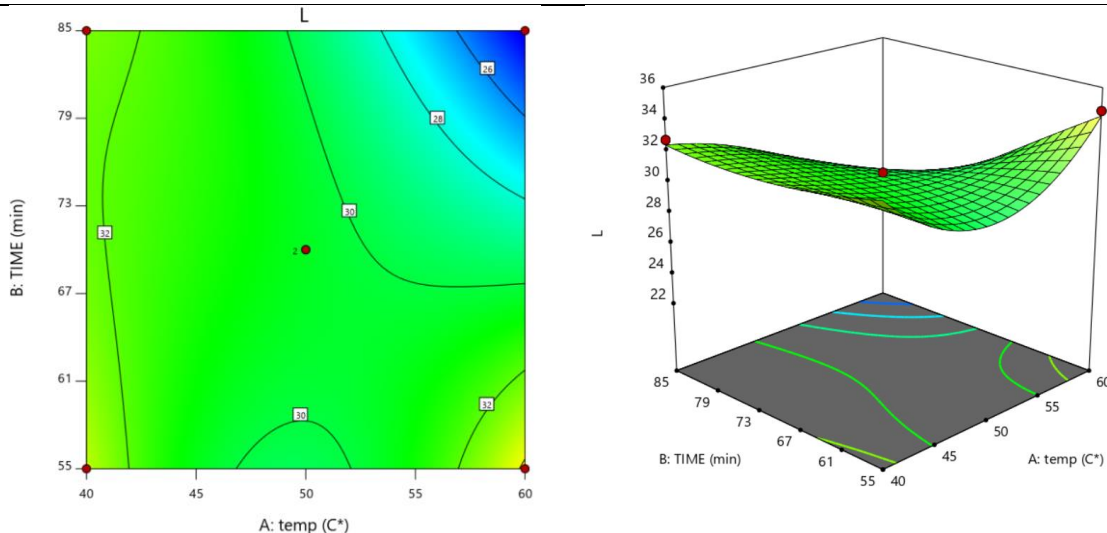
همچنین در جدول (۳)، تحلیل واریانس مدل رگرسیونی درجه چهارم برای مقدار شاخص رنگی L نمونه پس از تیماردهی آورده شده

است. این جدول نشان می‌دهد که اثر متغیر مستقل فراصوت (با و بدون) بر مقدار شاخص رنگی L معنی‌دار نیست اما اثر دما و زمان در به ترتیب در سطح ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار است.

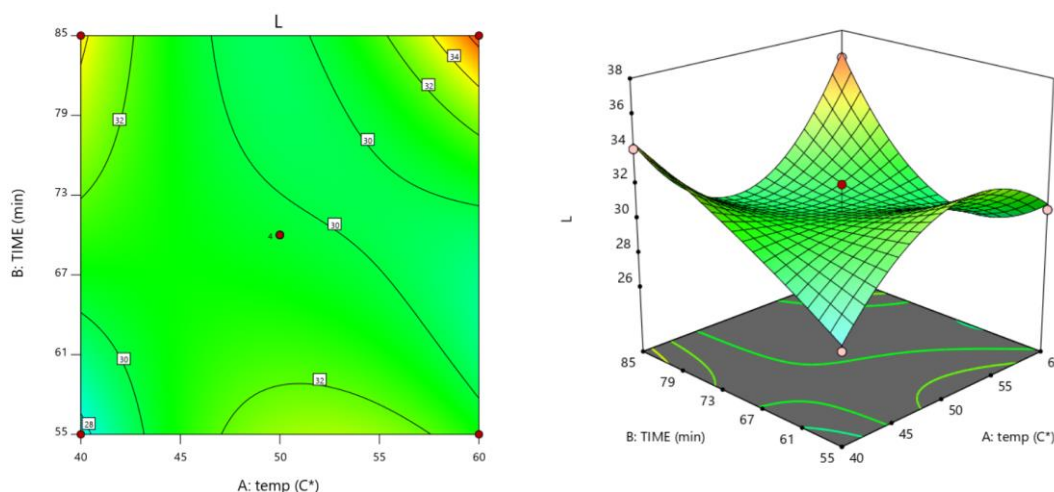
طبق شکل (۶)، با افزایش دما، مقدار شاخص رنگی L ابتدا کاهش و پس از نقطه میانی افزایش می‌یابد و با افزایش زمان مقدار آن روند کاهشی دارد. همچنین شکل نشان می‌دهد که افزایش همزمان دما و زمان غوطه‌وری محصول باعث کاهش شاخص رنگی L شده است. در شکل (۷) با اعمال فراصوت نتیجه عکس حالت قبل است و با افزایش دما مقدار شاخص رنگی L ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند و افزایش همزمان دما و زمان غوطه‌وری محصول باعث افزایش شاخص رنگی L شده است و با افزایش زمان مقدار آن کاهش می‌یابد. افزایش مقدار L نشان‌دهنده روشن‌تر شدن رنگ محصول که براساس نتایج اعمال امواج فراصوت باعث روشن‌تر شدن رنگ محصول شده است.

