



## بررسی تاثیر پوشش خوراکی کیتوزان و شرایط فرایند بر زمان خشک شدن و کیفیت برش های ملون خشک شده با طرح تاگوچی

فاطمه حیدری دلفارد<sup>۱\*</sup>، فاطمه آمیغی<sup>۱</sup>، صدیقه توسلی<sup>۲</sup>، حسین امیرمحمدی<sup>۱</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

۲- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

### چکیده

### اطلاعات مقاله

پوشش های خوراکی لایه ای نازک و قابل خوردن از مواد طبیعی هستند که بر روی سطح میوه ها و سبزیجات قرار می گیرند. هدف از این پوشش ها افزایش ماندگاری و جلوگیری از کاهش کیفیت محصولات می باشد. در این پژوهش، آزمایش های خشک کردن و ارزیابی کیفیت برش های ملون تحت تاثیر پیش تیمار کیتوزان و شرایط فرایند، برای بدست آوردن ویژگی های خشک کردن برش های ملون انجام شد. برش های ملون با ضخامت مختلف (۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ سانتی متر) در محلول های کیتوزان (با غلظت ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد) غوطه ور و سپس توسط آون با هوای گرم در چهار سطح دما (۶۵، ۷۰، ۷۵ و ۸۰ درجه سانتی گراد) خشک شدند. تاثیر متغیرهای مستقل غلظت پوشش، دما و ضخامت برش بر متغیرهای پاسخ زمان خشک کردن، چروکیدگی، نسبت جذب مجدد آب و سفتی بافت با کمک روش تاگوچی بررسی گردید. نتایج نشان داد دمای فرایند و ضخامت برش به ترتیب بیشترین (۶۱/۸۷٪) و کمترین (۱۰٪/۷۲) تاثیر را بر زمان خشک کردن داشتند. نسبت جذب مجدد آب و چروکیدگی برش های خشک شده با افزایش غلظت پوشش و ضخامت برش ها کاهش پیدا کردند؛ در حالی که مقدار این متغیرها با افزایش دما افزایش یافتند. غلظت پوشش و ضخامت برش ها به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را بر این دو فاکتور نشان دادند. افزایش غلظت پیش تیمار کیتوزان باعث افزایش سفتی بافت نمونه ها شد.

### تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۲۶

### کلمات کلیدی:

ملون،

خشک کردن،

پوشش دهی،

کیتوزان.

DOI: 10.22034/FSCT.22.165.150.

\* مسئول مکاتبات:

fatemeh\_heidari@yahoo.com

## ۱-مقدمه

خوراکی دوستدار محیط زیست بوده و با جلوگیری از آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی عمر ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها را افزایش می‌دهند و می‌توانند به عنوان بخشی از محصول مصرف شوند [۶]. پروتئین‌های گیاهی و حیوانی، لیپیدها و پلی‌ساکاریدها رایج‌ترین منابع بیولوژیکی پوشش‌های خوراکی می‌باشند.

کیتوزان یک پلی‌ساکارید با وزن مولکولی بالا است که از اسکلت خارجی میگو بدست می‌آید. این پلیمر به دلیل ویژگی‌های مطلوبی از جمله زیست سازگاری، زیست تخریب‌پذیری و فعالیت ضد میکروبی در پوشش دهی میوه‌ها و سبزی‌ها کاربرد زیادی دارد [۷]. کیتوزان به تنهایی یا همراه با سایر پوشش‌ها برای ایجاد بسته‌بندی خوراکی فعال بر روی میوه‌ها و سبزی‌های مختلف از جمله گوجه فرنگی، آلو، موز و توت فرنگی استفاده شده است [۸]. علاوه بر این کیتوزان با موفقیت به عنوان یک پیش تیمار برای میوه‌ها و سبزی‌های خشک از جمله زردآلو، بلوبری و برگ ریحان استفاده شده است [۹-۱۱].

ملون (*Cantalupensis Group*) میوه‌ای با طول عمر کوتاه بوده و معمولاً به صورت خام مصرف می‌شود. مدت ماندگاری آن، پس از برداشت و نگهداری در شرایط محیطی یا دمای پایین (یخچال) به ترتیب بیش از یک یا دو هفته نمی‌باشد. طول عمر کوتاه این محصول، بازاریابی آن را به طور قابل توجهی دشوار می‌سازد [۱۲]؛ لذا مطالعات بسیاری به منظور افزایش مدت ماندگاری این محصول انجام شده است [۱۳-۱۵].

در بین روش‌های بررسی شده، خشک کردن می‌تواند راه حل بهتری نسبت به روش‌های دیگر مانند استفاده از افزودنی‌های شیمیایی برای افزایش عمر مفید این محصول باشد. ملون خشک شده با داشتن مقدار قابل توجه ترکیبات ضد اکسایند، ویتامین‌ها و مواد معدنی، یک میان وعده سالم محسوب می‌شود. علاوه بر این، رایحه منحصر به فرد و طعم شیرین

حضور میوه و سبزی در رژیم غذایی سالم یک نیاز ضروری است؛ زیرا ارتباط مستقیمی بین مصرف آن‌ها و احتمال ابتلا به بیماری‌های مختلف وجود دارد. این اثرات به ترکیبات زیست فعال موجود در این محصولات نسبت داده می‌شود [۱]. با این حال، به دلیل حساسیت بالای این محصولات به تغییرات شیمیایی و میکروبی، تلاش‌های بسیاری به منظور یافتن فرایندهایی که افزایش عمر مفید این محصولات را تضمین کنند، انجام شده است [۲].

