

مدل‌سازی تغییرات رنگی طی خشک‌کردن انگور پیش‌تیمارشده با فراصوت و کربوکسی‌متیل سلولز و بررسی ویژگی‌های حسی آن

منور طهماسبی پور^۱، جلال دهقان‌نیا^{۲*}، سیدصادق سیدلو هریس^۳، بابک قنبرزاده^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳. استادیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: 92/9/10، تاریخ پذیرش: 92/9/27)

چکیده

تغییر پارامترهای رنگی شامل میزان روشنایی (L)، قرمزی (a) و زردی (b) حین فرایند خشک‌شدن انگور پیش‌تیمارشده با فراصوت در سه زمان 10، 20 و 30 دقیقه و کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) در سه غلظت 0/1، 0/2 و 0/3 درصد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که با کاهش محتوای رطوبت در طول خشک‌شدن، میزان L و b نمونه‌ها کاهش و میزان a افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که استفاده از دو پیش‌تیمار فراصوت و CMC، باعث بهبود شاخص‌های رنگی (تغییر رنگ کلی، شاخص کروما، زاویه هیو و اندیس قهوه‌ای‌شدن) نمونه‌ها در مقایسه با تیمار کنترل می‌شود. مدل‌سازی تغییرات پارامترهای رنگی نمونه‌ها طی خشک‌شدن نیز، توسط مدل‌های موجود در منابع و مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش صورت گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نیز، نشان‌دهنده بهبود شکل ظاهری، رنگ و حالت کلی نمونه‌های پیش‌تیمارشده با فراصوت و CMC بود.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کردن، فراصوت، رنگ، مدل‌سازی، ارزیابی حسی.

* مسئول مکاتبات: J_dehghannya@tabrizu.ac.ir

1- مقدمه

تعاریف و فرمول‌های ریاضی آنها حائز اهمیت است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود [6].
تغییر رنگ کلی¹: میزان تغییر رنگ نمونه‌ها یا میزان تیره شدن ماده غذایی را بعد از خشک شدن و در مقایسه با قبل از آن، نشان می‌دهد (معادله 1).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (1)$$

در رابطه فوق، علامت 0 نشانگر پارامترهای رنگی قبل از خشک شدن می‌باشد.
شاخص کروما²: نشان‌دهنده میزان اشباع‌شدگی و یا شدت رنگ است که بر اساس معادله 2 به دست می‌آید.

$$Chroma = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (2)$$

زاویه هیو³: شاخصی از رنگ ماده غذایی است که زاویه 0 و یا 360 درجه، نمایانگر رنگ قرمز و زاویه‌های 90، 180 و 270، به ترتیب نشان‌دهنده رنگ‌های زرد، سبز و آبی می‌باشد (معادله 3).

$$Hue\ Angel = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3)$$

شاخص قهوه‌ای شدن⁴: یکی دیگر از شاخص‌های مورد اندازه‌گیری پارامترهای رنگی است که میزان تغییر رنگ محصول به سمت رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد و از طریق معادله 4 محاسبه می‌شود.

$$BI = \frac{(100 - (x - 0.31))}{0.71} \quad (4)$$

که در آن x برابر است با:

$$x = \frac{a + 1.75L}{5.645L + a - 3.012b} \quad (5)$$

در روابط بالا، ΔE ، Chroma، Hue Angel و BI به ترتیب، تغییر

بر اساس آمار FAO، ایران از نظر میزان تولید انگور، رتبه هفتم جهانی را به خود اختصاص داده است [1]. خشک کردن، یکی از روش‌های رایج برای نگهداری میوه‌ها با هدف افزایش مدت زمان ماندگاری آن‌ها است. متداول‌ترین روش خشک کردن، استفاده از جریان هوای داغ است [2]. این روش، به دلیل استفاده از حرارت‌های بالا در آن ممکن است اثرات مخربی بر روی کیفیت رنگ مواد غذایی خشک شده داشته باشد. به طور معمول، اولین ویژگی کیفی غذا که توسط مصرف کننده مورد توجه قرار می‌گیرد، شکل ظاهری و رنگ آن است. رنگ یکی از جنبه‌های مهم و ظاهری مواد غذایی است که بر روی قابلیت پذیرش آن‌ها توسط مصرف کننده تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین، رنگ‌های غیرطبیعی، به ویژه آن‌هایی که در اثر رشد میکروبها و یا در اثر از بین رفتن کیفیت ماده غذایی در آن ایجاد می‌شوند، قابلیت پذیرش خود را توسط مصرف کنندگان از دست خواهند داد. از این رو تولیدکنندگان مواد غذایی از اثرات روان‌شناسی رنگ، برای بالابردن میزان فروش خود بهره می‌جویند [3].

از سوی دیگر، بسیاری از واکنش‌هایی که هنگام فرایند حرارتی در مواد غذایی اتفاق می‌افتد، می‌تواند بر روی رنگ آن‌ها مؤثر باشد. رایج‌ترین این واکنش‌ها، از بین رفتن رنگ‌دانه‌های موجود در میوه‌ها به ویژه کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها، واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی مایلارد و اکسیداسیون اسید آسکوربیک است. سایر پارامترهایی که بر روی رنگ محصول مؤثرند شامل pH، اسیدیته، دما، زمان فرایند حرارتی و وارسته محصول می‌باشند [3 و 4]. برای بررسی میزان تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های رنگی ماده غذایی طی فرایند خشک شدن، از اصطلاح پارامترها یا شاخص‌های رنگی استفاده می‌شود. این پارامترها شامل میزان روشنایی یا L از رنگ سیاه (0) تا سفید (100)، میزان قرمزی یا a از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و میزان زردی یا b از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشند [5]. پارامترهای دیگری که از پارامترهای رنگی فوق به دست می‌آیند، شامل تغییر رنگ کلی، شاخص کروما، زاویه هیو و اندیس قهوه‌ای شدن است [6]. به منظور پی بردن به اهمیت پارامترهای رنگی فوق، آگاهی از

1. Total Color Difference
2. Chroma Index
3. Hue Angel
4. Browning Index

تقلیل دهد. علاوه بر این، در این پژوهش بیان شده است که میزان قرمزی محصولات کشاورزی خشک‌شده با جریان هوا بیش‌تر از جریان هوا به‌همراه مایکروویو است و میزان ΔE نمونه‌ها نیز در حالت به‌کارگیری مایکروویو کاهش می‌یابد.

کارسل و پرز (2010)، به بررسی اثر پیش‌تیمار اسید سیتریک و دمای نگهداری، بر روی تغییرات رنگی خرمالوی خشک‌شده پرداختند [9]. نتایج این پژوهش نشان داد که پیش‌تیمار اسید سیتریک و دمای پایین انبارداری می‌تواند باعث کاهش تغییر پارامترهای رنگی خرمالوی خشک‌شده شود. در مطالعه‌ای دیگر، باینی و لانگریش (2009)، به بررسی اثر دمای خشک‌کردن، رطوبت نسبی و میزان رسیدگی نمونه‌های موز بر روی تغییرات رنگی آن پرداختند [10]. نتایج حاصله نشان داد که میزان BI با افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی هوا افزایش و با افزایش زمان خشک‌شدن و کاهش محتوای رطوبت حین خشک‌شدن، کاهش می‌یابد. در این پژوهش، سرعت هوا اثری بر تغییر پارامترهای رنگی نداشت و میزان BI در موزهای رسیده بیش‌تر از موزهای نارس بود. ساسیلیک و الیسین (2006) نیز، تأثیر دمای هوا و ضخامت نمونه‌های سیب را بر تغییرات رنگی آن‌ها حین فرایند خشک‌شدن مورد بررسی قرار دادند [11]. نتایج حاصل از این پژوهش، بیانگر افزایش سرعت تغییر در رنگ محصول با افزایش دمای هوا بود؛ در حالی که ضخامت نمونه سیب اثری بر روی میزان تغییرات رنگی آن‌ها نداشت. در این پژوهش، با افزایش زمان خشک‌شدن، پارامتر a افزایش و در مقابل پارامترهای L و b کاهش یافتند. تغییر پارامترهای رنگی، با افزایش دمای هوا، در مطالعات انجام‌شده توسط رسولی و همکاران (2011) و سیدلو و همکاران (2010) نیز دیده شد [12 و 13].

از پیش‌تیمار دیگری که قبل از فرایند خشک‌کردن با جریان هوای داغ و به‌منظور کاهش زمان فرایند، استفاده می‌شود، می‌توان به فراصوت اشاره نمود [14]. فراصوت شکلی از انرژی است که توسط امواج صوتی در فرکانس‌های بالای محدوده شنوایی انسان (بالای 16 کیلوهرتز) تولید می‌شود [15]. این امواج، هنگامی که از ماده غذایی عبور کنند، تغییرات مؤثری را در آن ایجاد می‌کنند. شدت‌های بالای این امواج باعث ایجاد و سپس ترکیدن حباب‌های هوای داخل محیط مایع می‌شوند

رنگ کلی، شاخص کروما، زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای‌شدن می‌باشد.

تغییر مقادیر a ، b و L هنگام خشک‌شدن که در اثر تجزیه رنگ‌دانه‌های موجود در نمونه‌های غذایی اتفاق می‌افتد، می‌تواند باعث افزایش میزان ΔE و BI و در نهایت افت کیفی محصول خشک‌شده شود. بنابراین، به‌منظور تولید محصولی با کیفیت رنگی مناسب، می‌توان از پیش‌تیمارهای مختلف استفاده نمود. امروزه استفاده از تکنولوژی‌های جدید مانند فراصوت، مایکروویو، مادون قرمز و ...، به‌منظور کاهش زمان خشک‌شدن، بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات خشک‌شده و برطرف‌کردن عیوب خشک‌کردن با جریان هوای داغ، به‌طور وسیعی مورد توجه قرار گرفته است.