جدول ۳. تحلیل واریانس مدل رگرسیونی برای شاخص رنگی L ، a ، b و ΔE

منبع تغییرات	L		a		b		ΔE	
	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات
مدل	۱۶	۱۳/۳۹	۱۶	۴/۶۲	۱۶	۷/۵۲	۱۶	۱۹/۸۳
A (دما)	۱	۲۳/۸۱	۱	۱/۰۴	۱	۷/۲۸	۱	۲۷/۰۹
B (زمان)	۱	۱۰/۱۴	۱	۱/۰۹	۱	۴/۵۳	۱	۱۴/۸۳
C (فراصوت)	۱	۰/۰۲۱۲	۱	۰/۳۹۶۸	۱	۱/۰۹	۱	۳/۴۹
AB	۱	۱۳/۶۸	۱	۱/۴۲	۱	۳۸/۴۸	۱	۵۷/۴۷
AC	۱	۱/۱۴	۱	۰/۳۲۳۱	۱	۰/۱۳۸۸	۱	۰/۲۴۰۷
BC	۱	۶/۰۳	۱	۰/۲۷۳۰	۱	۴/۱۱	۱	۱۳/۰۳
A ²	۱	۱/۹۵	۱	۳/۸۳	۱	۶/۰۶	۱	۱۲/۵۴
B ²	۱	۰/۶۴۹	۱	۰/۴۸۶۹	۱	۱۶/۵۰	۱	۱۹/۴
ABC	۱	۸/۷۴	۱	۰/۸۲۳۴	۱	۰/۵۱۷۷	۱	۷/۸۵
A ² B	۱	۴/۹۲	۱	۰/۰۰۰۴	۱	۱/۸۵	۱	۶/۰۲
A ² C	۱	۰/۱۹۴۲	۱	۲/۷۹	۱	۰/۸۲۸۱	۱	۱/۷۲
AB ²	۱	۴/۹۹	۱	۱/۰۳	۱	۷/۸۱	۱	۸/۶
B ² C	۱	۲۵/۷۴	۱	۰/۳۰۹۱	۱	۱۲/۰۲	۱	۲۴/۴۸
A ² B ²	۱	۴/۵۸	۱	۱/۷۶	۱	۲/۴۹	۱	۵/۰۴
A ² BC	۱	۷۴/۳	۱	۱۴/۰۲	۱	۱۰/۸۵	۱	۷۱/۰۱
AB ² C	۱	۱۰/۲۳	۱	۲۴/۰۶	۱	۱۵/۹۹	۱	۲۶/۱۲
باقیمانده	۵	۱/۱۸	۳	۱/۳۲	۲	۱/۸۲	۸	۴۹/۴۲
عدم تطابق	۱	۱/۴۲	۱	۳/۰۳	۱	۳/۵۷	۱	۹/۶۶
خطا	۴	۱/۱۱	۲	۰/۴۶۰۶	۱	۰/۰۵۹۵	۷	۵/۶۸
کل	۲۱		۱۹		۱۸		۲۴	



شکل ۶. سطح پاسخ و خطوط تراز مقدار شاخص رنگی L به ازای تغییرات زمان و دما بدون اعمال فراصوت



شکل ۷. سطح پاسخ و خطوط تراز مقدار شاخص رنگی L به ازای تغییرات زمان و دما با اعمال فراصوت

شاخص تغییر رنگ کلی ΔE

معادله درجه چهارم (رابطه ۹)، مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و متغیر وابسته شاخص تغییر رنگ کلی ΔE را نشان می‌دهد که در آن $R^2 = 0.8652$ بدست آمد.

$$\Delta E = +12/46 + 1/3A + 0/962B + 0/576C + 2/68AB + 0/122AC - 0/902BC - 0/532A^2 - 0/662B^2 + 0/99ABC - 1/06A^2B - 0/197A^2C - 27/1AB^2 + 0/744 B^2C - 0/964 A^2B^2 + 3/65 A^2BC + 2/21 AB^2C \quad (9)$$

جدول (۳)، تحلیل واریانس مدل رگرسیونی درجه چهارم برای شاخص تغییر رنگ کلی ΔE نمونه پس از تیمار دهی آورده را نشان می‌دهد. این مدل پیشنهادی پیش‌بینی روند شاخص رنگی ΔE با متغیرهای مستقل انتخابی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود اما اثر هر یک از سه متغیر مستقل دما، زمان و فراصوت بر متغیر وابسته غیر معنی‌دار بود. اثر متغیرهای مستقل بر شاخص‌های رنگی a و b نیز در سطح ۰/۰۵ غیر معنی‌دار بود (جدول ۳).

بررسی و تحلیل بافت

سفتی بافت

برای تعیین سفتی بافت، مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و متغیر وابسته سفتی بافت (F) به صورت معادله درجه چهارم (رابطه ۱۰) با $R^2 = 0.9725$ بدست آمد.

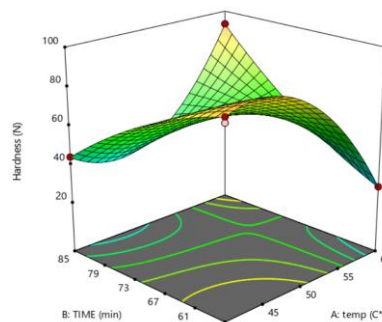
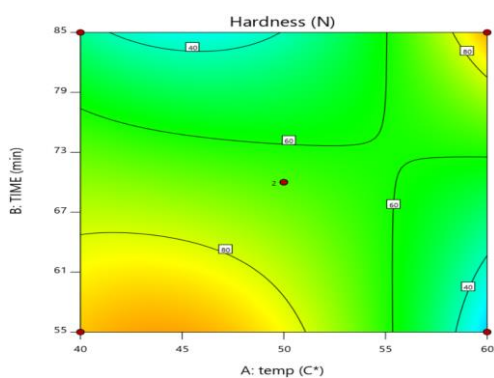
$$F(N) = 65/52 - 10/12A - 13/3B + 0/2C + 19/37AB + 0/952AC - 1/28BC + 1/61A^2 - 5/78B^2 + 8/25ABC + 9/94A^2B - 3/88A^2C + 11/62 AB^2 + 2/05 B^2C + 3/84 A^2B^2 + 16/36 A^2BC - 5/62 AB^2C \quad (10)$$

تحلیل واریانس مدل رگرسیونی برای سفتی بافت نمونه پس از تیمار دهی در جدول (۴) آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در پیش‌بینی روند کلی سفتی بافت با متغیرهای مستقل دما و زمان در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد اما اثر امواج فراصوت بر سفتی معنی‌دار نیست.