خشک کردن فرایندی است که به طور گسترده برای افزایش عمر ماندگاری از طریق کاهش رطوبت به کار می‌رود و مزایای قابل توجهی مانند غلظت بالای مواد مغذی به دلیل از دست دادن آب، پایداری بیشتر در دمای محیط، جلوگیری از فعالیت میکروارگانیسم‌ها، حفاظت در برابر تجزیه آنزیمی و اکسیداتیو، سهولت حمل و نقل و ذخیره سازی و کاهش ضایعات پس از برداشت ارائه می‌دهد. در طول فرایند خشک کردن، ویژگی‌های کیفی و حسی (شکل، اندازه، رنگ، بافت، عطر و طعم) و ارزش غذایی میوه و سبزی تغییر می‌کند [۳]. تقریباً تمام روش‌های خشک کردن از جمله خشک کردن با هوای گرم، مایکروویو، خشک کردن تحت خلاء، ترکیب روش‌های نامبرده و غیره، باعث از بین رفتن یا تغییر کیفیت محصول نهایی به ویژه برای میوه‌ها و سبزی‌های حساس به حرارت می‌شوند. از این رو به منظور حفظ ترکیبات زیست فعال، توسعه روش‌های پیش تیمار جایگزین الزامی می‌باشد [۴].

مطالعات اخیر نشان داده‌اند اعمال پیش تیمار پوشش خوراکی به چپیس میوه و سبزی، قبل از فرایند خشک کردن، با تشکیل یک لایه نازک بر روی سطح غذا که مانند یک سد انتخابی در برابر رطوبت، دی اکسید کربن و اکسیژن عمل می‌کند، ارزش تغذیه‌ای و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصولات خشک شده را بهبود می‌بخشد [۵]. پوشش‌های

آن موجب افزایش بازارپسندی و پذیرش مصرف کنندگان می‌گردد. خشک کردن ملون توسط تعداد کمی از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۶-۱۸].

در سال های اخیر، پژوهش‌ها بر روی ملون عمدتاً بر ویژگی‌های بافت (ارزیابی فیزیکی، شیمیایی و حسی) متمرکز شده است. بررسی زمان و سرعت خشک کردن برای بهینه‌سازی پارامترهای فرایند، بهبود کیفیت محصول و انتقال حرارت و جرم در فرایند خشک کردن بسیار مفید است [۱۹]. تجزیه و تحلیل تاگوچی یک ابزار جهانی برای بدست آوردن پارامترهای بهینه فرایند تولید محصول است. همچنین می‌تواند به منظور بررسی اثرات متغیرهای تجربی، مدلسازی و تجزیه و تحلیل فرایند بهینه سازی به کار رود [۲۰ و ۲۱]. بنابراین هدف این مقاله مطالعه زمان خشک کردن و ویژگی‌های فیزیکی ملون خشک شده تحت تاثیر دما، غلظت پوشش و ضخامت برش‌های ملون و همچنین تعیین پارامترهای بهینه فرایند خشک کردن تعیین گردید.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱. مواد اولیه

ملون از بازار محلی جیرفت و مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش، از شرکت‌های مرک و سیگما خریداری شدند.

### ۲-۲. محلول کیتوزان

برای تهیه محلول کیتوزان با غلظت‌های مختلف (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد)، پودر کیتوزان در محلول اسیداستیک ۱ درصد حجمی/حجمی توسط همزن مغناطیسی با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۴ ساعت حل گردید. سپس محلول‌های حاصل از فیلتر سرنگی ۰/۴۵ میکرومتر به منظور حذف ناخالصی عبور داده شدند.

### ۲-۳. پوشش دهی و خشک کردن

ابتدا میوه ملون با استفاده از دستگاه برش زن میوه به ضخامت‌های مختلف برش و سپس برش‌های ملون به مدت ۱ دقیقه در محلول‌های کیتوزان غوطه‌ور شدند. برش‌ها بعد از پوشش دهی، بر روی سطح توری در خشک‌کن هوای داغ، در دماهای مختلف طبق جدول ۱ خشک شدند. تغییرات وزن نمونه‌ها هر ۵ دقیقه توسط ترازوی دیجیتال با دقت  $\pm 0.1$  گرم ثبت گردید. میزان کاهش وزن با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۲۲]:

$$WR = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100$$

$WR$ : درصد کاهش وزن

$M_0$ : وزن اولیه نمونه (g)

$M_t$ : وزن نمونه (g) بعد از زمان t

**Table 1.** Experimental design performed by Taguchi.

| Treatment | Variable | Concentration of coating (%) | Temperature (°C) | Slice thickness (cm) |
|-----------|----------|------------------------------|------------------|----------------------|
| 1         |          | 0.5                          | 65               | 0.5                  |
| 2         |          | 0.5                          | 70               | 0.75                 |
| 3         |          | 0.5                          | 75               | 1                    |
| 4         |          | 0.5                          | 80               | 1.25                 |
| 5         |          | 1                            | 65               | 0.75                 |
| 6         |          | 1                            | 70               | 0.5                  |
| 7         |          | 1                            | 75               | 1.25                 |
| 8         |          | 1                            | 80               | 1                    |
| 9         |          | 1.5                          | 65               | 1                    |
| 10        |          | 1.5                          | 70               | 1.25                 |

|    |     |    |      |
|----|-----|----|------|
| 11 | 1.5 | 75 | 0.5  |
| 12 | 1.5 | 80 | 0.75 |
| 13 | 2   | 65 | 1.25 |
| 14 | 2   | 70 | 1    |
| 15 | 2   | 75 | 0.75 |
| 16 | 2   | 80 | 0.5  |

## ۲-۴. اندازه‌گیری آبرگیری مجدد

سپس، میزان چروکیدگی با تعیین حجم اولیه (نمونه قبل از خشک شدن) و حجم نهایی (نمونه خشک شده) از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$S = \frac{V_0 + V_1}{V_0} \times 100$$

در رابطه بالا  $S$ ،  $V_0$  و  $V_1$  به ترتیب درصد چروکیدگی، حجم ظاهری نمونه اولیه و حجم ظاهری نمونه خشک شده می‌باشد.

## ۲-۶. آزمون بافت

سفتی بافت میوه توسط دستگاه بافت‌سنج (مدل Stable Micro Systems ساخت کشور انگلیس) اندازه‌گیری شد. برای این منظور آزمون نفوذ با استفاده از یک پروب سیلندری با قطر ۲۰ میلی‌متر و سرعت نفوذ ۱ میلی‌متر بر ثانیه تا عمق ۵۰٪، انجام گرفت.