پهلوان‌زاده و همکاران (2002)، بیان کردند که استفاده از محلول الکلی اتیل‌اولئات، علاوه بر کاهش زمان خشک‌شدن انگور بی‌دانه، میزان L را نیز افزایش می‌دهد [7]. هم‌چنین، در این پژوهش، استفاده از پیش‌تیمار اسمزی نیز، باعث افزایش میزان L نمونه‌های انگور شد. این پژوهش‌گران، رنگ مطلوب کشمش را در میزان L بالا و نسبت کم‌تر a/b آن معرفی کردند. ماسکان (2001) نیز، به بررسی اثر مایکروویو و هوای داغ بر روی پارامترهای رنگی کیوی پرداخت [3]. نتایج حاصل از این پژوهش، نشان داد که مایکروویو بیش‌تر از هوای داغ، پارامترهای رنگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (افزایش a و کاهش L و b). علت این موضوع، به میزان انرژی گرمایی که ماده غذایی در مایکروویو در معرض آن قرار می‌گیرد، مربوط است. به‌طوری‌که این میزان گرما، باعث تجزیه کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها و تشکیل رنگ‌دانه‌های قهوه‌ای و در نهایت بالا رفتن میزان ΔE در نمونه‌ها می‌شود. از سوی دیگر، در این پژوهش، Hue Angel تیمارهای مختلف کاهش یافت و این امر نشان‌دهنده گرایش رنگ نمونه‌های کیوی، به قرمزی داشت. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش عسکری و همکاران (2009)، نیز نشان داد که پارامترهای رنگی می‌توانند تحت تأثیر روش خشک‌شدن قرار گیرند [8]. هوای داغ به‌دلیل زمان طولانی فرایند، بیش‌ترین افت رنگی را در محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند. در حالی‌که، کاربرد هم‌زمان مایکروویو و هوای داغ، به‌دلیل کاهش زمان خشک‌شدن، می‌تواند تغییرات رنگی را

علاوه بر فراصوت، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به‌منظور افزایش کیفیت مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توانند از اکسیداسیون و تغییرات رنگی در شرایط نامناسب جلوگیری کنند [22 و 23]. در این راستا، کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) به‌طور وسیعی برای افزایش عمر انبارداری مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است [24]. علاوه بر این، استفاده از پوشش‌های خوراکی در دهیدراسیون مواد غذایی (به‌همراه محلول اسمزی)، روزبه‌روز در حال افزایش است. به‌عنوان مثال، گارسیا و همکاران (2010)، به بررسی تأثیر پوشش چیتوزان بر روی انتقال جرم میوه پاپایا در هنگام دهیدراسیون اسمزی پرداختند [25]. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مقدار خروج آب در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده نسبت به نمونه‌های بدون پوشش بیشتر است. در پژوهش مشابه دیگری، تأثیر پوشش CMC بر روی دهیدراسیون اسمزی قطعات سیب توسط امام‌جمعه و همکاران (2006)، مورد بررسی قرار گرفت [26]. در این پژوهش، استفاده از پوشش خوراکی CMC، باعث افزایش میزان کارایی دهیدراسیون اسمزی از طریق افزایش آبگیری و کاهش ورود مواد جامد محلول به سیب شد. پرز گیگو و همکاران (2006) نیز، تغییرات رنگی نمونه‌های سیب پوشش‌داده‌شده با پوشش پروتئین آب پنیر - موم را مورد بررسی قرار دادند [27]. نتایج این پژوهش، نشان از کاهش میزان BI در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده، داشت. در پژوهشی دیگر، بالدوین و همکاران (1996) بیان کردند میزان BI در نمونه‌های سیب پوشش‌داده‌شده با CMC، به‌دلیل اثر ممانعتی این پوشش بر اکسیداسیون آنزیمی، در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش، کاهش می‌یابد [28].

علاوه بر پارامترهای رنگی، سایر ویژگی‌های حسی ماده غذایی مانند عطر و طعم، بو، شکل ظاهری و بافت آن در میزان پذیرش محصول خشک‌شده توسط مصرف‌کننده مؤثر است. بنابراین، ارزیابی حسی نمونه‌ها برای رسیدن به هدف فوق ضرورت دارد. چانگرو و همکاران (2008)، مزه و حالت کلی نمونه‌های توت‌فرنگی تیمارشده با محلول اسمزی خشک‌شده در میکروویو را مورد مطالعه قرار دادند [29]. این ارزیابی توسط تست هدونیکی که معیار آن از خیلی خوب تا خیلی بد و بین 10 ارزیاب حسی آموزش دیده بود، انجام شد. نتایج

که به این پدیده کاویتاسیون می‌گویند. ترکیدن غیرمقارن این حباب‌ها در نزدیکی سطح ماده غذایی، باعث انتقال جریان سریع و فورانی از امواج فراصوت به سطح شده و با ایجاد انقباض و انبساط‌های پی‌درپی در آن، باعث تشکیل کانال‌های میکروسکوپی و سهولت خروج آب از داخل محصول در طی خشک‌شدن از طریق کانال‌های ایجادشده می‌شود [4].

مطالعات بسیاری در مورد تأثیر فراصوت بر خشک‌شدن میوه‌های مختلف از جمله تأثیر تلفیق فرایندهای فراصوت و اسمز در حین دهیدراسیون روی ساختار بافتی آناناس [16]، پاپایا [17]، ساپتاس¹ [18] و هم‌چنین اثر فراصوت روی سینتیک خشک‌کردن ورقه‌های موز [19] مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج حاصل از آن‌ها نشان می‌دهد که پیش‌تیمار فراصوت با افزایش قابلیت انتشار آب در طی فرایند خشک‌کردن، باعث کاهش زمان مورد نیاز در این فرایند می‌شود. علاوه بر بررسی اثرات امواج فراصوت بر فرایند خشک‌کردن مواد غذایی (افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت و کاهش زمان خشک‌شدن)، بررسی این فرایند (فراصوت) روی ویژگی‌های کمی و کیفی محصول غذایی از جمله رنگ نیز حائز اهمیت است. دنگ و زائو (2008)، اثر پیش‌تیمارهای اسمز، فراصوت و خلا را بر پارامترهای رنگی نمونه‌های سیب خشک‌شده با استفاده از دو روش خشک‌کن انجمادی و هم‌رفتی، مورد بررسی قرار دادند [20]. نتایج نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار فراصوت قبل از خشک‌کردن انجمادی، باعث افزایش میزان L و کاهش میزان a نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های خشک‌شده با روش هم‌رفتی می‌شود. علاوه بر این، میزان ΔE و BI نیز در اثر استفاده از پیش‌تیمار فراصوت کاهش یافت که علت آن به تغییر شکل و تخریب سلول‌ها در اثر غوطه‌وری با امواج فراصوت، برای خروج راحت‌تر رطوبت از داخل نمونه غذایی ارتباط داده شد که ممانعت از واکنش اکسیداسیون آنزیمی را در پی داشت. تیواری و همکاران (2010)، اثر فراصوت را بر آنتوسیانین‌ها و رنگ آب‌میوه انگور قرمز مورد بررسی قرار دادند [21]. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از فراصوت، می‌تواند باعث حفظ آنتوسیانین‌ها در انگور قرمز شود. علاوه بر این، افزایش زمان و شدت فراصوت، باعث کاهش میزان L انگور قرمز، به‌دلیل تخریب رنگ‌دانه‌های آنتوسیانین‌ها شد.

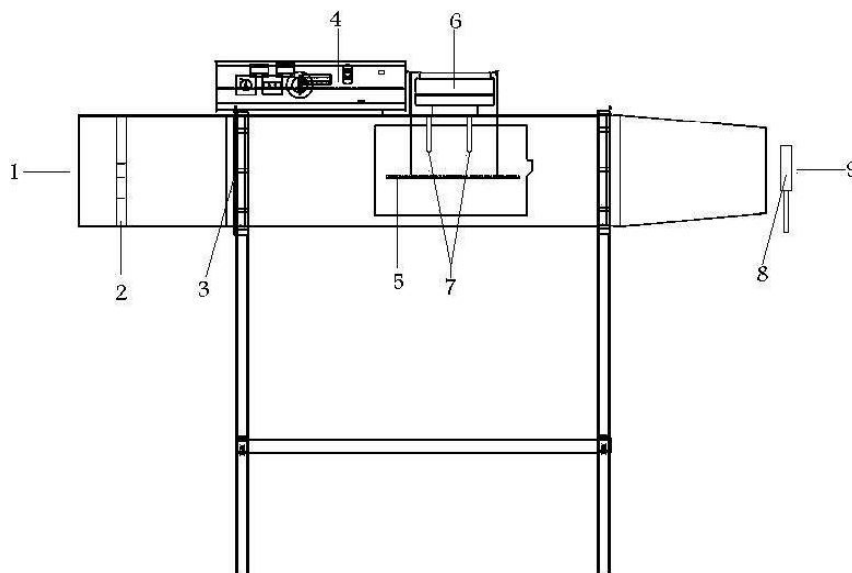
سریع‌تر و آسان‌تر قابل انجام می‌باشد. به‌عنوان مثال، کارسل و پرز (2010) و باینی و لانگریش (2009)، از مدل درجه اول برای پیش‌بینی تغییرات پارامترهای رنگی هنگام خشک‌شدن نمونه‌های خرمالو و موز (به‌ترتیب) استفاده کردند [9 و 10]. با توجه به این‌که بر اساس اطلاعات موجود، تاکنون تأثیر تلفیقی دو پیش‌تیمار فراصوت و CMC، بر پارامترهای رنگی نمونه‌های انگور مورد بررسی قرار نگرفته است، بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر دو پیش‌تیمار مذکور، بر روی پارامترهای رنگی نمونه انگور و مدل‌سازی تغییرات آن توسط مدل‌های موجود در منابع و همچنین ارائه مدل‌های پیشنهادی جدید در این پژوهش بود.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده‌سازی نمونه‌ها و روش انجام آزمایش