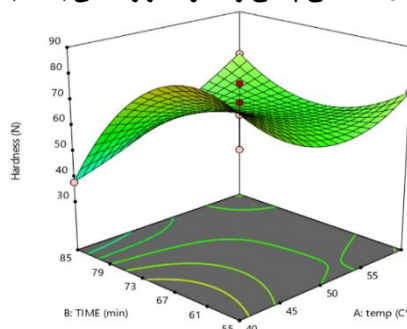
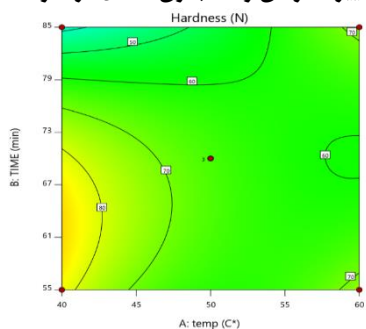
طبق شکل‌های (۸) و (۹) با افزایش دما میزان سفتی بافت ابتدا افزایشی و سپس کاهش پیدا می‌کند و با افزایش زمان مقدار سفتی بافت کاهش می‌یابد. با افزایش همزمان دما و زمان ابتدا مقدار سفتی کاهش یافته، سپس شروع به افزایش می‌کند. کاهش یافتن شیب نمودار در بازه‌ای از دما و زمان ناشی از افزایش فعالیت‌های آنزیمی و نرم‌تر شدن بافت خرما است. آنزیم اینورتاز که مسئول تبدیل ساکارز به قند گلوکز و فروکتوز است با عملکرد خود تغییر بافت و نرمی بافت خرما را تحت تأثیر قرار می‌دهد، و هر چه دما و زمان رطوبت‌دهی به خرما افزایش پیدا کند، فعالیت این آنزیم افزایش یافته و نرمی بافت نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش دما باعث حرکت آب بین سلول‌های خرما شده و در نتیجه تأثیر آنزیم‌های مؤثر در نرمی بافت نیز بیشتر می‌شود. نتایج بدست آمده در پژوهش مستعان و همکاران (۲۰۱۲) در مورد خمیر خرما مؤید نتیجه بدست آمده است.

جدول ۴. تحلیل واریانس مدل رگرسیونی برای سفتی بافت، قابلیت جویدگی، هم چسبگی و فنریت

منبع تغییرات	سفتی			قابلیت جویدگی			هم چسبگی			فنریت		
	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار P	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار P	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار P	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار P
مدل	۱۶	۸۲۵/۴۷	۰/۰۲۴۰	۱۳	۲۲۶/۶۶	۰/۰۴۰۱	۱۶	۳۳/۹۷	۰/۰۴۳۹	۱۶	۰/۰۸۱۹	۰/۰۱۶۴
A(دما)	۱	۱۶۳۸/۶۶	۰/۰۱۳۸	۱	۵۳۷/۰۷	۰/۰۱۹۲	۱	۹۳/۲۲	۰/۰۱۴۴	۱	۰/۰۰۳۸	۰/۴۱۹۱
B(زمان)	۱	۲۸۳۱/۹۹	۰/۰۰۵۲	۱	۴۲۷/۲۷	۰/۰۳۰۶	۱	۹۰/۷۲	۰/۰۱۵	۱	۰/۰۲۰۷	۰/۰۰۶۱
C(فراصوت)	۱	۰/۲۵۶۰	۰/۹۶۰۸	۱	۵۶/۸۲	۰/۳۵۷۴	۱	۲/۵۵	۰/۴۵۹۵	۱	۰/۰۰۲۶	۰/۴۹۲۳
AB	۱	۳۰۰۲/۷۵	۰/۰۰۴۸	۱	۷۹۶/۱۷	۰/۰۰۷۸	۱	۱۶۹/۶۳	۰/۰۰۶۲	۱	۰/۰۰۳۹	۰/۴۱۲۹
AC	۱	۱۴/۵۲	۰/۷۱۳۶	۱	۲۴۶/۵۷	۰/۰۷۹۳	۱	۳/۴۹	۰/۳۹۴۷	۱	۰/۳۶۴۵	۰/۰۰۲۷
BC	۱	۱۰۹۵/۷۸	۰/۰۲۶۷	۱	۶/۶۳	۰/۷۴۶۴	۱	۴/۶۲	۰/۳۳۷۱	۱	۰/۰۰۹۵	۰/۲۳۳۷
A ²	۱	۹۰/۹۴	۰/۳۷۹۸	۱	۵۷/۳۳	۰/۲۹۴	۱	۷/۶۹	۰/۲۲۷۶	۱	۰/۰۰۸۹	۰/۲۴۶۸
B ²	۱	۱۱۷۰/۵۲	۰/۰۲۴۰	۱	۲۰۵/۱۶	۰/۱۰۳۴	۱	۳۵/۷	۰/۰۵۰۵	۱	۰/۰۲۶۲	۰/۹
ABC	۱	۵۴۴/۵۹	۰/۰۷۳۲	۱	۲۰۰/۸۵	۰/۱۰۶۵	۱	۲۲	۰/۰۸۸۷	۱	۰/۰۱۸۶	۰/۱۲۸۹
A ² B	۱	۵۲۷/۰۹	۰/۰۷۶۴	۱	۵۴/۰۸	۰/۳۶۸۶	۱	۳۱/۲۷	۰/۰۵۹۳	۱	۰/۵۷۸۲	۰/۰۰۱۴
A ² C	۱	۵۱۲/۵۴	۰/۰۷۹۲	۱	۱۹۵/۸۳	۰/۱۱۰۲	۱	۹/۰۱	۰/۲۰۹۷	۱	۰/۰۱۱۴	۰/۲۰۱۸
AB ²	۱	۷۲۰/۶۴	۰/۰۵۰۰	۱	۱۱۵/۲۸	۰/۲۰۲۲	۱	۳۵/۷۶	۰/۰۵۰۴	۱	۰/۰۰۱۸	۰/۵۶۴۴
B ² C	۱	۱۴۹/۵۷	۰/۲۷۴۵	۱	۹/۵۳	۰/۶۹۸۷	۱	۴/۹۶	۰/۳۲۲۵	۱	۰/۰۶۱۲	۰/۰۳۲۶
A ² B ²	۱	۷۰/۹۰	۰/۴۳۲۹				۱	۸/۹۸	۰/۲۱۰۳	۱	۰/۰۶۹۶	۰/۰۲۷۶
A ² BC	۱	۱۴۲۷/۸۲	۰/۰۱۷۴				۱	۸/۳۹	۰/۲۲۲	۱	۰/۰۳۷۳	۰/۰۰۶۰۶
AB ² C	۱	۱۶۸/۴۹	۰/۲۵۰۵				۱	۷/۹۷	۰/۲۳۱۲	۱	۰/۱۹۶۸	۰/۰۰۶۶
باقیمانده	۴	۹۳/۴۶		۷	۵۸/۵۶		۳	۳/۵۶		۳	۰/۰۰۴۳	
عدم تطابق	۱	۰/۶۸۴۰	۰/۹۴۵۶	۴	۳۹/۲۶	۰/۷۶۳	۱	۶/۹۸	۰/۱۹۰۹	۱	۰/۰۰۳۳	۰/۴۹۱۱
خطا	۳	۱۲۴/۳۹		۳	۸۴/۲۹		۲	۱/۸۴		۲	۰/۰۰۴۸	
کل	۲۰			۲۰			۱۹			۱۹		