## ۲-۷. آنالیز آماری

در این پژوهش تاثیر متغیرهای مستقل غلظت‌های مختلف پوشش، ضخامت برش‌های ملون و دمای خشک‌کن بر زمان خشک شدن و برخی از ویژگی‌های فیزیکی برش‌های ملون خشک شده مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به کمک روش تاگوچی با نرم افزار Minitab16 طراحی شده و تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها به ترتیب توسط نرم‌افزارهای Origin 2016 و Qualitek 4 انجام گرفت.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱. خشک کردن

اندازه‌گیری آبرگیری مجدد برش‌های ملون خشک شده بر اساس روش توصیف شده توسط دویماز و همکاران (۲۰۱۷) با تغییرات جزئی انجام شد [۲۳]. ۲ گرم نمونه در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای ۲۵ °C به مدت ۳۰۰ دقیقه غوطه ور شدند. پس از طی زمان لازم، نمونه‌ها از آب خارج و رطوبت سطحی اضافی حذف گردید. سپس وزن نمونه‌های هیدراته شده ثبت و قابلیت جذب آب نمونه‌های خشک شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۲۴]:

$$RR = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

$W_1$  و  $W_2$  به ترتیب وزن نمونه‌ها قبل و بعد از آبرگیری است.

## ۲-۵. اندازه‌گیری چروکیدگی

برای اندازه‌گیری چروکیدگی، ابتدا حجم ظاهری نمونه‌ها قبل و پس از خشک شدن با استفاده از روش جابجایی مایع (تولون) طبق رابطه زیر اندازه‌گیری شد [۲۵].

$$V = \frac{M_1 + M_2 - M_3}{\rho}$$

$V$ : حجم ظاهری نمونه ( $m^3$ )

$M_1$ : وزن نمونه (kg)

$M_2$ : وزن پیکنومتر خالی و حلال (kg)

$M_3$ : وزن پیکنومتر محتوی نمونه و حلال (kg)

$\rho$ : دانسیته حلال ( $kg/m^3$ )

چشمگیرتر بوده است. با افزایش دمای هوای خشک کن، آنتالپی هوای خشک کن افزایش پیدا کرده، باعث افزایش انتقال جرم و حرارت و در نتیجه کاهش زمان خشک شدن می شود [۲۶ و ۲۷]. در حالی که با افزایش غلظت پوشش خوراکی مدت زمان خشک شدن افزایش یافت. این افزایش با تغییر غلظت از ۱/۵ به ۲ درصد بیشتر بوده است. با افزایش غلظت پوشش انتقال جرم از قسمت داخلی برش به سطح برش کندتر اتفاق می افتد. همچنین افزایش ضخامت برش - های ملون موجب افزایش مدت زمان خشک شدن گردید. این یافته را می توان به افزایش مقاومت در برابر انتقال رطوبت در ضخامت های بالاتر برش ها نسبت داد [۲۸]. با توجه به شکل ۲ مشخص می شود که دما و غلظت پوشش به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را در مدت زمان خشک شدن دارند.

تاثیر دما، غلظت های مختلف پوشش و ضخامت برش ها بر زمان خشک شدن برش های ملون مورد بررسی قرار گرفت. زمان خشک شدن برش ها در محدوده ۱۱۴ تا ۲۳۰ دقیقه اندازه گیری شد (شکل ۱). تیمار شماره ۱۳ با دمای ۶۵ °C، غلظت پوشش ۲ درصد و ضخامت ۱/۲۵ سانتی متر دارای بیشترین مدت زمان خشک شدن بود و تیمار شماره ۱۲ با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد، غلظت پوشش ۱/۵ درصد و ضخامت ۰/۷۵ سانتی متر کمترین مدت زمان خشک شدن را داشت.

شکل ۲ تاثیر سطوح مختلف متغیرهای مستقل را در برش - های ملون نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، با افزایش دما، مدت زمان خشک شدن کاهش پیدا کرد. میزان کاهش مدت زمان خشک شدن از دمای ۶۵ °C به ۷۰ °C