انگور بی‌دانه از یک بازار محلی تهیه و تا زمان آزمایش در سردخانه با دمای $3 \pm 1^\circ\text{C}$ نگهداری شد. حدود یک ساعت قبل از شروع آزمایش، نمونه‌ها از سردخانه خارج شدند تا دمای آن‌ها به

حاصله نشان داد که پیش‌تیمار اسمزی، باعث بهبود مزه، حالت کلی و در نهایت بهبود کیفی محصول خشک‌شده می‌شود. از سوی دیگر، پیش‌تیمار اسمزی می‌تواند با اثر بر روی پارامتر ΔE از طرف دیگر، همان‌گونه که ذکر شد، خشک‌کردن محصولات کشاورزی، پدیده پیچیده‌ای است که شامل انتقال جرم و حرارت هم‌زمان می‌باشد، بنابراین، مدل‌سازی رفتار خشک‌شدن این محصولات بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر، دهیدراسیون می‌تواند تغییرات بسیار زیادی را در ویژگی‌های رنگی مواد غذایی، به‌وجود آورد. بنابراین، به‌منظور طراحی تجهیزاتی که کم‌ترین افت را در رنگ ماده غذایی داشته باشد، مدل‌سازی سینتیک تغییرات رنگی محصول غذایی، مورد نیاز است [3]. این مدل‌سازی، با هدف توصیف سرعت واکنش به‌صورت تابعی از متغیرهای آزمایشی و در نهایت پیش‌بینی درست این تغییرات، انجام می‌گیرد. از سوی دیگر، اندازه‌گیری پارامترهای رنگی، می‌تواند به‌عنوان یک روش، برای تعیین تغییرات رنگی غذاها به‌کار رود؛ زیرا نسبت به آنالیزهای شیمیایی، بسیار



شکل (1) شماتیک خشک‌کن مورد استفاده: (1) ورودی هوا، (2) فن، (3) گرم‌کن، (4) تابلو فرمان یا محفظه کنترل‌کننده دما و سرعت، (5) سینی سوراخ‌دار، (6) ترازوی دیجیتال، (7) سنسور رطوبت، (8) سرعت‌سنج دیجیتالی هوا و (9) خروجی هوا

2-4- طرح کلی آزمایش‌ها

پس از روشن نمودن دستگاه خشک‌کن و نیم ساعت کارکرد بدون نمونه‌گذاری، سرعت، دما و رطوبت نسبی آن تنظیم شد. سرعت هوای داخل خشک‌کن بر روی عدد 1/5 متر بر ثانیه و دمای آن بر روی 65°C تثبیت شد. پس از تثبیت دما و سرعت، نمونه‌ها بر روی سه عدد سینی توری به‌صورت لایه نازک چیده شدند. عمل خشک‌کردن نمونه‌های انگور، تا رسیدن به میزان رطوبت 0/33 گرم آب بر گرم ماده خشک (25٪ رطوبت بر اساس مرطوب) در خشک‌کن فوق ادامه یافت. آزمایش‌های خشک‌کردن، در 2 تکرار و 13 تیمار انجام گرفت. جدول 1 تیمارهای مختلف و علائم اختصاری آن‌ها را نشان می‌دهد. محتوای رطوبت نمونه‌های انگور نیز، قبل و بعد از خشک‌شدن، از طریق خشک‌کردن در خشک‌کن هم‌رفتی سینی‌دار در دمای $105 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ، تا رسیدن به وزن ثابت به‌دست آمد [31] و به‌صورت محتوای رطوبت بر حسب گرم آب بر گرم ماده غذایی گزارش شد.

2-5- محاسبه شاخص‌های رنگ

تجزیه و تحلیل رنگ دانه‌های انگور تازه و خشک‌شده، در محتوای رطوبت مختلف، توسط یک دستگاه تشخیص رنگ صورت گرفت [13]. برای محاسبه مقدار پارامترهای رنگی، قبل از شروع خشک‌کردن، در طی آن و در رطوبت‌های مختلف (2/5، 2، 1/5، 0/5 و 0/33 گرم آب بر گرم ماده خشک)، عکس‌برداری از 8 عدد دانه انگور به‌منظور تعیین ویژگی‌های رنگی اولیه و نهایی آن‌ها انجام شد. به‌این ترتیب که در هر آزمایش و پس از رسیدن به محتوای رطوبت مورد نظر، تعداد 8 عدد دانه انگور به‌صورت تصادفی از داخل خشک‌کن خارج و عکس آن در داخل محفظه عکس‌برداری توسط دوربین دیجیتالی (Proline، مدل PR-565S، ساخت انگلیس) گرفته شد. سپس، در محیط نرم‌افزار فتوشاپ، مقادیر L^* ، a^* و b^* به‌دست آمد [5]. میزان ΔE ، Chroma، Hue Angel و BI. نیز از پارامترهای رنگی فوق و به‌ترتیب بر اساس معادلات 1-5 محاسبه شد.

2-6- مدل‌سازی پارامترهای رنگی

جدول 2، مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده برای مدل‌سازی

دمای محیطی برسد. برای بررسی تأثیر فراصوت و پوشش خوراکی، از حمام فراصوت (مدل USD - 4R، ساخت ژاپن، مجهز به سیستم تنظیم فرکانس و زمان اولتراسونیکاسیون) با فرکانس 40 کیلوهرتز و در 3 سطح زمانی 10، 20 و 30 دقیقه و CMC (ساخت شرکت مرک، آلمان) در 3 سطح با غلظت‌های 0/1، 0/2 و 0/3 درصد استفاده شد. قبل از شروع خشک‌کردن، نمونه‌ها در معرض امواج فراصوت با دمای 25 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از گذشت مدت زمان‌های خاص، نمونه‌ها از حمام فراصوت خارج و آب سطحی آن‌ها با کاغذهای جاذب رطوبت گرفته شد. در ادامه، نمونه‌ها با محلول CMC در دمای $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و به مدت 10 ثانیه پوشش‌دهی شده [30] و به یک دستگاه خشک‌کن سینی‌دار طراحی‌شده در مقیاس آزمایشگاهی (مدل UOP 8 Tray dryer, Armfield, UK) مجهز به سیستم ثبت خودکار داده‌ها، واحد کنترل‌کننده دما، سرعت جریان و رطوبت نسبی هوا) منتقل شدند (شکل 1).

2-2- آماده‌سازی محلول پوشش خوراکی

محلول CMC با غلظت‌های 0/1، 0/2 و 0/3 درصد به‌صورت زیر تهیه شد:

ابتدا بشر حاوی مقدار مشخصی آب مقطر، بر روی هیتر قرار گرفته و تا رسیدن به دمای 60-70 درجه سانتی‌گراد گرم شد. سپس، مقدارهای مشخصی از CMC با توجه به هر آزمایش، در چند نوبت و در فواصل زمانی مشخص به محلول فوق اضافه شد و هم‌زمان عمل هم‌زدن توسط مگنت صورت گرفت. پس از حل‌شدن تمام CMC در آب، محلول شفاف به‌دست آمد که تا دمای $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ به‌وسیله حمام آب و یخ خنک گردید [30].

2-3- تجهیزات خشک‌کردن

شکل 1، شماتیک خشک‌کن هم‌رفتی سینی‌دار آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، این خشک‌کن دارای محفظه ورودی (شامل فن یا دمنده و گرم‌کن‌های الکتریکی)، محفظه میانی (شامل قفسه‌های خشک‌کن و خطی‌سازهای جریان هوا)، محفظه خروجی و تابلو فرمان (محفظه کنترل‌کننده دما و سرعت) بود [13].

جدول (1) علائم اختصاری مورد استفاده برای تیمارهای مختلف

ردیف	تیمار	علامت اختصاری
1	فراصوت با زمان 0 دقیقه و CMC با غلظت صفر درصد	Control
2	فراصوت با زمان 10 دقیقه	U10
3	فراصوت با زمان 20 دقیقه	U20
4	فراصوت با زمان 30 دقیقه	U30
5	فراصوت با زمان 10 دقیقه و غلظت 0/1 درصد CMC	U10, CMC 0.1 %
6	فراصوت با زمان 10 دقیقه و غلظت 0/2 درصد CMC	U10, CMC 0.2 %
7	فراصوت با زمان 10 دقیقه و غلظت 0/3 درصد CMC	U10, CMC 0.3 %
8	فراصوت با زمان 20 دقیقه و غلظت 0/1 درصد CMC	U20, CMC 0.1 %
9	فراصوت با زمان 20 دقیقه و غلظت 0/2 درصد CMC	U20, CMC 0.2 %
10	فراصوت با زمان 20 دقیقه و غلظت 0/3 درصد CMC	U20, CMC 0.3 %
11	فراصوت با زمان 30 دقیقه و غلظت 0/1 درصد CMC	U30, CMC 0.1 %
12	فراصوت با زمان 30 دقیقه و غلظت 0/2 درصد CMC	U30, CMC 0.2 %
13	فراصوت با زمان 30 دقیقه و غلظت 0/3 درصد CMC	U30, CMC 0.3 %

جدول (2) مدل های رگرسیونی مورد استفاده برای مدل سازی پارامترهای رنگی

ردیف	نام مدل	فرمول ریاضی	مرجع
1	درجه اول	$C = a_1 t + a_2$	Maskan et al., 2010
2	نمایی	$C = a_1 \exp(-a_2 t)$	Carcel et al., 2010
3	پیشنهادی	$C = a_1 t^2 + a_2 t + a_3$	پژوهش حاضر
4	پیشنهادی	$C = (a_1 t + a_2) \exp(-a_3 t)$	پژوهش حاضر
5	پیشنهادی	$C = a_1 \exp(-a_2 t) + a_3$	پژوهش حاضر