شکل ۸. سطح پاسخ و خطوط تراز سفتی بافت به ازای تغییرات زمان و دما بدون اعمال فراصوت



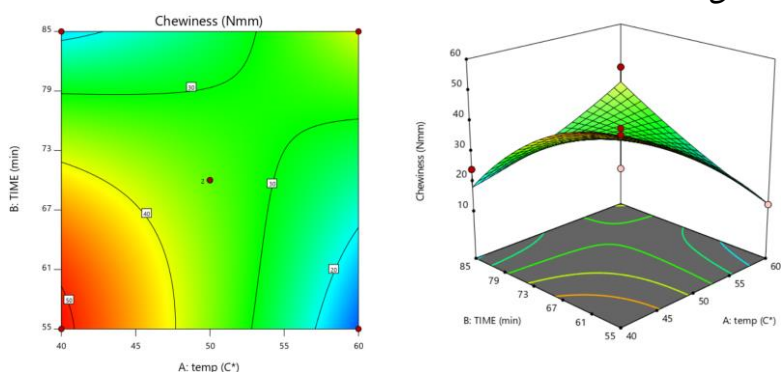
شکل ۹. سطح پاسخ و خطوط تراز سفتی بافت به ازای تغییرات زمان و دما با اعمال فراصوت

قابلیت جویدگی

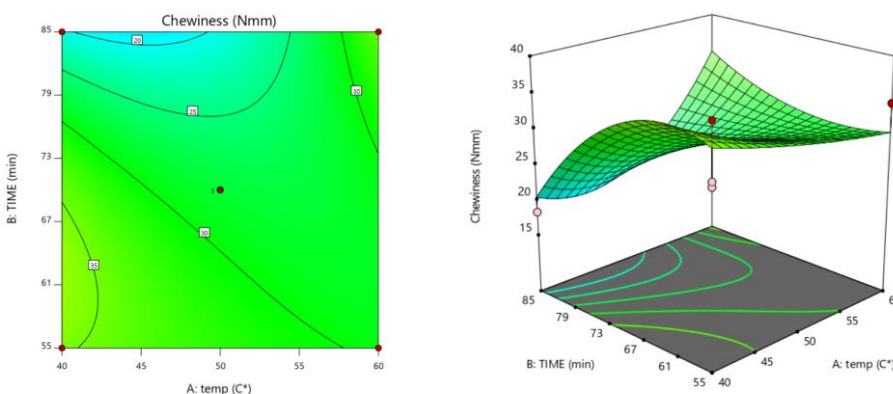
مدل رگرسیونی درجه سوم بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و قابلیت جویدگی (CH) $R^2=0.8779$ بدست آمد (رابطه ۱۱).

$$CH \quad (N.mm) = 31/0.5 - 5/79A - 5/17B + 2/97C + 9/98AB - 3/21AC + 0/525 \quad BC + 1/45A^2 - 2/4B^2 + 5/0.1ABC + 3/18A^2B - 2/34A^2C + 4/65AB^2 - 0/516B^2C$$

همانطور که در جدول (۴) تحلیل واریانس مدل رگرسیونی درجه چهارم برای شاخص قابلیت جویدگی نمونه پس از تیمار دهی را نشان می‌دهد، مدل پیشنهادی در پیش‌بینی روند کلی شاخص قابلیت جویدگی با متغیرهای مستقل انتخابی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است اما اثر امواج فراصوت بر جویدن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست. با توجه به شکل (۱۰) و (۱۱)، با افزایش همزمان دما و زمان، شاخص جویدن کاهش می‌یابد. محققین دلیل نرم شدن بافت محصول را کاهش انرژی جویدگی و افزایش قابلیت جویدگی نمونه‌ها بیان نموده‌اند که آن هم به دلیل افزایش هم‌چسبی بین ذرات تشکیل دهنده نمونه است. نتایج حاصل در این بررسی با پژوهش مستعان و همکاران (۲۰۱۲) در مورد خمیر خرما همسان است.



شکل ۱۰. سطح پاسخ و خطوط تراز شاخص جویدن به ازای تغییرات زمان و دما بدون اعمال فراصوت



شکل ۱۱. سطح پاسخ و خطوط تراز شاخص جویدن به ازای تغییرات زمان و دما با اعمال فراصوت

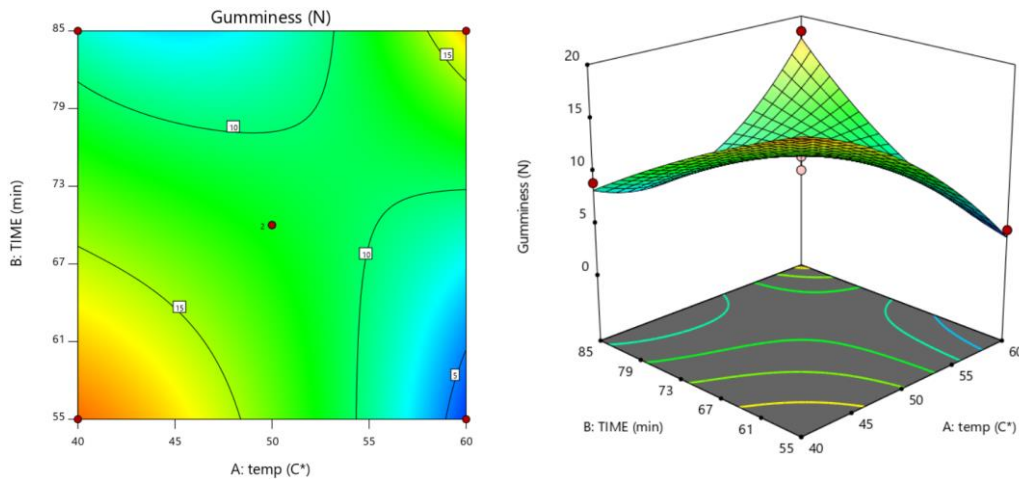
هم‌چسبی (خاصیت صمغی بودن)