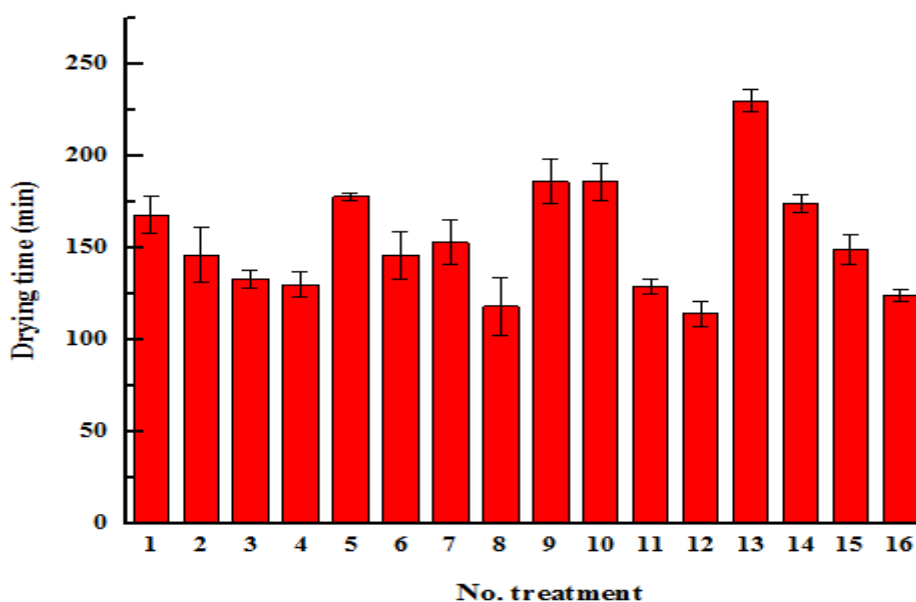
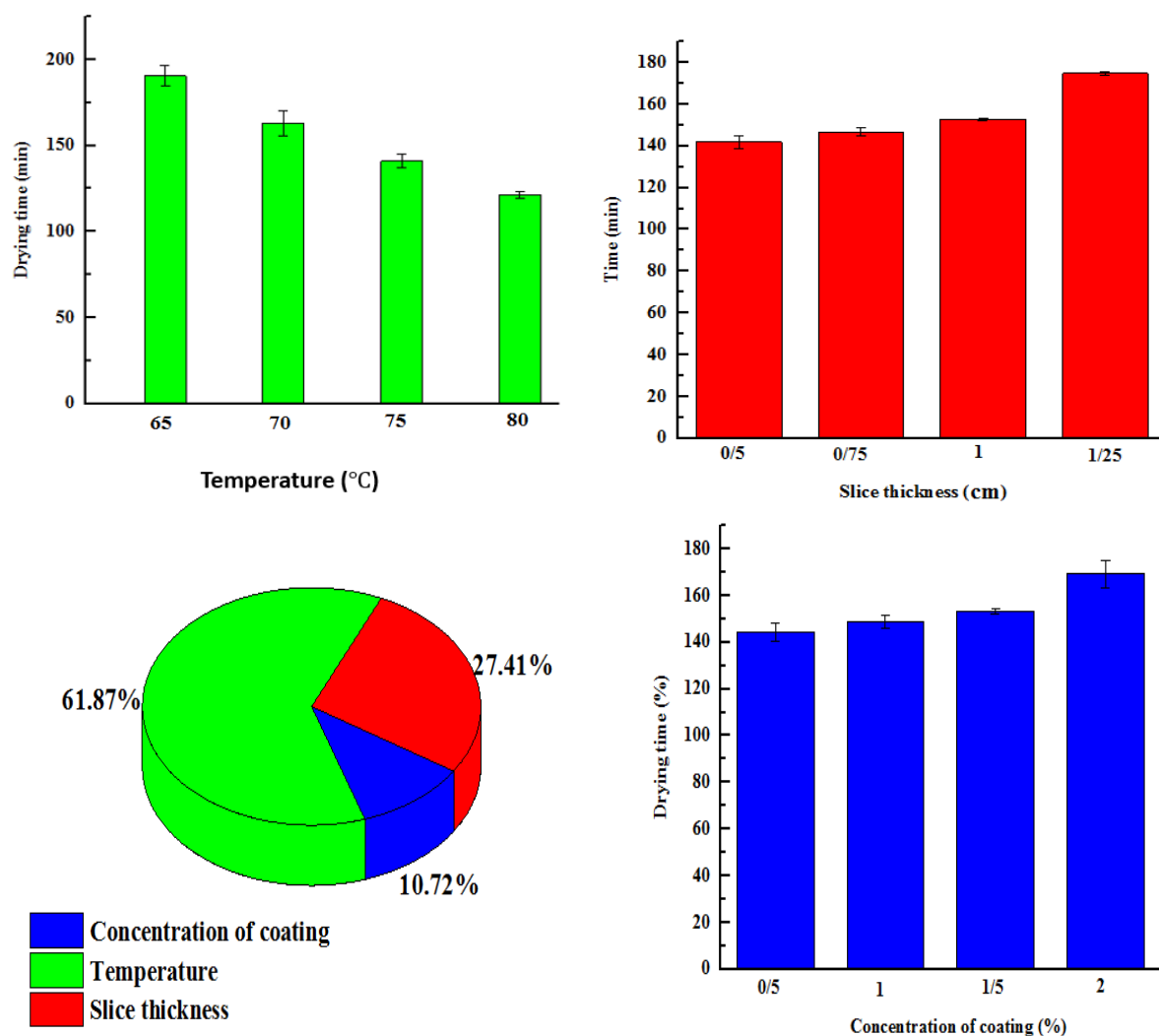


Fig 1. Drying time for different treatments.



**Fig 2.** Effects of different variables and their levels on drying time and Severity index of independent factors on drying time.

سانتی متر کمترین و تیمار ۱ با دمای ۶۵ °C، غلظت پوشش ۰/۵ درصد و ضخامت ۰/۵ سانتی متر بیشترین جذب مجدد آب را داشتند. بررسی نتایج نشان می دهد که تمامی متغیرها بر جذب مجدد آب مؤثر می باشند (جدول ۲). غلظت پوشش نسبت به سایر متغیرها تاثیر بیشتری (۵۸/۶۸۲ درصد) در جذب مجدد آب داشته است. همانطور که در جدول ۲ آورده شده است با افزایش غلظت پوشش، میزان جذب مجدد آب به طور پیوسته کاهش می یابد. جذب مجدد آب بالاتر، توانایی بازجذب سریع تر محصول خشک شده را نشان می دهد. با افزایش غلظت پوشش، نسبت بیشتری از سطح بیرونی برش ها پوشش داده شده که موجب آسیب سلولی

### ۲-۳. نسبت جذب مجدد آب

نسبت جذب مجدد آب، یک ویژگی کیفی است که نشان دهنده تغییرات فیزیکی و شیمیایی در طول خشک کردن می باشد. این ویژگی به عنوان معیاری از آسیب فیزیکی دیواره سلولی و بافت طی خشک شدن در نظر گرفته می شود. این فاکتور در درجه اول به ساختار داخلی محصول و سپس به حجم آسیب وارد شده به ترکیبات نگهدارنده آب در طول خشک شدن بستگی دارد [۱۹].

جذب مجدد آب برش های ملون خشک شده در محدوده ۱/۶۰۹ تا ۶/۴۱۹ گرم / گرم بدست آمد (شکل ۳). تیمار ۱۳ با دمای ۶۵ °C، غلظت پوشش ۲ درصد و ضخامت ۱/۲۵

دمای بالاتر نسبت داد [۲۹]. میزان جذب مجدد آب با کاهش ضخامت برش افزایش یافت. با کاهش ضخامت نسبت سطح به حجم بیشتر شده؛ در نتیجه قابلیت جذب مجدد آب افزایش می‌یابد [۵]. نتایج مشابهی در کارهای تحقیقاتی انجام شده بر برش‌های هویج و به گزارش شده است [۳۰ و ۳۳].