پارامترهای رنگی نمونه های انگور را نشان می دهد. همان طور که در این جدول دیده می شود، انواع مدل های تجربی و پیشنهادی، برای برازش تغییرات رنگی نمونه های انگور در مقابل زمان خشک شدن، مورد استفاده قرار گرفته است. برازش داده های آزمایشی با مدل های فوق و تعیین ضرایب آن ها در نرم افزار Matlab R2011a صورت گرفت. به منظور انتخاب مناسب ترین مدل توصیف کننده تغییر پارامترهای رنگی با افزایش زمان خشک شدن، معیارهای ضریب تبیین¹ (R^2)، مجموع مربعات خطا² (SSE) و ریشه متوسط مربعات خطا³ (RMSE) بین داده های تجربی پارامترهای رنگی و نتایج پیش بینی شده توسط

7-2- ارزیابی حسی

فاکتورهای مورد استفاده در آزمون ارزیابی حسی نمونه های انگور پیش تیمار شده با فراصوت و CMC، شامل شکل ظاهری،

1. Coefficient of Determination
2. Sum Square Error
3. Root Mean Square Error

نشان می‌دهند. با کاهش محتوای رطوبت و افزایش زمان خشک‌شدن، میزان L و b نمونه‌های انگور کاهش و در مقابل میزان a افزایش یافت. علت تغییر پارامترهای رنگی طی خشک‌شدن، تجزیه رنگ‌دانه‌ها و واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی است که در اثر تماس ماده غذایی با هوای داغ اتفاق می‌افتد. این یافته در تطابق با یافته‌های ماسکان [3]، رسولی و همکاران [12] و محمدی و همکاران [33] می‌باشد. علاوه بر این، جدول 3، مقایسه میانگین‌های اثر فراصوت و CMC بر پارامترهای رنگی نهایی a، L، b، ΔE ، Chroma، BI و Hue Angel را نشان می‌دهد. استفاده از پیش تیمارهای فراصوت و CMC، باعث کاهش پارامترهای رنگی فوق (به استثنای Hue Angel) در تیمارهای مختلف و در مقایسه با تیمار کنترل شد. در بررسی اثر فراصوت بر مقادیر L و b تیمارهای مختلف (شکل‌های 2 و 4 (الف) و جدول 3)، افزایش زمان فراصوت از 10 به 30 دقیقه، باعث کاهش مقادیر L و b این تیمارها در مقایسه با تیمار کنترل شده‌است. علت این موضوع، تخریب رنگ‌دانه‌های موجود در نمونه غذایی با افزایش زمان غوطه‌وری

رنگ، عطر و طعم، بو، بافت و ارزیابی کلی آن‌ها بود که بر اساس میزان مقبولیت از خیلی خوب تا خیلی بد و در بین 15 ارزیاب حسی آموزش ندیده به دست آمد.

2-8- طرح آماری آزمایش‌ها

به منظور بررسی اثر فراصوت و CMC بر روی پارامترهای رنگی، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور A (زمان فراصوت) و B (غلظت CMC) و نرم افزار SAS 9.1 برای آنالیز داده‌ها استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش بونفرونی¹ صورت گرفت [32].

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی تغییرات پارامترهای رنگی و مدل‌سازی

مقادیر L، a و b

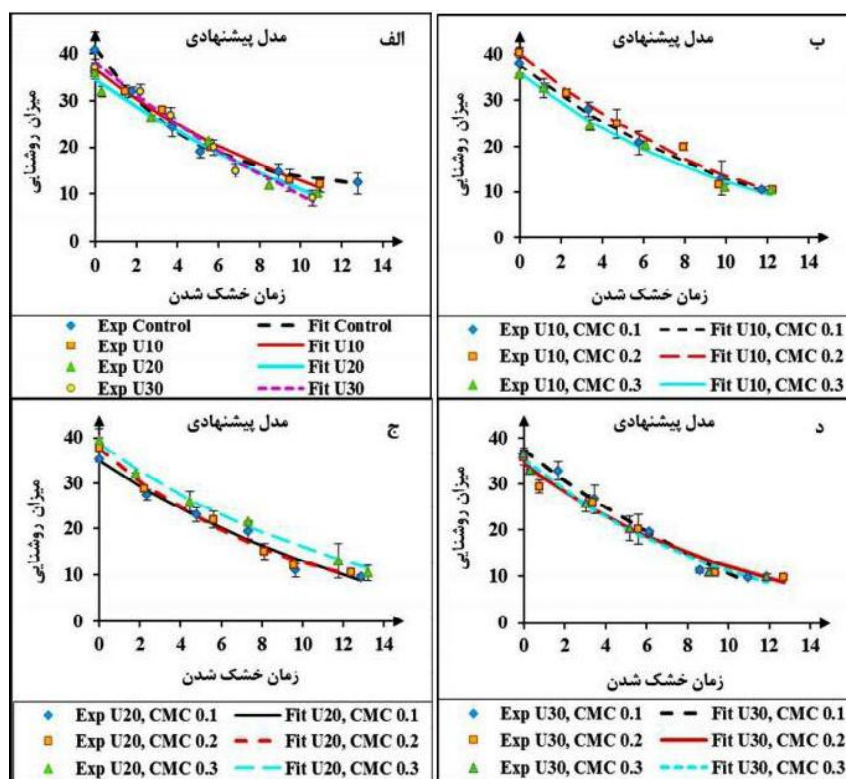
شکل‌های 2، 3 و 4 (الف، ب، ج و د)، تغییر مقادیر L، a و b تیمارهای مختلف را بر اساس جدول 1 طی خشک‌شدن

1. Bonferoni

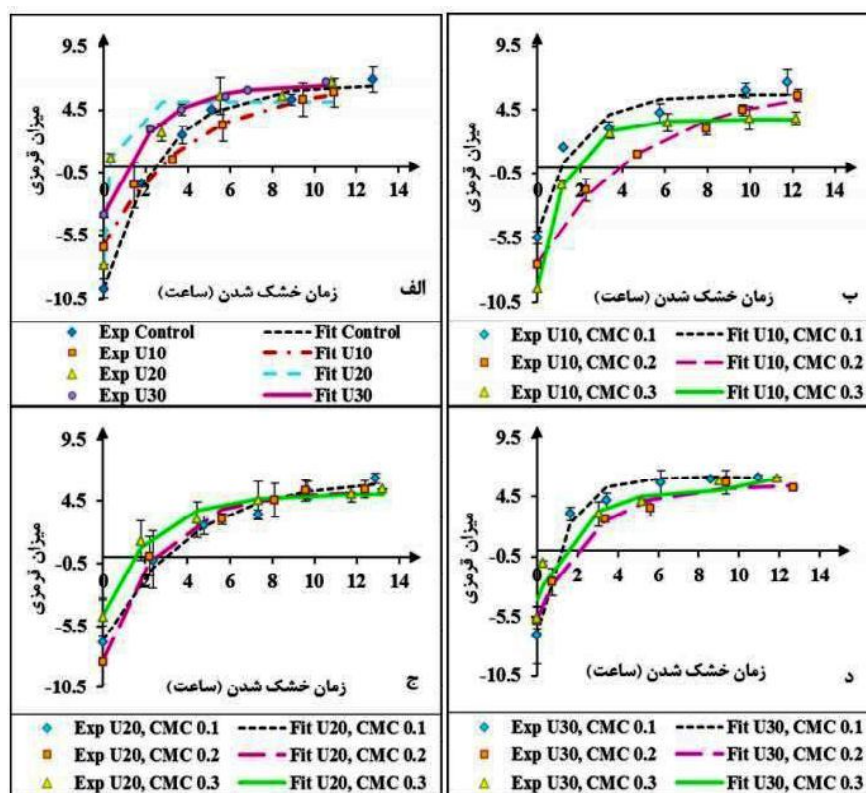
جدول (3) مقایسه میانگین‌های اثر فراصوت و CMC بر شاخص‌های رنگی تیمارهای مختلف بر اساس جدول 1

Hue Angel	BI	Chroma	ΔE	b	a	L	تیمار
66/92 ^b	139/81 ^a	17/53 ^a	43/28 ^a	16/00 ^a	6/88 ^b	12/30 ^a	Control
69/78 ^b	139/41 ^a	17/18 ^a	36/90 ^a	15/45 ^a	5/83 ^b	11/45 ^a	U10
65/69 ^b	139/46 ^a	16/24 ^a	39/81 ^a	14/81 ^a	6/63 ^b	10/13 ^a	U20
66/07 ^b	139/60 ^a	16/12 ^a	38/47 ^a	14/89 ^a	6/61 ^b	9/63 ^a	U30
65/52 ^b	139/63 ^a	16/06 ^a	41/31 ^a	14/60 ^a	6/65 ^b	10/36 ^a	U10, CMC 0.1
69/89 ^{ab}	139/42 ^a	16/36 ^a	44/66 ^a	15/36 ^a	5/62 ^b	10/41 ^a	U10, CMC 0.2
70/81 ^a	139/34 ^a	15/77 ^a	37/94 ^a	15/43 ^a	3/83 ^a	10/43 ^a	U10, CMC 0.3
66/95 ^b	139/13 ^a	16/16 ^a	38/70 ^a	14/86 ^a	6/32 ^b	9/49 ^a	U20, CMC 0.1
69/74 ^b	139/54 ^a	15/82 ^a	42/13 ^a	14/84 ^a	5/47 ^{ab}	10/37 ^a	U20, CMC 0.2
70/21 ^{ab}	139/50 ^a	16/04 ^a	40/63 ^a	15/10 ^a	5/43 ^{ab}	10/42 ^a	U20, CMC 0.3
64/72 ^b	139/75 ^a	14/40 ^a	40/25 ^a	13/02 ^a	6/15 ^b	9/61 ^a	U30, CMC 0.1
68/44 ^b	139/70 ^a	14/28 ^a	38/43 ^a	13/28 ^a	5/25 ^{ab}	9/70 ^a	U30, CMC 0.2
65/59 ^b	139/75 ^a	14/54 ^a	40/87 ^a	13/24 ^a	6/01 ^b	9/79 ^a	U30, CMC 0.3