معادله درجه ۴ (رابطه ۱۲) مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و متغیر وابسته هم‌چسبی (G) با $R^2=0.9808$ بدست آمد.

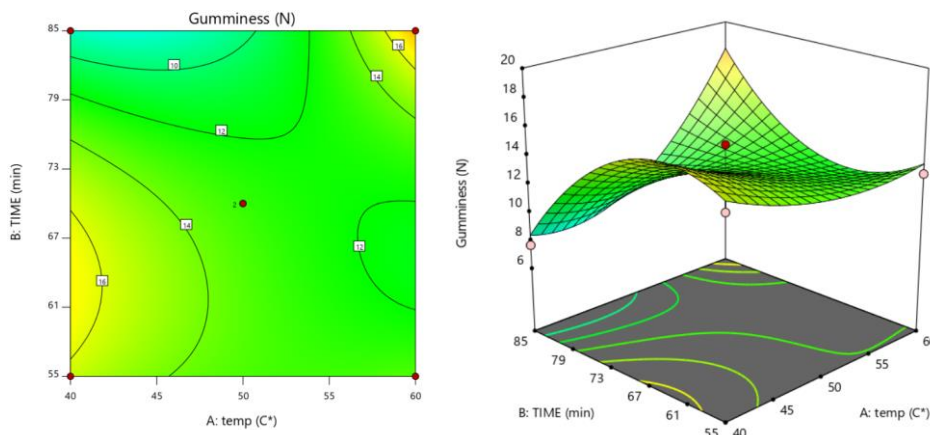
$$G(N) = 12/23 - 2/41A - 2/38B - 0/674C + 4/6AB - 1/467AC - 0/537BC + 0/49A^2 - 1/06B^2 + 1/66ABC + 2/42A^2B - 0/521A^2C + 2/59AB^2 + 0/386B^2C + 1/4A^2B^2 + 1/25A^2BC - 1/22AB^2C$$

مدل پیشنهادی نیز در پیش‌بینی روند مقدار هم‌چسبی با متغیرهای مستقل انتخابی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است اما اثر امواج فراصوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست (جدول ۴).

در شکل (۱۲) با افزایش دما و زمان میزان هم‌چسبی کاهش می‌شود و با افزایش توام زمان و دما در هر دو نمودار، هم‌چسبی در ابتدا کاهش می‌یابد و بعد از یک بازه دمایی و زمانی شیب نمودار شروع به افزایش می‌کند. شکل (۱۳) نشان می‌دهد با افزایش دما، مقدار هم‌چسبی کاهش است اما با افزایش دما مقدار هم‌چسبی ابتدا کاهش و پس از نقطه میانی شروع به افزایش می‌کند. همچنین با افزایش هم زمان دما، مقدار هم‌چسبی ابتدا کاهش یافته و پس از نقطه میانی شروع به افزایش می‌کند. مستعان و همکاران علت کاهش یافتن هم‌چسبی در بازه‌هایی از دما و زمان را کاهش نیروی ربایشی بین ذرات نمونه تحت تیمار بیان نموده‌اند که با افزایش هم‌چسبی، محصول کیفیت مطلوب‌تری پیدا می‌کند.



شکل ۱۲. سطح پاسخ و خطوط تراز هم‌چسبی به ازای تغییرات زمان و دما بدون اعمال فراصوت



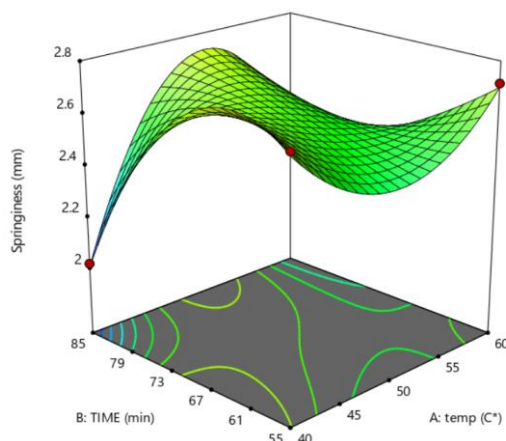
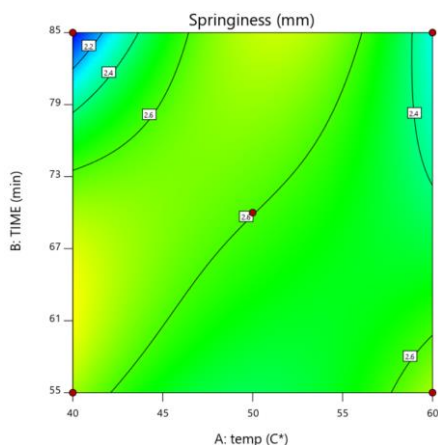
شکل ۱۳. سطح پاسخ و خطوط تراز هم‌چسبی به ازای تغییرات زمان و دما با اعمال فراصوت