کمتر طی فرایند خشک شدن و در نتیجه جذب مجدد آب پایین‌تر می‌شود [۲۴].

با افزایش دمای فرایند جذب مجدد آب افزایش یافت که این افزایش را می‌توان به فروپاشی بافت و ایجاد سلول‌های آسیب دیده و در نتیجه تمایل بیشتر به جذب رطوبت در

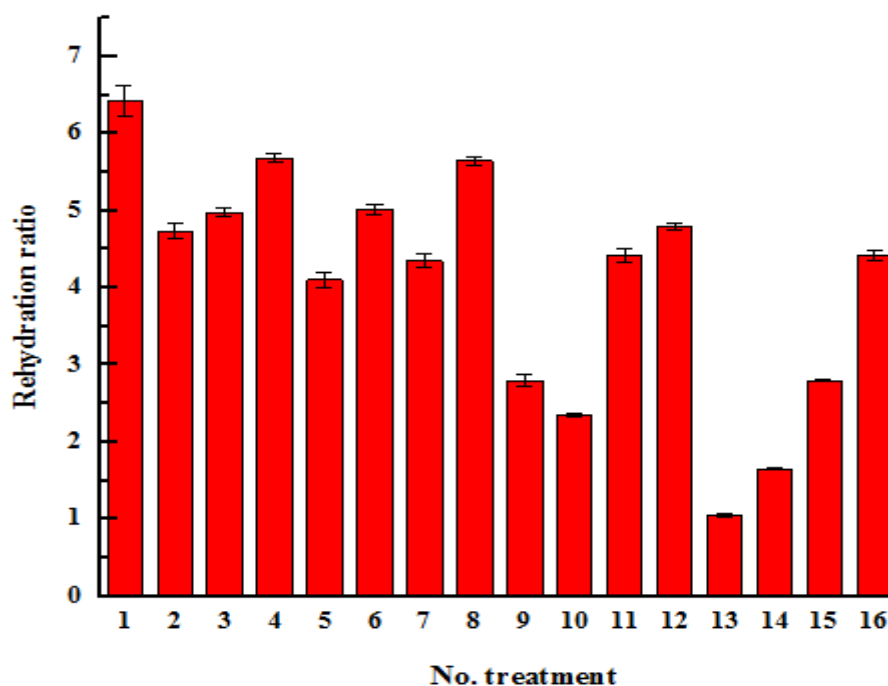


Fig 3. Rehydration ratio for different treatments.

Table 2. Effects of different variables and their levels on Rehydration ratio and Severity index of independent factors on Rehydration ratio.

| Factors                      | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Level 4 | Percent |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Concentration of coating (%) | 5.451   | 4.779   | 3.604   | 2.479   | 58.682  |
| Temperature (°C)             | 3.449   | 3.591   | 4.135   | 5.136   | 21.666  |
| Slice thickness (mm)         | 5.069   | 4.106   | 3.769   | 3.368   | 19.652  |

۰/۵ درصد و ضخامت ۱/۲۵ سانتی‌متر دارای بیشترین درصد چروکیدگی (۹۰٪) بوده است و تیمار ۱۴ با دمای ۷۰ °C، غلظت پوشش ۲ درصد و ضخامت ۱ سانتی‌متر، کمترین درصد چروکیدگی (۷٪) را نشان داده است.

### ۳-۳. چروکیدگی

درصد چروکیدگی را می‌توان به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری تخریب فیزیکی طی فرایند خشک کردن در نظر گرفت. شکل ۴، درصد چروکیدگی تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. تیمار ۴ با داشتن دمای ۸۰ °C، غلظت پوشش

کردن بالاتر و رطوبت کمتر باعث افزایش درصد چروکیدگی می‌شود. افزایش دمای فرایند با افزایش سرعت خشک کردن و کاهش رطوبت محصول موجب افزایش درصد چروکیدگی می‌گردد [۲۴]. نتایج همچنین نشان‌دهنده تاثیر جزئی ضخامت برش بر درصد چروکیدگی می‌باشد. با افزایش ضخامت درصد چروکیدگی افزایش یافت. نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر با نتایج بررسی تاثیر شرایط فرایند و پوشش خوراکی پایایا و به هم راستا بوده است [۳۲ و ۳۳].

همانطور که در جدول ۳ آورده شده است، غلظت پوشش بیشترین تاثیر را بر درصد چروکیدگی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، با افزایش غلظت پوشش، میزان درصد چروکیدگی کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت، پوشش کیتوزان به طور مؤثر برش‌های ملون را از آسیب فیزیکی در طول فرایند خشک کردن محافظت می‌کند.

درصد چروکیدگی به سرعت خشک کردن و میزان رطوبت برش‌ها در مراحل اولیه فرایند بستگی دارد. سرعت خشک