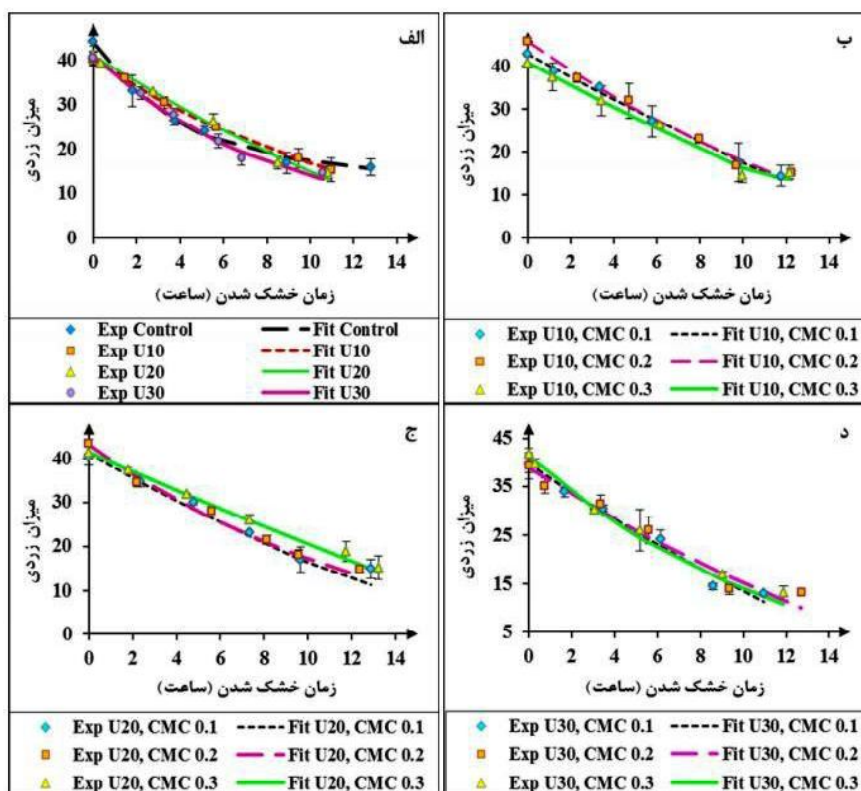
حروف یکسان در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5٪ می‌باشد.



شکل (2) (الف، ب، ج و د) تغییر میزان روشنایی (L) تیمارهای مختلف براساس جدول 1 طی خشک شدن و برآزش آن‌ها با مدل پیشنهادی (مدل 5 جدول 2)



شکل (3) (الف، ب، ج و د) تغییر میزان قرمزی (a) تیمارهای مختلف بر اساس جدول 1 طی خشک شدن و برآزش آن‌ها با مدل پیشنهادی (مدل 5 جدول 2)



شکل (4) (الف، ب، ج و د) تغییر میزان زردی (b) تیمارهای مختلف بر اساس جدول 1 طی خشک‌شدن و برآزش آن‌ها با مدل پیشنهادی (مدل 5 جدول 2)

انگور را در پی دارد؛ اما با توجه به این جدول دیده می‌شود که نمونه‌های تیمار شده با فراصوت، در مقایسه با تیمار کنترل، a کم‌تری را دارا هستند که علت آن نیز تغییر شکل و تخریب سلولی نمونه‌ها در اثر امواج فراصوت، برای خروج راحت‌تر و سریع‌تر رطوبت از داخل نمونه انگور و در نتیجه ممانعت از واکنش‌های اکسیداسیون آنزیمی می‌باشد [20]. اما همان‌گونه که ذکر شد، افزایش زمان غوطه‌وری در امواج فراصوت به علت تخریب رنگ‌دانه‌های موجود در نمونه‌های انگور، افزایش میزان a آن‌ها را در مقایسه با تیمار کنترل در پی داشته‌است [21]. با این حال، اختلاف معنی‌داری بین میزان a این تیمارها در مقایسه با تیمار کنترل وجود نداشت. علاوه‌براین، بررسی اثر تلفیقی دو پیش‌تیمار فراصوت و CMC، بر میزان a تیمارهای مختلف (شکل 3 (ب، ج و د) و جدول 3)، نشان داد که با ثابت در نظر گرفتن زمان فراصوت و افزایش غلظت CMC، میزان a تیمارهای مختلف در مقایسه با تیمار کنترل کاهش می‌یابد و تیمار U10, CMC 0.3% کم‌ترین میزان a را در بین تیمارهای تلفیقی به خود اختصاص داده است که اختلاف معنی‌داری نیز

غوطه‌وری آن‌ها با امواج فراصوت می‌باشد. تیماری و همکاران (2010)، علت تخریب رنگ‌دانه‌های غذایی را قرارگرفتن لایه بین سطحی نمونه غذایی در معرض حباب‌های هوا به مدت طولانی و ایجاد نواحی با دما و فشار بالا در سطح آن، ذکر کرده‌اند [21]. با این وجود، مقادیر L و b این تیمارها، اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری با نمونه کنترل نداشت. علاوه‌براین، در بررسی اثر تلفیقی دو پیش‌تیمار فراصوت و CMC، بر مقادیر L و b تیمارهای مختلف (شکل 2 و 4 (ب، ج و د) و جدول 3) مشخص گردید که با ثابت در نظرگرفتن زمان فراصوت و افزایش غلظت CMC، مقادیر L و b تیمارهای مختلف افزایش می‌یابد که علت آن، افزایش اثر ممانعتی پوشش خوراکی در برابر اکسیداسیون رنگ‌دانه‌های موجود در نمونه‌های انگور است [28]. با این حال، بر طبق جدول 3، اختلاف معنی‌دار بین این تیمارها نیز ملاحظه نشد.

از سوی دیگر، بررسی اثر فراصوت بر میزان a تیمارهای مختلف (شکل 3 (الف) و جدول 3)، نشان داد که افزایش زمان فراصوت از 10 به 30 دقیقه، افزایش میزان a نمونه‌های

و $U10, CMC 0.3\%$ به ترتیب کمترین و بیشترین میزان Hue Angel را به خود اختصاص داده‌اند و از این نظر نیز، اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها وجود دارد. تغییر میزان Hue Angel نمونه‌های انگور در اثر فراصوت و CMC، وابسته به میزان b آن‌ها می‌باشد [3]؛ بدین ترتیب که با افزایش زمان فراصوت به دلیل افزایش تخریب رنگ‌دانه‌های میوه، میزان b و به دنبال آن Hue Angel این تیمارها کاهش می‌یابد؛ هر چند اختلاف آماری بین Hue Angel این تیمارها در مقایسه با تیمار کنترل معنی‌دار نبود. از سوی دیگر، در بررسی اثر تلفیقی دو پیش تیمار فراصوت و CMC، بر Hue Angel تیمارهای مختلف با توجه به جدول 3، ملاحظه می‌شود که با ثابت در نظر گرفتن زمان فراصوت و افزایش غلظت CMC، میزان Hue Angel افزایش می‌یابد و این مسئله به دلیل افزایش اثر ممانعتی در اکسیداسیون رنگ‌دانه‌های موجود در نمونه انگور و نشان‌دهنده افزایش میزان b می‌باشد.

در طرف دیگر، جدول 4 (الف، ب و ج)، پارامترهای آماری مدل‌های مختلف بر اساس جدول 2 را نشان می‌دهد. مدل‌های جدید پیشنهادی به همراه سایر مدل‌های جدول 2، پارامترهای آماری قابل قبولی را به خود اختصاص دادند. در بین مدل‌های جدول 2، تنها مدل 5، با توجه به نتایج حاصل از آنالیز رگرسیونی چندمتغیره و داشتن پارامترهای آماری قابل قبول (میانگین میزان ضریب تبیین مقادیر a, L و b تیمارهای مختلف، به ترتیب $0/97, 0/96$ و $0/97$ می‌باشد)، به عنوان مدل پیشنهادی مناسب، به منظور پیش‌بینی تغییرات دانسیته ظاهری انگور، در نظر گرفته شد. شکل 2، 3 و 4، علاوه بر تأثیر فراصوت و CMC بر میزان پارامترهای رنگی، بر ارزش تیمارهای مختلف را نیز، با مدل پیشنهادی 5 نشان می‌دهد. در پژوهش مشابهی، محمدی و همکاران [33] با استفاده از مدل 2 جدول 2، داده‌های آزمایشی L و b را در خشک کردن کیوی در دماهای 40، 50، 60، 70 و 80 درجه سانتی‌گراد با داشتن ضرایب تبیین بالا (حداقل $0/96$) به خوبی برازش کردند؛ در حالی که داده‌های آزمایشی a با استفاده از این مدل به خوبی برازش نشدند (حداکثر ضریب تبیین: $0/61$) [33]. این نتیجه با یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر نیز هم‌خوانی داشت (مدل 2 جدول 4 (الف، ب و ج)).