فتریت

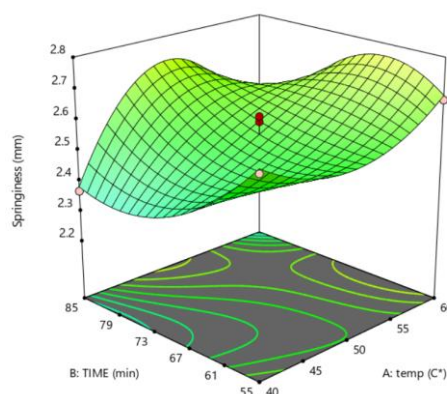
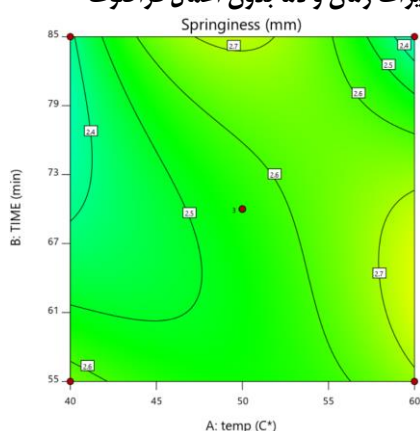
مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و فراصوت (با و بدون)) و متغیر وابسته فتریت (S) به صورت معادله درجه چهارمی (رابطه ۱۳) با $R^2 = 0.9903$ بدست آمد.

$$S(\text{mm}) = 2/58A + 0/153A^2 + 0/1137B + 0/238C + 0/22AB - 0/1509AC + 0/244BC - \\ 0/1075A^2 + 0/301B^2 + 0/482ABC - 0/3293A^2B - 0/196A^2C + 0/183AB^2 - 0/454B^2C - 0/1272A^2B^2 - \\ 0/0836A^2BC + 0/1921AB^2C \quad (13)$$

در طبق جدول (۴)، مدل پیشنهادی در پیش‌بینی روند مقدار فتریت با متغیرهای مستقل انتخابی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد، اما اثر دما و امواج فراصوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست. طبق شکل‌های (۱۴) و (۱۵) با افزایش زمان، میزان فتریت ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌شود که با نتایج مستعان و همکاران (۲۰۱۲) که در بررسی خود به تأثیر بخاردهی بر خمیر خرما پرداختند، مطابقت دارد.



شکل ۱۴. سطح پاسخ و خطوط تراز فنریت به ازای تغییرات زمان و دما بدون اعمال فراصوت



شکل ۱۵. سطح پاسخ و خطوط تراز فنریت به ازای تغییرات زمان و دما با اعمال فراصوت

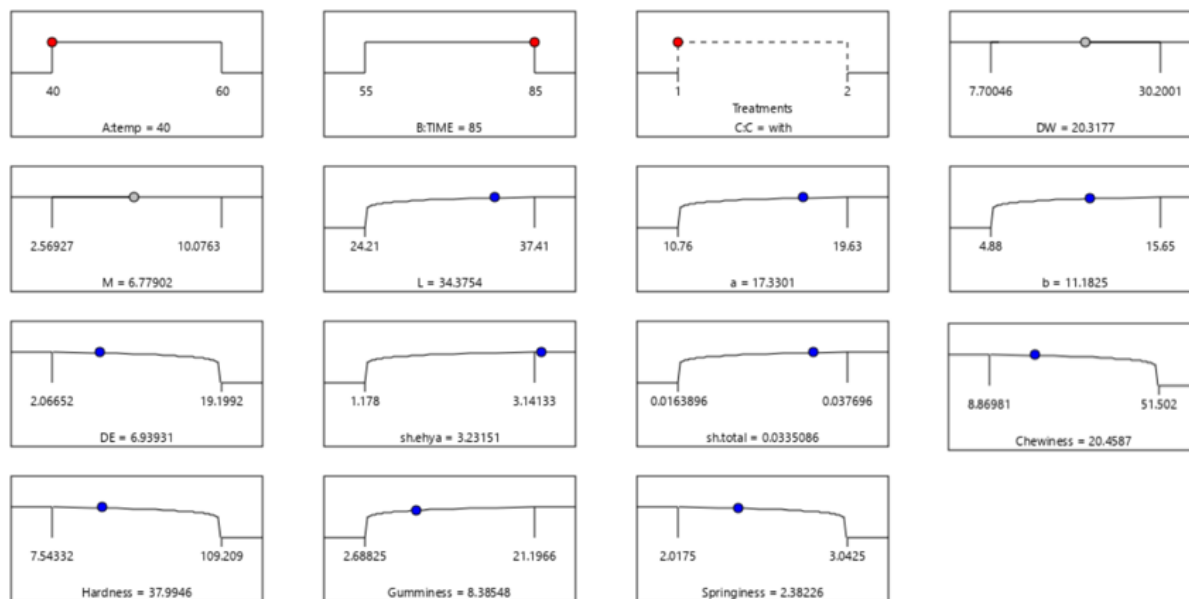
بهینه یابی

برای بهینه یابی فرایند رطوبت دهی خرمای دیری با و بدون اعمال امواج فراصوت، شرایط مرزی متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته به صورتی تعیین شد که پارامترهای مستقل در محدوده تعیین شده و پاسخ مربوطه با درجه اهمیت ۵ برای بیشینه شدن قرار داشته باشند. همانطور که در شکل (۱۶) دیده می شود، مقدار بهینه پیش بینی شده برای مقدار رطوبت ۶/۷۷ درصد، شاخص L ۳۴/۳۷، شاخص a ۱۷/۳۳a، شاخص b ۱۱/۱۸، ΔE ۶/۹، قند کل ۰/۳۳ g/۱۰۰g، قند احیاء ۳/۲۳ g/۱۰۰g، سختی ۳۷/۹۹ N، جویدگی ۲۰/۴۵ N.mm، هم چسبی N ۸/۳۸ و فنریت ۲/۳۸ mm بدست آمد. همچنین بهینه مقادیر متغیرهای مستقل دمای رطوبت دهی ۴۰ درجه سلسیوس، زمان رطوبت دهی ۸۵ دقیقه و با اعمال فراصوت بدست آمد (شکل ۱۶).