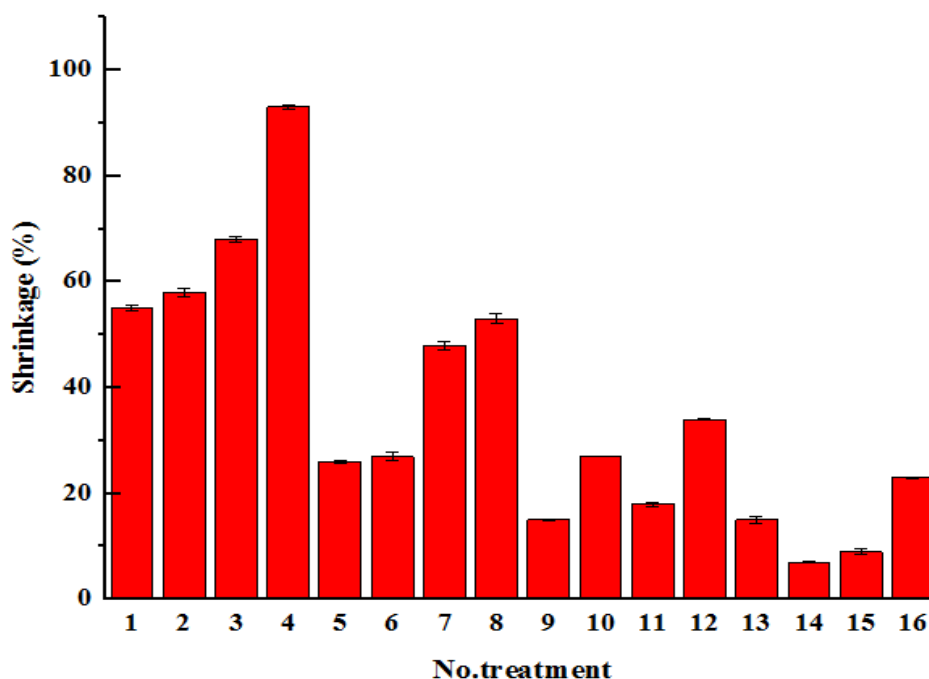


Fig 4. Shrinkage for different treatments.

**Table3.** Effects of different variables and their levels on shrinkage and Severity index of independent factors on shrinkage.

| Factors                      | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Level 4 | Percent |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Concentration of coating (%) | 68.5    | 38.5    | 23.5    | 13.5    | 78.749  |
| Temperature (°C)             | 27.75   | 29.75   | 35.75   | 59.75   | 14.825  |
| Slice thickness (mm)         | 30.70   | 31.75   | 31.75   | 35.75   | 6.426   |

درصد و ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر) و ۱ (دمای °C ۶۵، غلظت پوشش ۰/۵ درصد و ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر) به ترتیب بیشترین و کمترین میزان سفتی بافت را داشتند.

### ۳-۴. بافت

سفتی نمونه‌ها در محدوده ۳ تا ۱۸/۲ نیوتن بدست آمد (شکل ۵). تیمارهای ۱۶ (دمای °C ۸۰، غلظت پوشش ۲



بررسی نتایج نشان می‌دهد تمامی متغیرها در سفتی بافت نمونه مؤثر می‌باشند (جدول ۴). اثر غلظت پوشش و شرایط فرایند بر بافت برش‌های ملون خشک شده در شکل ۵ آورده شده است. افزایش غلظت پوشش منجر به افزایش سفتی نمونه‌های خشک شده گردید. به عبارت دیگر، نمونه‌های پوشش داده شده با غلظت بالاتر کیتوزان نسبت به نمونه‌های پوشش داده شده با غلظت پایین‌تر به انرژی بیشتری نیاز دارند. افزایش قابل توجهی در سفتی نمونه‌های پاپایا و هویج پیش تیمار شده به ترتیب با پوشش‌های نشاسته و صمغ عربی نیز گزارش شده است [۲۴ و ۳۴].

دمای فرایند بیشترین تاثیر (۸۲/۳٪) را بر سفتی نشان داده است. با افزایش دمای خشک شدن سفتی نمونه‌ها افزایش یافت. این نتیجه می‌تواند ناشی از تغییرات ساختاری بافت میوه باشد که در اثر افزایش دما در برش‌های ملون اتفاق افتاده است. افزایش دما با افزایش سرعت خروج آب از نمونه در طول فرایند خشک کردن، منجر به سخت شدن غشاهای درونی نمونه و سفت شدن پوسته و در نهایت سفت شدن بافت می‌شود [۳۵-۳۶]. با افزایش ضخامت برش‌های ملون، سفتی نمونه‌ها افزایش یافت که این تغییر را می‌توان به افزایش ماده جامد محصول در ضخامت برش‌های بالاتر نسبت داد [۲۶].

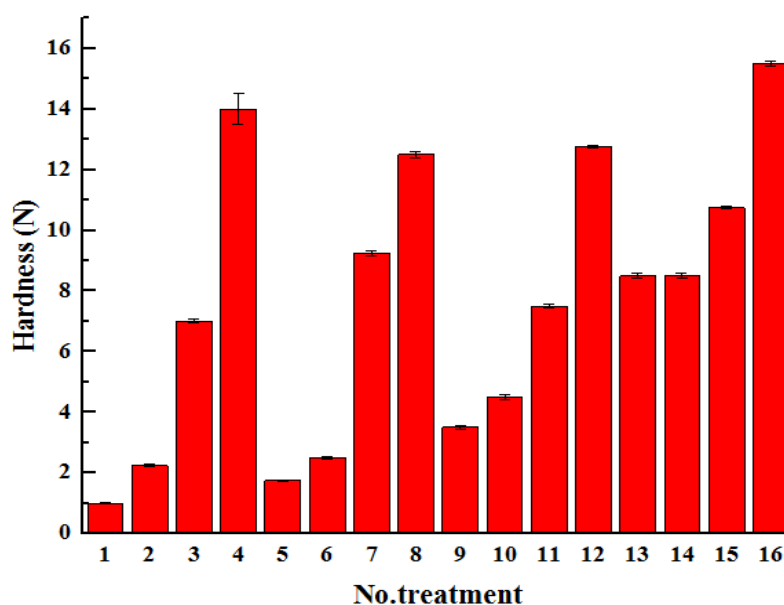


Fig 5. Hardness for different treatments.