با تیمار کنترل دارد. علاوه بر موارد مذکور، با توجه به جدول 3، می‌توان بیان نمود که هر دو پیش تیمار فراصوت و CMC، باعث کاهش میزان ΔE ، BI و کروما در مقایسه با تیمار کنترل شده‌اند که این مطلب نشان‌دهنده تأثیر مطلوب این دو پیش تیمار بر پارامترهای رنگی مورد مطالعه است. این یافته، در تطابق با یافته‌های سایر پژوهش‌گران می‌باشد [20 و 28]. نتایج حاصله از این پژوهش‌ها نشان داد که میزان ΔE و BI نمونه‌های سیب در اثر استفاده از به ترتیب فراصوت و CMC، در مقایسه با نمونه کنترل، کاهش می‌یابد.

همچنین، در بررسی اثر دو پیش تیمار فراصوت و CMC بر روی ΔE تیمارهای مختلف (جدول 3)، ملاحظه شد که تأثیر دو پیش تیمار مذکور بر این پارامتر رنگی، همانند تأثیر آن‌ها بر میزان a تیمارهای مختلف بوده است. بدین ترتیب که میزان ΔE ، با افزایش زمان فراصوت و کاهش غلظت CMC، افزایش می‌یابد؛ اما با این حال، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از این لحاظ، دیده نشد. علاوه بر این، میزان بالای ΔE را می‌توان، به تیرگی نمونه انگور و کاهش میزان L با افزایش زمان فراصوت و کاهش غلظت CMC نیز، نسبت داد. بررسی میزان BI تیمارهای مختلف (جدول 3) نیز نشان از افزایش این پارامتر رنگی با افزایش زمان فراصوت و کاهش غلظت CMC داشت که متناسب با تغییرات مقادیر L, a و b تیمارهای مختلف در اثر دو پیش تیمار مذکور است. با این وجود بین مقادیر BI تیمارهای مختلف، اختلاف معنی‌داری ملاحظه نشد. شاخص رنگی دیگری که در جدول 3 نیز آمده است، Chroma می‌باشد که میزان اشباعیت رنگی را در نمونه‌های انگور نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، ملاحظه می‌شود که تیمار کنترل، بالاترین میزان Chroma را در بین تیمارهای مختلف به خود اختصاص داده است. علاوه بر این، این جدول نشان می‌دهد که افزایش زمان فراصوت و کاهش غلظت CMC، باعث کاهش این شاخص رنگی شده است. تغییرات Chroma نیز همانند میزان BI، بر اساس تغییرات ایجاد شده در مقادیر L, a و b تیمارهای مختلف در اثر دو پیش تیمار فراصوت و CMC بود.

علاوه بر موارد فوق، در جدول 3، ملاحظه می‌شود که میزان Hue Angel تیمارهای مختلف در مقایسه با تیمار کنترل، افزایش یافته است. به گونه‌ای که تیمار کنترل

جدول (4) الف- پارامترهای آماری مدل‌های مختلف بر اساس جدول 2 برای تیمار کنترل

غلظت 0 درصد CMC										
b			a			L			مدل	
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	فراصوت	
4/27	73/21	0/86	3/67	54/15	0/70	4/67	87/48	0/85	0	1
2/62	27/57	0/94	5/06	102/6	0/44	2/34	22/07	0/99	0	2
2/32	16/14	0/97	1/89	10/76	0/94	1/18	4/23	0/99	0	3
3/03	27/57	0/94	0/97	2/84	0/98	2/75	22/68	0/96	0	4
1/31	5/17	0/99	0/52	0/83	0/99	0/89	2/39	0/99	0	5

5، به صورت تابعی از زمان فراصوت، با در نظر گرفتن غلظت CMC، به دست آمده و به عنوان مدل پیشنهادی مناسب برای توصیف پارامترهای رنگی حین خشک شدن انگور معرفی شد (معادلات 6 تا 14 و جدول 5). جدول 6، مقادیر پارامترهای رنگی پیش‌بینی شده (a، b و L) توسط مدل پیشنهادی و مقادیر آزمایشی را در زمان‌های مختلف فراصوت نشان می‌دهد.

الف- ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 پارامتر L حاصل از آنالیز رگرسیونی

$$a_1 = 0.038 \times ULT^2 - 1.254 \times ULT + 55.782 \quad (6)$$

$$a_2 = 0.000006 \times ULT^2 - 0.0002 \times ULT + 0.078 \quad (7)$$

$$a_3 = -0.030 \times ULT^2 + 0.847 \times ULT - 14.34 \quad (8)$$

ب- ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 پارامتر a حاصل از آنالیز رگرسیونی

$$a_1 = 0.005 \times ULT^2 - 0.143 \times ULT - 11.49 \quad (9)$$

$$a_2 = -0.006 \times ULT^2 + 0.261 \times ULT + 1.640 \quad (10)$$

$$a_3 = 0.006 \times ULT^2 + 0.273 \times ULT + 8.299 \quad (11)$$

معادله‌های 6 تا 14، به ترتیب ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 را برای پارامترهای رنگی (L، a و b) در مدل پیشنهادی نشان می‌دهند که از آنالیز رگرسیونی چندمتغیره به دست آمده‌اند. این ضرایب وابسته به زمان فراصوت بوده و اثر غلظت CMC بر آن‌ها معنی‌دار نبود. در جدول 5، مقادیر ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 این مدل پیشنهادی برای زمان‌های مختلف فراصوت آمده است. در مورد وابستگی ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 مدل پیشنهادی 5 به زمان فراصوت، باید افزود که چون در آنالیزهای رگرسیونی چندمتغیره انجام شده، اثر هم‌زمان دو پیش‌تیمار فراصوت و CMC بر ضرایب مدل مذکور و سایر مدل‌های جدول 2 معنی‌دار نبود، به همین دلیل، آنالیز رگرسیونی چندمتغیره به منظور پیدا کردن رابطه‌ای ریاضی بین ضرایب مدل‌های مذکور به صورت تابعی از زمان فراصوت و هم‌چنین، در نظر گرفتن غلظت CMC در ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 انجام شد. بدین ترتیب که به عنوان مثال، برای زمان 10 دقیقه فراصوت، از ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 به طور مجزا و در تمام تیمارهایی که در آن‌ها از زمان 10 دقیقه فراصوت استفاده شده بود (تیمارهای 2، 5، 6 و 7 در جدول 1)، میانگین‌گیری شد. در ادامه، با استفاده از این داده‌ها، آنالیز رگرسیونی چندمتغیره بین زمان فراصوت و ضرایب مدل‌ها صورت گرفت و نتایج حاصل از آن نشان داد که تنها، مدل پیشنهادی 5، به طور هم‌زمان وابسته به زمان فراصوت و غلظت CMC می‌باشد. بنابراین، مدل



جدول (4) ب- پارامترهای آماری مدل‌های مختلف بر اساس جدول 2 برای تیمارهای مختلف بر اساس جدول 1 برای غلظت‌های صفر و 0/1 درصد CMC

غلظت 0 درصد CMC										
b			a			L			مدل	
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	فراصوت	
2/47	24/55	0/94	1/77	12/55	1/88	1/79	12/89	0/97	10	1
1/20	5/797	0/99	3/57	51/22	0/64	1/81	13/23	0/97	20	
2/87	33/16	0/93	3/50	49/07	0/49	3/88	60/49	0/88	30	
3/12	39/15	0/91	4/30	74/14	0/32	2/59	26/91	0/94	10	2
1/38	7/64	0/98	5/34	114/4	0/20	1/80	13/02	0/97	20	
1/58	10/03	0/98	4/05	65/91	0/32	1/88	14/13	0/97	30	
2/38	17/04	0/96	0/84	2/13	0/98	1/89	10/71	0/97	10	3
1/08	3/504	0/99	3/22	31/27	0/78	1/80	9/73	0/98	20	
1/60	7/69	0/98	2/17	14/13	0/85	2/04	12/49	0/97	30	
2/77	23/16	0/94	0/64	1/26	0/98	1/88	10/61	0/97	10	4
1/04	3/29	0/99	3	27	0/81	1/83	10/07	0/98	20	
1/82	10/02	0/98	1/71	8/78	0/90	1/19	14/42	0/97	30	
2/88	24/9	0/94	0/56	0/94	0/99	2/09	13/13	0/97	10	5
1/09	3/59	0/99	1/69	8/59	0/94	1/81	9/85	0/98	20	
1/82	9/97	0/98	1/69	8/66	0/91	1/95	11/44	0/97	30	
غلظت 0/1 درصد CMC										
b			a			L			مدل	
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	فراصوت	
0/90	3/29	0/99	2/31	21/4	0/77	1/57	9/89	0/98	10	1
2/51	25/39	0/96	2/12	18/04	0/84	2/15	18/54	0/96	20	
1/62	10/52	0/98	3/53	49/97	0/64	1/86	13/87	0/97	30	
1/70	11/61	0/98	3/22	41/71	0/56	0/87	3/09	0/99	10	2
2/91	34/07	0/94	4/62	85/58	0/25	1/86	13/97	0/97	20	
2/05	16/87	0/97	4/52	82/05	0/41	1/90	14/58	0/97	30	
0/96	2/80	0/99	2/10	13/26	0/86	0/75	1/72	0/99	10	3
2/74	22/58	0/96	1/23	4/53	0/96	1/95	11/51	0/97	20	
1/75	9/28	0/98	2/53	19/22	0/86	1/63	8/04	0/98	30	
0/84	2/15	0/99	1/93	11/28	0/88	0/76	1/77	0/99	10	4
2/41	17/44	0/97	0/90	2/45	0/97	1/97	11/67	0/97	20	
1/75	9/20	0/98	1/73	9/01	0/93	1/31	5/21	0/99	30	
0/97	2/82	0/99	1/76	9/35	0/90	0/77	1/78	0/99	10	5
2/76	22/96	0/96	0/72	1/56	0/98	1/97	11/69	0/97	20	
1/76	9/36	0/98	0/94	2/67	0/98	1/70	8/71	0/98	30	