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج بررسی تأثیر رطوبت دهی و امواج فراصوت بر ویژگیهای خرمای رقم دیری خوزستان نشان داد مدل رگرسیونی پیشنهادی در تعیین اثر رطوبت دهی بر درصد رطوبت، قند احیاء، قند کل، شاخصهای رنگی L, ΔE ، سختی، جویدگی، هم چسبی و فنریت نمونه های تحت تیمار معنی دار است. بررسی نقطه میانی نشان می دهد مقدار تغییرات رطوبت دهی با فراصوت بر درصد رطوبت و قند احیاء نمونه های تحت تیمار به ترتیب ۷/۴۷ درصد و ۱/۳۴ برابر نسبت به تیمار بدون فراصوت بیشتر گردید که بیان کننده تأثیر بیشتر فراصوت بر نمونه ها بود. نتایج حاصل از بررسی تأثیر سطوح دمایی و زمانی استفاده شده (و نه الزاماً همه سطوح دمایی و زمانی ممکن) بر دیگر صفات کیفی مانند شاخصهای رنگی a, b، اختلاف معنی داری (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. عدم معنی داری اثر برخی از پارامترها همچون امواج فراصوت در برخی شاخص های کیفی را می توان به بی اثر بودن رطوبت دهی و اعمال فراصوت بر نمونه های تیماری و یا دقت ابزار اندازه گیری و نزدیک بودن دامنه سطوح آزمایش مرتبط دانست. تغییرات دما در بازه های حول هر سطح تیمار توسط دستگاه کنترل می گردد، بنابراین ممکن است در سطوح آزمایش نزدیک به هم تداخل ایجاد شود. بررسی های انجام شده نشان می دهد سطح دمایی ۴۰ درجه سلسیوس و بازه زمانی ۸۵ دقیقه را با اعمال فراصوت می توان به عنوان نقطه بهینه معرفی کرد. با وجود اینکه امواج فراصوت بر برخی صفات اثر داشت،

برای استفاده از آن باید قیمت تجهیزات و صرفه اقتصادی نیز مدنظر قرار گیرد.



Desirability = 0.961

شکل ۱۶. شرایط بهینه سازی متغیرهای مستقل برای بهینه کردن رطوبت‌دهی به خرماي رقم دیری

سیاسگزارى

از دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر تأمین هزینه‌های اجرای این پژوهش (در قالب قرارداد پژوهانه شماره SCU.AA99.646) قدردانی می‌گردد.

منابع

اشراقی، الهه؛ مقصدلو، یحیی؛ کاشانی نژاد، مهدی؛ بیرقی طوسی، شهرام و اعلمی، مهران (۱۳۹۰). بررسی اثر پیش تیمار فراصوت روی خشک شدن ورقه های کیوی. *مجله پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران*، ۷(۴): ۲۷۳-۲۷۹. doi:10.22067/ifstrj.v7i4.11706

بی‌نام (۱۴۰۲). آمار نامه کشاورزی سال ۱۴۰۱. جلد سوم: گزارش محصولات باغی، قارچ و گلخانه‌ای. معاونت آمار مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۴۰۱ ص.

مستعان، احمد؛ لطیف‌التجار، سینا و مدرسی، فاطمه (۱۳۹۲). تاثیر شرایط بخاردهی بر خصوصیات بافت خمیر خرماي رقم استعمران، هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، ۱۱-۹ بهمن ماه، مشهد. <https://civilica.com/doc/284494>. مستعان، احمد؛ لطیفیان، مسعود؛ تراهی، عزیز؛ امانی، مجید؛ محبی، عبدالحمید و حوری، مجیدعلی (۱۳۹۶). *راهنمای فنی کاشت داشت و برداشت خرما*. نشر آموزش، مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی، ۲۸۲ ص.

موسوی، افسون و حجتی، محمد (۱۳۹۰). بررسی خصوصیات کیفی، کالری زایی و عناصر معدنی چهار رقم خرماي عمده استان خوزستان. *علوم و صنایع غذایی ایران*، ۸(۱): ۳۱-۳۷. SID. <https://sid.ir/paper/71939/fa>

مهریار، اسماعیل؛ صادقی، مرتضی؛ رضوی، سید جلیل و فرقانی، احسان (۱۳۹۴). شاخص‌های کیفی خرماي رقم استعمران تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۵(۱۶): ۳۰۵-۳۱۳.

REFERENCES

Abdelkarim, D. O., Mohamed Ahmed, I. A., Ahmed, K. A., Younis, M., Yehia, H. M., Zein El-Abedein, A. I., & Alhamdan, A. (2022). Extending the shelf life of fresh Khalal Barhi dates via an optimized postharvest