**Table 4.** Effects of different variables and their levels on hardness and Severity index of independent factors on hardness

| Factors                      | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Level 4 | Percent |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Concentration of coating (%) | 6.062   | 6.5     | 7.063   | 10.812  | 18.681  |
| Temperature (°C)             | 3.687   | 4.437   | 8.625   | 13.687  | 77.148  |
| Slice thickness (cm)         | 6.625   | 6.875   | 7.875   | 9.062   | 4.171   |

پوشش‌دهی خوراکی میوه‌ها و سبزی‌ها موجب افزایش کیفیت آن‌ها در انتهای فرایند خشک کردن می‌شود. در این

۴- نتیجه‌گیری

غلظت پیش تیمار کیتوزان کاهش پیدا کردند؛ در حالی که سفتی بافت برش‌ها افزایش یافت. افزایش ضخامت برش‌های ملون منجر به افزایش تمام متغیرهای وابسته مورد مطالعه گردید. غلظت کیتوزان بیشترین تاثیر را بر درصد چروکیدگی ( $0.78/0.749$ ) و نسبت جذب مجدد آب ( $0.58/0.682$ ) داشت. تغییرات دمای فرایند بر سفتی بافت برش‌ها ( $0.77/0.148$ ) و مدت زمان خشک کردن ( $0.61/0.875$ ) تاثیرگذارتر بود.

مطالعه تاثیر غلظت پیش تیمار کیتوزان، دمای فرایند و ضخامت برش‌های ملون بر مدت زمان خشک کردن، چروکیدگی، نسبت جذب مجدد آب و سفتی بافت طی خشک کردن برش‌های ملون به روش آون با هوای گرم مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر مستقل ذکر شده بر متغیرهای وابسته مؤثر بودند. افزایش دمای فرایند منجر به کاهش مدت زمان خشک شدن و افزایش درصد چروکیدگی، نسبت جذب مجدد آب و سفتی بافت شد. مدت زمان خشک شدن، درصد چروکیدگی و نسبت جذب مجدد آب با افزایش

#### ۵-منابع

- [1] Reis, F. R., Marques, C., de Moraes, A. C. S., & Masson, M. L. (2022). Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables. *Food Control*, 142, 109254.
- [2] Salehi, F. (2023). Recent advances in the ultrasound-assisted osmotic dehydration of agricultural products: A review. *Food Bioscience*, 51, 102307.
- [3] Malakar, S. (2024). Active edible coating combined with novel pre-treatment technique for drying of foods: Mechanistic insights, enhancing drying performance and product quality. *Food Bioscience*, 104527.
- [4] He, Z., Shen, Q., Wang, L., Fan, X., & Zhuang, Y. (2023). Effects of different drying methods on the physical characteristics and non-volatile taste components of Schizophyllum commune. *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 105632.
- [5] Tepe, T. K. (2024). Effect of pretreatments on drying characteristics, rehydration properties, and total energy consumption of carrot slices: comparison between thin layer mathematical modelling and artificial neural network modelling. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(1), 1373-1387.
- [6] Alam, M., Hossain, M. A., & Sarkar, A. (2020). Effect of edible coating on functional properties and nutritional compounds retention of airdried green banana (*Musa sapientum* L.). *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 14(2), 51-58.
- [7] Tokatlı, K., & Demirdöven, A. (2020). Effects of chitosan edible film coatings on the physicochemical and microbiological qualities of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Scientia Horticulturae*, 259, 108656.
- [9] Zhou, Q., Huang, S., Zou, L., Ren, D., Wu, X., & Xu, D. (2024). Application of hydroxypropyl methylcellulose to improve the wettability of chitosan coating and its preservation performance on tangerine fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263, 130539.
- [10] Kusuma, H. S., Jaya, D. E. C., & Illiyanasafa, N. (2024). Effect of chitosan coating on basil (*Ocimum sanctum*) leaves dried by microwave-assisted drying method: Analysis of color, effective moisture diffusivity, and drying kinetics. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133000.
- [11] Ubeyitogullari, A., & Cekmecelioglu, D. (2016). Optimization of hemicellulose coating as applied to apricot drying and comparison with chitosan coating and sulfite treatment. *Journal of Food Process Engineering*, 39(6), 542-552.
- [12] Liu, W., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Chitrakar, B., & Yu, D. (2021). Effects of chitosan coating on freeze-drying of blueberry enhanced by ultrasound pre-treatment in sodium bicarbonate medium. *International Journal of Biological Macromolecules*, 181, 631-643.
- [13] da Cunha, R. M. C., Brandão, S. C. R., de Medeiros, R. A. B., da Silva Júnior, E. V., da Silva, J. H. F., & Azoubel, P. M. (2020). Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. *Food Chemistry*, 333, 127502.
- [14] Carvalho, R. L., Cabral, M. F., Germano, T. A., de Carvalho, W. M., Brasil, I. M., Gallão, M. I., ... & de Miranda, M. R. A. (2016). Chitosan coating with trans-cinnamaldehyde improves structural integrity and antioxidant metabolism

of fresh-cut melon. *Postharvest Biology and Technology*, 113, 29-39.

[15] Yousuf, B., Srivastava, A. K., & Ahmad, S. (2020). Application of natural fruit extract and hydrocolloid-based coating to retain quality of fresh-cut melon. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3647-3658.

[16] Song, H., Jang, A. R., Lee, S., & Lee, S. Y. (2024). Application of sodium alginate-based edible coating with citric acid to improve the safety and quality of fresh-cut melon (*Cucumis melo* L.) during cold storage. *Food Science and Biotechnology*, 33(7), 1741-1750.

[17] Aktaş, M., Şevik, S., Amini, A., & Khanlari, A. (2016). Analysis of drying of melon in a solar-heat recovery assisted infrared dryer. *Solar Energy*, 137, 500-515.

[18] Chang, A., Zheng, X., Xiao, H., Yao, X., Liu, D., Li, X., & Li, Y. (2022). Short-and medium-wave infrared drying of cantaloupe (*Cucumis melon* L.) slices: Drying kinetics and process parameter optimization. *Processes*, 10(1), 114.

[19] da Cunha, R. M. C., Brandão, S. C. R., de Medeiros, R. A. B., da Silva Júnior, E. V., da Silva, J. H. F., & Azoubel, P. M. (2020). Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. *Food Chemistry*, 333, 127502.