جدول (4) ج- پارامترهای آماری مدل‌های مختلف بر اساس جدول 2 برای تیمارهای مختلف بر اساس جدول 1 برای غلظت‌های 0/2 و 0/3 درصد CMC

غلظت 0/2 درصد CMC										
b			a			L			مدل فراصوت	
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²		
3/55	50/56	0/93	1/63	10/68	0/90	3/07	37/7	0/94	10	1
3/12	39/15	0/94	2/62	27/65	0/80	2/65	28/28	0/94	20	
2/34	21/94	0/96	2/52	25/52	0/76	2/80	31/37	0/94	30	
4/40	77/51	0/90	3/84	59/23	0/48	3/79	57/48	0/91	10	2
3/49	48/86	0/92	4/53	82/25	0/41	2/96	35/11	0/93	20	
2/51	25/27	0/96	4/46	79/63	0/25	2/06	16/98	0/96	30	
4/04	49/1	0/93	1/08	3/53	0/96	3/54	37/67	0/94	10	3
3/58	38/62	0/94	1/79	9/65	0/93	3/03	27/63	0/94	20	
2/46	18/19	0/97	1/05	3/34	0/96	2/26	15/43	0/97	30	
4/25	54/31	0/93	0/89	2/38	0/97	3/54	37/67	0/94	10	4
3/67	40/41	0/94	1/50	6/77	0/95	3/03	27/61	0/94	20	
2/24	15/15	0/97	0/70	1/48	0/98	2/34	16/42	0/96	30	
4/12	50/98	0/93	0/80	1/95	0/98	3/55	37/82	0/94	10	5
3/58	38/65	0/94	1/31	5/20	0/96	3/03	27/61	0/94	20	
2/49	18/66	0/97	0/54	0/90	0/99	2/36	16/73	0/96	30	
غلظت 0/3 درصد CMC										
b			a			L			مدل فراصوت	
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²		
1/22	6/04	0/99	3/62	52/58	0/59	1/95	15/28	0/97	10	1
1/35	7/35	0/98	2/46	24/23	0/79	1/85	13/72	0/97	20	
2/46	24/22	0/96	3/04	36/96	0/60	2/49	24/84	0/96	30	
1/92	14/86	0/97	3/25	42/24	0/67	1/23	6/06	0/98	10	2
1/57	9/96	0/98	3/42	46/88	0/60	1/02	4/19	0/99	20	
1/56	9/79	0/98	3/68	54/43	0/42	1/32	6/99	0/98	30	
1/32	5/29	0/99	2/629	20/73	0/84	1/26	4/80	0/99	10	3
1/50	6/82	0/98	1/64	8/15	0/93	1/24	4/61	0/99	20	
1/61	7/77	0/99	2/75	22/84	0/75	1/38	5/75	0/99	30	
1/29	5/03	0/99	1/63	8/001	0/93	1/29	4/99	0/99	10	4
1/59	7/66	0/98	1/34	5/43	0/95	1/16	4/10	0/99	20	
1/66	8/27	0/98	2/59	20/17	0/78	1/48	6/60	0/98	30	
1/33	5/34	0/99	0/69	1/44	0/98	1/31	5/20	0/99	10	5
1/50	6/78	0/98	1/08	3/55	0/97	1/13	3/86	0/99	20	
1/71	8/83	0/98	1/10	3/67	0/96	1/50	6/81	0/98	30	

جدول (5) مقادیر عددی ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 مدل پیشنهادی برای a ، L و b حاصل از آنالیز رگرسیونی

b			a			L			فراصوت (دقیقه)
a_3	a_2	a_1	a_3	a_2	a_1	a_3	a_2	a_1	
-59/764	0/043	102/235	6/219	0/341	-12/41	-8/903	0/076	47/066	10
-59/144	0/037	100/842	5/456	1/055	-12/296	-9/530	0/075	46	20
-26/543	0/066	66/725	6/011	0/503	-11/150	-16/222	0/076	52/582	30

CMC (تیمارهای 1، 2، 3 و 4)، در هر حال، امتیاز بالاتری را نسبت به تیمارهای تلفیقی دو پیش تیمار مورد مطالعه، داشتند. ممکن است علت این موضوع، شباهت این نمونه‌ها از لحاظ شکل ظاهری و رنگ، به نمونه‌های کشمش موجود در بازار باشد. علاوه بر این، از نظر شکل ظاهری و رنگ، بین نمونه‌های پیش تیمار شده با تلفیق فراصوت و CMC، به استثنای برخی از تیمارها، اختلاف معنی داری وجود نداشت. از سوی دیگر، استفاده از هر دو پیش تیمار فراصوت و CMC، باعث افزایش امتیاز ارزیاب‌های حسی، به عطر و طعم و بوی نمونه‌های کشمش شد؛ اما بین تیمارهای مختلف از این نظر، اختلاف معنی داری دیده نشد.

همچنین، بررسی اثر فراصوت و CMC بر بافت نمونه‌های کشمش تیمارهای مختلف، نشان داد که افزایش زمان فراصوت، کاهش امتیاز ارزیاب‌های حسی را در پی دارد. علت این موضوع، افزایش میزان چروکیدگی نمونه‌های انگور با افزایش زمان غوطه‌وری در امواج فراصوت، به دلیل تخریب سلولی و تغییر شکل سلول‌ها می‌باشد [34]. از سوی دیگر، مشاهده شد که افزایش غلظت CMC نیز، باعث افزایش امتیاز ارزیاب‌های حسی به بافت تیمارهای مختلف می‌شود. علت این است که چون CMC یک بیوپلیمر آب دوست می‌باشد، می‌تواند با جذب مولکول‌های آب از ماده غذایی و ایجاد فیلم روی سطح آن هنگام خشک شدن، مانع از خروج آب و چروکیدگی محصول و در نهایت احساس دهانی نامطلوب حاصل از آن شود [35 و 36]. در جدول 7، علاوه بر موارد مذکور، حالت کلی (ارزیابی کلی) تیمارهای مختلف نیز نشان داده شده است. با توجه به جدول فوق، مشخص می‌گردد که نمونه‌های پیش تیمار شده با فراصوت در حالت کلی، از دیدگاه ارزیاب‌های حسی مورد قبول

ج- ضرایب a_1 ، a_2 و a_3 پارامتر b حاصل از آنالیز رگرسیونی

$$a_1 = -0.163 \times ULT^2 + 4.769 \times ULT + 70.902 \quad (12)$$

$$a_2 = 0.0002 \times ULT^2 - 0.005 \times ULT + 0.081 \quad (13)$$

$$a_3 = 0.159 \times ULT^2 - 4.735 \times ULT - 28.404 \quad (14)$$

در روابط فوق، ULT زمان فراصوت بر حسب دقیقه است.

2-3- ارزیابی حسی

جدول 7، مقایسه میانگین‌های اثر فراصوت و CMC بر فاکتورهای مورد استفاده در آزمون ارزیابی حسی (شکل ظاهری، رنگ، عطر و طعم، بو، بافت و حالت کلی) تیمارهای مختلف را بر اساس جدول 1 نشان می‌دهد. استفاده از دو پیش تیمار فراصوت و CMC، باعث افزایش امتیاز ارزیاب‌های حسی به فاکتورهای فوق شد. در بررسی اثر پیش تیمار فراصوت بر شکل ظاهری و رنگ تیمارهای مختلف، ملاحظه می‌شود که افزایش زمان فراصوت، باعث افزایش امتیاز ارزیاب‌های حسی به دو فاکتور مذکور گردید. تیمار U30، بالاترین امتیاز ارزیاب‌های حسی را به شکل ظاهری و رنگ، در بین سایر تیمارها به خود اختصاص داد و از این نظر اختلاف معنی داری با تیمار کنترل داشت. از سوی دیگر، در بررسی اثر تلفیقی دو پیش تیمار فراصوت و CMC بر شکل ظاهری و رنگ تیمارهای مختلف، مشاهده شد که با ثابت در نظر گرفتن زمان فراصوت و افزایش غلظت CMC، امتیاز ارزیاب‌های حسی به دو فاکتور مذکور، افزایش می‌یابد. در عین حال و با توجه به جدول 7، تیمارهای بدون

جدول (۶) مقادیر آزمایشی و پیش‌بینی شده توسط مدل پیشنهادی (مدل ۵ جدول ۲) برای a و b

		b				a				L			
	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰
فراسوی (دقیقه)	Exp	Fit	Exp	Fit	Exp	Fit	Exp	Fit	Exp	Fit	Exp	Fit	Exp*
۴۰/۱۸	۴۰/۱۸	۴۱/۲۹	۴۱/۲۸	۴۲/۴۷	۴۰/۱۸	۴۱/۲۹	۴۱/۲۹	۴۱/۲۹	۴۱/۲۹	۴۱/۲۹	۴۱/۲۹	۴۱/۲۹	۴۱/۲۹
۳۱/۱۵	۳۱/۱۵	۳۱/۲۴	۳۱/۲۴	۳۲/۳۵	۳۱/۱۵	۳۱/۲۴	۳۱/۲۴	۳۱/۲۴	۳۱/۲۴	۳۱/۲۴	۳۱/۲۴	۳۱/۲۴	۳۱/۲۴
۲۸/۲۰	۲۸/۲۰	۲۸/۲۹	۲۸/۲۹	۲۹/۳۹	۲۸/۲۰	۲۸/۲۹	۲۸/۲۹	۲۸/۲۹	۲۸/۲۹	۲۸/۲۹	۲۸/۲۹	۲۸/۲۹	۲۸/۲۹
۱۹/۰۳	۱۹/۰۳	۱۹/۱۲	۱۹/۱۲	۲۰/۲۲	۱۹/۰۳	۱۹/۱۲	۱۹/۱۲	۱۹/۱۲	۱۹/۱۲	۱۹/۱۲	۱۹/۱۲	۱۹/۱۲	۱۹/۱۲
۱۸/۹۳	۱۸/۰۰	۱۳/۸۷	۱۷/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۰۰	۱۳/۸۵
۲/۲۱	۱۲/۸۹	۷/۲۸	۱۲/۸۱	۴/۰۳	۱۸/۴۵	۲/۲۱	۱۸/۴۵	۲/۲۱	۱۸/۴۵	۲/۲۱	۱۰/۲۳	۱۰/۲۳	۱۱/۲۴
	۰/۹۸	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	-۰/۹۸	-۰/۹۹	۰/۹۹

فریب آمین

Exp* مقادیر آزمایشی و Fit مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل پیشنهادی (مدل ۵ جدول ۲) است.