- ultrasonic treatment. *Plants*, 11(2029). <https://doi.org/10.3390/plants11152029>
- AlYammahi, J., Hai, A., Krishnamoorthy, R., Arumugham, T., Hasan, S. W., & Banat, F. (2022). Ultrasound-assisted extraction of highly nutritious date sugar from date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit powder: Parametric optimization and kinetic modeling. *Ultrasonics Sonochemistry*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106107>
- Anonymous (2022). Agricultural statistics of 2022. Volume III: Report of Horticultural Crops, Mushrooms and Greenhouse Crops. *Ministry of Agriculture Jihad. Statistics deputy of Information and Communication Technology Center*, 401 p, (In Persian).
- Berrebeuh, M.H., Boubekri, A., Balti, M.A., Chouicha, S., Mennouche, D. and Kechaou, N. (2017), Optimized Processing Parameters in Post-Harvest Treatments of Algerian Dry Dates using Hot Water and Hot Vapor Successive Operations. *Journal of Food Process Engineering*, 40: e12459. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12459>
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Boubekri A., Benmoussa H., Courtois F., & Bonazzi C., 2010. Softening of Overdried 'Deglet Nour' Dates to Obtain High-Standard Fruits: Impact of Rehydration and Drying Processes on Quality Criteria. *Drying Technology*, 28, 222–231.
- Entezari, M. H., Hagh Nazary, S., & Haddad Khodaparast, M. H. (2004). The direct effect of ultrasound on the extraction of date syrup and its micro-organisms. *Ultrasonics Sonochemistry*, 11(6), 379-384. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2003.10.005>
- Eshraghi, A., Maqsoodlou, Y., Kashaninejad, M., Biraqi Toosi, Sh., & Alami, M. 2012. Investigating the effect of ultrasound pretreatment on the drying of kiwifruit leaves. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 7(4), 273-279, (In Persian).
- FAO (2022). Crops and livestock products. Available on <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL> and <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Keramat Jahromi, M., Rafiee, S., Jafari, A., Ghasemi, M., Mirasheh, R., Mohtasebi, S. 2008. Some physical properties of date fruit (cv. Dairi). *International Agrophysiology.*, 22(3), 221-224.
- Li, J., Hussain, I., Azam, M.; Khan, M.A., Akram, M.T., Naveed, K.; Asif, M., Anjum, N.; Zeng, J., Zhang, J. 2023. HotWater Treatment Improves Date Drying and Maintains Phytochemicals and Fruit Quality Characteristics of Date Palm (*Phoenix dactylifera*). *Foods*, 12, 2405. <https://doi.org/10.3390/foods12122405>
- Mehryar E., Sadeghi M., Razavi SJ., & Forghani E. 2015. Qualitative Indices of Istamaran Date Variety Affected by Various Drying Methods. *Journal of Crop Production and Processing*, 16 (5), 305-313, (In Persian).
- Mohammed, M., Alqahtani, N. K., & Ali, S. A. (2024). Development, RSM-based modeling, and process optimization of an ultrasonic coating system for extending the storage life of fresh fruits. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1403164. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1403164>
- Mostaan A., Latif al-Tajjar S., & Madrasi F. 2012. Effects of steaming on textural properties of dates paste (Etamaran cultivar). *The 8th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) and Mechanization*, Ferdowsi University of Mashhad: 6 p, (In Persian).
- Mostaan A., Latifian M., Tarahi A., Amani M., Mohibi AA., & Ali Hourri M. 2016. Technical guide for planting, growing and harvesting dates. *Publication of Agricultural Education*, 282 p, (In Persian).
- Mousavi A. & Hojjati M. 2010. Investigation on the quality characteristics, energy content and mineral elements of four commercial date varieties of Khuzestan province: 7 p. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 8(1), 31-37. SID. <https://sid.ir/paper/71939/en> (In Persian).
- Rakesh Reddy, S.V., Singh, R.S., Meena, R., Berwal, M.K.; Sarolia, D.K., Palpandian, P. 2023 Impact of Hot Water Pre-Treatments on the Drying Efficiency and Quality of Dates cv. Medjool. *Horticulturae*, 9, 784. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070784>
- Rygg, L. G., 1975. *Data Development, Handling, and packing in the united state*. Agricultural Research Service, United state Department of Agriculture , 61p.



The effect of temperature, time and the use of ultrasonic waves on the process of Dairi dates hydration in Khuzestan

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Dates are one of Iran's major horticultural crops being exported all over the world. Dairi is considered a very popular dry date variety Khuzestan province. In addition to domestic consumption, Dairi also has its own fans abroad. So far, over 500,000 seedlings of commercial dairi cultivars have been produced and distributed among the country's palm-growing provinces. The Dairi dates are easily transported due to the dry texture of the fruit. On the other hand, increasing the hardness of its tissue during storage is the first problem of the processing industries. Regarding the high volume of date production in Khuzestan and the need for investigation the methods affecting preservation and improvement of its quality, the effect of hydration process on the quality of Dairi date fruits was studied.

Materials and Methods:

The study was carried out at Shahid Chmaran university of Ahvaz. Dairi Palm samples, uniform in appearance and weight, were purchased from a local palm grove. After separating the damaged fruits, healthy fruits were divided into 25 fruit packs. The hydration applied with a water bath at five temperature levels (30, 40, 50, 60 and 70 degrees Celsius), five soaking durations (40, 55, 70, 85, and 100 minutes) and two condition of ultrasonic waves (ie, with and without ultrasonic). Fruits without undergoing moisturizing process were considered as control. The dependent qualitative parameters measured in this study were moisture content, color, fruit texture, and sugar content. In ultrasonic assisted hydration, date fruit samples were weighed then placed inside the ultrasonic bath containing distilled water at the desired temperature under a constant ultrasonic wave frequency of 28 kHz. Whenever each treatment's time period elapsed, the samples were removed from the machine, their surface water was taken off using a filter paper, then their qualitative parameters were measured. For samples under the hydration process without ultrasonic waves, this process was the same but the ultrasonic wave generator was off. To calculate the percentage of weight gain of fruits from each treatment, 10 fruits were randomly selected, their initial pre-treatment weight (w_i) and final post-treatment weight (w_f) were determined. The color of the fruit was determined using the HunterLab color meter (Konica MINOLTA, INC). Color attributes include three indicators L, a, and b. For texture analysis, the TPA test was conducted using QTS Farnell25 texture analyzer. Total and inverted sugar of the samples determined according to the fehling test. Response surface method (RSM) with central composite design (CCD) was used to investigate the effect of independent variables (namely temperature (A), time (B), ultrasound (C)) on the above mentioned dependent qualitative variables of Dairi fruits.

Results and Discussion:

The results showed that the proposed regression models were significant in determining the effect of hydration on moisture content, reduced and total sugar, color indicators L, E, hardness, chewiness, gumminess and springiness of the treated samples. study showed that the effect of hydration with ultrasound on moisture content and reduced sugar content of the samples was 7.47 percent and 1.34 timest more than the corresponding amount in hydration without ultrasound, which showed the greater effect of ultrasound on the samples. According to the results, the effect of temperature and time levels applied in the current study (and not necessarily all possible temperature and time duration) on other qualitative traits such as color indicators a, b significant difference (at the level of 5 percent) were not observed. Based on the optimization, the temperature level of 40 degrees Celsius and the time of 85 minutes with the application of ultrasound can be stated as the optimal conditions for the hydration process of the Dairi date fruits under test. The use of ultrasonic waves, despite the effect on some traits, should also be economically justified.

Conclusion:

This study showed that water temperature level of 40 degrees Celsius and the time duration of 85 minutes along with applying ultrasonic waves can be considered as an optimal set point. Although ultrasonic application was effective on some traits, the cost of the equipment and economy should be considered for its use.