[20] Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Lemus-Mondaca, R., Martinez-Monzó, J., Quispe-Fuentes, I., Puente, L., & Di Scala, K. (2015). Influence of drying temperature on dietary fibre, rehydration properties, texture and microstructure of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2304-2311.

[21] Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2017). Spray drying of folic acid within nano-emulsions: optimization by Taguchi approach. *Drying Technology*, 35(9), 1152-1160.

[22] Heidari, F., Jafari, S. M., Ziaifar, A. M., & Anton, N. (2022). Preparation of pickering emulsions stabilized by modified silica nanoparticles via the Taguchi approach. *Pharmaceutics*, 14(8), 1561.

[23] Satorabi, M., Salehi, F., & Rasouli, M. (2021). Investigation of the effects of coating with xanthan and Balangu seed gums on the drying time of apricot slices in infrared system. *Journal of food science and technology (Iran)*, 18(111), 295-303.

[24] Doymaz, İ. (2017). Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of

convective hot-air drying of carrot slices. *Heat and Mass Transfer*, 53, 25-35.

[25] Islam, M. Z., Saha, T., Monalisa, K., & Hoque, M. M. (2019). Effect of starch edible coating on drying characteristics and antioxidant properties of papaya. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 2951-2960.

[26] Garcia, C. C., Caetano, L. C., de Souza Silva, K., & Mauro, M. A. (2014). Influence of edible coating on the drying and quality of papaya (*Carica papaya*). *Food and bioprocess technology*, 7, 2828-2839.

[27] Sabbaghi, H., Ziaifar, A. M., & Kashaninejad, M. (2020). Textural profile analysis (TPA) of dried apple slices using infrared radiation with intermittent heating method.

[28] Salehi, F., Kashaninejad, M., & Jafarianlari, A. (2017). Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices. *Heat and Mass Transfer*, 53, 1751-1759.

[29] Kaymak-Ertekin, F., & Gedik, A. (2005). Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage. *Journal of Food Engineering*, 68(4), 443-453.

[30] Doymaz, İ. (2017). Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. *Heat and Mass Transfer*, 53, 25-35.

[31] Naghipour Zade Mahani, M., & Aghkhani, M. H. (2016). The effect of slicing type on drying kinetics and quality of dried carrot. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(1), 224-235.

[32] An, N. N., Shang, N., Lv, W. Q., Li, D., Wang, L. J., & Wang, Y. (2022). Effects of carboxymethyl cellulose/pectin coating combined with ultrasound pretreatment before drying on quality of turmeric (*Curcuma longa* L.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 202, 354-365.

[33] Akbarian, M., Moayedi, F., Ghasemkhani, N., & Ghaseminezhad, A. (2014). Impact of antioxidant edible coatings and osmotic dehydration on shrinkage and colour of "Quince" dried by hot air. *International Journal of Biosciences*, 4(1), 27-33.

[34] Udomkun, P., Mahayothee, B., Nagle, M., & Müller, J. (2014). Effects of calcium chloride and calcium lactate applications with osmotic pretreatment on physicochemical aspects and

consumer acceptances of dried papaya. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(4), 1122-1131

[35] Mina, Z. P., Kaseke, T., Fadiji, T., & Fawole, O. A. (2022). Effect of gum Arabic and ethanol pretreatments on drying kinetics and quality attributes of dried carrot slices. *Heliyon*, 8(12).

[36] Li, L., Sun, J., Gao, H., Shen, Y., Li, C., Yi, P., ... & Tang, Y. (2017). Effects of Polysaccharide-Based Edible Coatings on Quality and Antioxidant Enzyme System of Strawberry during Cold Storage. *International Journal of Polymer Science*, 2017(1), 9746174.

[37] Kusuma, H. S., Jaya, D. E. C., & Illiyanasafa, N. (2024). Effect of chitosan coating on basil (*Ocimum sanctum*) leaves dried by microwave-assisted drying method: Analysis of color, effective moisture diffusivity, and drying kinetics. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133000.



## Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: [www.fsct.modares.ir](http://www.fsct.modares.ir)

### Scientific Research

## Investigating the effect of edible chitosan coating and process conditions on drying time and quality of dried melon slices using Taguchi design

Fatemeh Heidari-Dalfard<sup>\*1</sup>, Fatemeh Amighi<sup>1</sup>, Sedighe Tavasoli<sup>2</sup>, Hossein Amirmohammadi<sup>1</sup>

1- Food Science and Technology Department, Faculty of Agriculture, university of Jiroft, Jiroft, Iran

2- Faculty of food science and technology, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 2024/10/1

Accepted: 2025/4/15

#### Keywords:

Melon,

Drying,

Coating,

Chitosan.

**DOI: 10.22034/FSCT.22.165.150.**

\*Corresponding Author E-

[fatemeh\\_heidari@yahoo.com](mailto:fatemeh_heidari@yahoo.com)

### ABSTRACT

Edible coatings are biological materials that can be applied as a thin layer on fresh fruits and vegetables to enhance their quality during the drying process. In this research, we conducted drying tests and evaluated the quality of melon slices under the influence of chitosan pretreatment and process conditions to obtain the drying characteristics of melon slices. Melon slices of varying thicknesses (0.5, 0.75, 1, and 1.25 cm) were immersed in chitosan solutions (at concentrations of 0.5, 1, 1.5, and 2%) and then were dried in a hot air oven at four different temperature levels (65, 70, 75, and 80 °C). Using the Taguchi design, we investigated how the independent variables (coating concentration, temperature, and slice thickness) affected the dependent variables, including drying time, shrinkage, water reabsorption ratio, and texture hardness. The drying results revealed that process temperature had the most significant effect on drying time (61.87%), while slice thickness had the least impact (10.72%). As coating concentration and slice thickness increased, the rehydration ratio and shrinkage of the dried slices decreased, but both increased with rising temperature. Coating concentration had the greatest influence on these two factors, while slice thickness had the smallest. Additionally, increasing the concentration of chitosan pretreatment led to a firmer texture in the samples.