جدول (7) مقایسه میانگین‌های اثر فراصوت و CMC بر فاکتورهای مورد استفاده در آزمون ارزیابی حسی تیمارهای مختلف بر اساس جدول 1

فاکتورهای مورد استفاده در آزمون ارزیابی حسی						
تیمار	شکل ظاهری	رنگ	عطر و طعم	بو	بافت	حالت کلی
Control	3/58 ^{bcd}	3/68 ^{abc}	3/50 ^a	3/75 ^a	3/26 ^a	3/10 ^b
U10	3/63 ^{bcd}	3/93 ^{ab}	3/60 ^a	3/88 ^a	3/56 ^a	3/45 ^{ab}
U20	3/96 ^{ab}	3/99 ^{ab}	3/83 ^a	4/01 ^a	3/51 ^a	3/68 ^{ab}
U30	4/21 ^a	4/13 ^a	3/95 ^a	4/10 ^a	3/36 ^a	3/93 ^a
U10, CMC 0.1	3/10 ^{ef}	3/41 ^{bc}	3/82 ^a	4/07 ^a	3/32 ^a	3/27 ^{ab}
U10, CMC 0.2	3/30 ^{def}	3/60 ^{abc}	3/81 ^a	3/92 ^a	3/43 ^a	3/31 ^{ab}
U10, CMC 0.3	3/45 ^{cde}	3/78 ^{abc}	3/92 ^a	3/98 ^a	3/60 ^a	3/45 ^{ab}
U20, CMC 0.1	2/88 ^f	3/30 ^c	3/81 ^a	3/89 ^a	3/30 ^a	3/24 ^b
U20, CMC 0.2	3/25 ^{def}	3/50 ^{bc}	3/79 ^a	3/87 ^a	3/39 ^a	3/31 ^{ab}
U20, CMC 0.3	3/44 ^{cde}	3/61 ^{abc}	3/71 ^a	3/86 ^a	3/53 ^a	3/48 ^{ab}
U30, CMC 0.1	3/49 ^{cde}	3/51 ^{abc}	3/74 ^a	3/98 ^a	3/31 ^a	3/40 ^{ab}
U30, CMC 0.2	3/83 ^{abc}	3/72 ^{abc}	3/76 ^a	4/00 ^a	3/43 ^a	3/53 ^{ab}
U30, CMC 0.3	4/23 ^a	3/90 ^{abc}	3/73 ^a	3/96 ^a	3/60 ^a	3/70 ^{ab}

حروف یکسان در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5٪ می‌باشد.

بوده‌اند و در این مورد نیز تیمار U30، بالاترین امتیاز را در بین سایر تیمارها به خود اختصاص داده است و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار، با تیمار کنترل دارد. علاوه بر این، بررسی اثر تلفیقی دو پیش تیمار فراصوت و CMC، بر حالت کلی تیمارهای مختلف، نشان داد که با ثابت در نظر گرفتن زمان فراصوت و افزایش غلظت CMC، امتیاز ارزیابی‌های حسی به حالت کلی این تیمارها نیز افزایش یافته است؛ اما اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها و تیمار کنترل وجود نداشت.

4- نتیجه‌گیری

پیش تیمارهای فراصوت و CMC، پارامترهای رنگی انگور را در حین خشک شدن تحت تأثیر قرار دادند؛ به طوری که با افزایش زمان فراصوت و کاهش غلظت CMC، مقادیر L و b نمونه‌ها کاهش و در مقابل میزان a آن‌ها افزایش یافت. مدل سازی

convective drying kinetics with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 79, 47-56.

[3] Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying.

منابع

[1] <http://faostat.fao.org/site/339/Default.aspx>.

[2] Hassini, L., Azzouz, S., Peczkalski R., Belghith, A. (2007). Estimation of potato moisture diffusivity from

- Talati, F. T., Moghaddam, M. (2010). Convective drying of apple: Mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12, 171-178.
- [14] Bhaskaracharya, R., Kentish, S., Ashokkumar, M. (2009). Selected applications of ultrasonics in food processing. *Food Engineering Reviews*, 1, 31-49.
- [15] Yildirim, A., Öner, M. D., Bayram, M. (2011). Fitting Fick's model to analyze water diffusion into chickpeas during soaking with ultrasound treatment. *Journal of Food Engineering*, 104, 134-142.
- [16] Fernandes, F. A. N., Linhares Jr. F. E., Rodrigues, S. (2008). Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 1049-1054.
- [17] Rodrigues, S., Oliveira, F. I. P., Gallão, M. I., Fernandes, F. A. N. (2009a). Effect of immersion time in osmosis and ultrasound on papaya cell structure during dehydration. *Drying Technology*, 27, 220-225.
- [18] Rodrigues, S., Gomes, M. C. F., Gallão, M., Fernandes, F. A. N. (2009b). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 665-670.
- [19] Azsoubel, P. M., Baima, M. D. A. M., Amorim, M. D. R., Oliveira, S. S. B. (2010). Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97, 194-198.
- [20] Deng, Y., Zhao, Y. (2008). Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT- Food Science and Technology*, 41, 1575-1585.
- [21] Tiwari, B. K., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P. J., O'Donnell, C. P. (2010). Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 598-604.
- Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.
- [4] Cárcel, J. A., Benedito, J., Rosselló, C., Mulet, A. (2007). Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78, 472-479.
- [5] Guiné, R. P. F., Fernandes R. M. C. (2006). Analysis of the drying kinetics of chestnuts. *Journal of Food Engineering*, 76, 460-467.
- [6] Dadali, G., Demirhan, E., Özbek, B. (2007). Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25, 1713-1723.
- [7] Pahlavanzade, H., Basiri, A., Zarrabi, M. (2002). Grape drying. *Scientia Iranica*, 9, 66-70.
- [8] Askari, G. R., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S. M. (2009). An investigation of the effects of drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hot air/microwave-assisted dehydration. *Drying Technology*, 27, 831-841.
- [9] Carcel, A. J., Perez, G. V. J. (2010). Influence of pretreatment and storage temperature on the evolution of the colour of dried persimmon. *LWT- Food Science and Technology*, 43, 1191-1196.
- [10] Bains, R., Langrish, G. A. T. (2009). Assessment of colour development in dried banana - measurements and implication for modelling. *Journal of Food Engineering*, 93, 177-182.
- [11] Sacilik, K., Elicin, K. A. (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slice. *Journal of Food Engineering*, 73, 281-289.
- [12] Rasouli, M., Ghasemzadeh, H. R., Nalbandi, H. (2011). Convective drying of garlic (<Allium sativum>L.): Part I: Drying kinetics, mathematical modeling and change in color. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1707-1714.
- [13] Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H. R., Hamdami, N.,

- [30] Ghanbarzadeh, B., Almasi H., Entezami, A. A. (2010). Physical properties of edible modified starch/ carboxymethyl cellulose films. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 697-702.
- [31] AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington.
- [32] Steel, R. G. D., Torrie, J. H., Dickey, D. A. (1997). *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. New York: McGraw-Hill.
- [33] Mohammadi, A., Rafiee, S., Emam-Djomeh, Z., Keyhani, A. (2008). Kinetic models for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4 (3), 376-383.
- [34] Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., Witrowa-Rajchert, D. (2012). Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering*, 113, 427-433.
- [35] Annapure, U. S., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R. (1999). Screening of hydrocolloids for reduction in oil uptake of a model deep fat fried product. *Lipid / Fett*, 101, 217-221.
- [36] Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 364-373.
- [22] Carneiro-da-Cunha, M. G., Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Souza, M. P., Teixeira, J. A., Vicente, A. A. (2009). Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. *Journal of Food Engineering*, 95, 379-385.
- [23] Váscquez, M. B., Flores, S. K., Campos, C. A., Alvarado, J., Gerschenson, L. N. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan-tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*, 42, 762-769.
- [24] Dehghannya, J., Emam-Djomeh, Z., Sotudeh-Gharebagh, R., Ngadi, M. (2006). Osmotic dehydration of apple slices with carboxy-methyl cellulose coating. *Drying Technology*, 24, 45-50.
- [25] García, M., Díaz, R., Martínez, Y., Casariego, A. (2010). Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Research International*, 43, 1656-1660.
- [26] Emam-Djomeh, Z., Dehghannya, J., Sotudeh Gharabagh, R. (2006). Assessment of osmotic process in combination whit coating on effective diffusivities during drying of apple slice. *Drying Technology*, 24, 1159-1164.
- [27] Perez-Gago, M. B., Serra, M., Del R. M. A. (2006). Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 84-92.
- [28] Baldwin, E. A., Nisperos, M. O., Chen, X., Hagenmaier, R. D. (1996). Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 9, 151-163.
- [29] Changrue, V., Orsat, V., Raghavan, G. S. V. (2008). Osmotically dehydrated microwave- vacuum drying of strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32, 798-816.