

تولید پودر خرما به روش خشک کردن پاششی و ارزیابی متغیرهای خشک کردن در خواص فیزیکی پودر حاصل

صدیقه مقبلی دامنه^{۱*}، دکتر سید مهدی جعفری^۲، دکتر یحیی مقصودلو^۳

۱- کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

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

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۰)

چکیده

کشت خرما در ایران از سابقه طولانی برخوردار بوده و در حال حاضر یکی از محصولات مهم و استراتژی کشور به حساب می‌آید. با این حال، تولید محصولات جانبی از این محصول پیشرفت چشمگیری نداشته است. یکی از راه‌های استفاده از خرما در صنایع غذایی، جایگزینی آن بجای شکر در فرمولاسیون مواد غذایی است. پودر خرما فرآورده جدیدی از خرما است که قابلیت استفاده در مواد غذایی و انواع نوشیدنی را دارا می‌باشد و از طرفی با تولید پودر خرما، هزینه نگهداری و حمل و نقل آن نیز کاهش می‌یابد. در این پژوهش پودر خرما با افزودن مواد کمک خشک کن (سورفکتانت، پکتین، کنسانتره پروتئینی آب پنیر) به شیره خرما، با استفاده از خشک کن پاششی (در دماهای مختلف خشک کردن)، به دست آمد. طراحی آزمایشات به روش تاگوچی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار کوآلیتک^۱ انجام گرفت. تاثیر متغیرهای مختلف در عملکرد تولید پودر، دانسیته حجمی و رطوبت پودر به دست آمده بررسی گردید. نتایج نشان داد که پکتین با دارا بودن سهم ۳۵ درصدی، بیشترین تاثیر را در بهبود عملکرد تولید پودر داشت، برهمکنش بین سورفکتانت و pH نیز نسبت به سایر متغیرها در بهبود عملکرد موثر است. تیمار ۷ با داشتن ۵ درصد پکتین، ۱۴ درصد کنسانتره پروتئین (که در pH ۵ تشکیل کمپلکس داده بودند) و ۱ درصد سورفکتانت بیشترین عملکرد را (۶۷ درصد) نسبت به سایر تیمارها داشت. افزایش دما باعث کاهش عملکرد، افزایش رطوبت و کاهش دانسیته حجمی پودرهای حاصل گردید.

کلید واژگان: پودر خرما، خشک کردن پاششی، مواد کمک خشک کن، عملکرد تولید پودر، دانسیته حجمی

* مسئول مکاتبات: Sedighe.moghbeli.90@gmail.com

۱- مقدمه

خرما یکی از محصولات بسیار مهم در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که از دوره باستان تاکنون کشت می‌گردد. با وجود قدمت طولانی کشت خرما در ایران، فعالیت‌های در ارتباط با خرما همگام با سایر فعالیت‌های کشاورزی پیشرفت چندانی نکرده و توجه چندانی به آن نشده است. مطالعات نشان می‌دهد که مصرف قند و شکر خطر ابتلا به اضافه وزن و چاقی و بیماری‌هایی مثل چربی خون و فشار خون بالا را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه ارقام مختلف خرما دارای میزان قند قابل توجهی بوده لذا یکی از راه‌های استفاده از خرما در صنایع غذایی، جایگزینی آن بجای شکر در فرمولاسیون مواد غذایی است.

پودر خرما فرآورده جدیدی از خرما است که از خشک کردن و آسیاب کردن میوه خرما یا شیره آن حاصل می‌شود. تولید پودر خرما به دلایل مختلفی از جمله افزایش زمان ماندگاری خرما، کاهش ضایعات، تولید محصولات جدید و افزایش جنبه‌های مختلف استفاده از خرما مورد توجه پژوهشگران و صنایع وابسته در داخل و خارج کشور قرار گرفته است.

پودر خرما به روش‌های مختلفی تولید می‌گردد که اکثریت آن‌ها بر پایه استفاده از خمیر خرما و مخلوط کردن آن با مواد ضد کلوخه‌ای و خشک کردن در آن تحت خلا و در نهایت تولید پودر با استفاده از یک آسیاب می‌باشد. خشک کردن خرما با اکثر روش‌های مورد استفاده مستلزم صرف زمان طولانی و یا عدم دستیابی به کیفیت مطلوب بوده است. یکی از روش‌های تولید پودر، استفاده از روش خشک کردن پاششی است. از مزیت‌های این روش می‌توان به اقتصادی بودن این روش، شرایط بهداشتی فرآیند و کوتاه بودن زمان تماس اشاره کرد [۱]. زمان کوتاه در این فرآیند منجر به تولید پودری با کیفیت بالا می‌گردد و ارزش تغذیه‌ای محصول مورد نظر نیز حفظ می‌گردد.

خشک کردن آب میوه‌هایی مانند خرما به دلیل وجود قندهای با وزن مولکولی پایین مانند فروکتوز، گلوکز، سوکروز و بعضی اسیدهای آلی که دمای انتقال شیشه‌ای پایینی دارند، باعث چسبندگی پودر در حین خشک شدن و کاهش بازده تولید می‌گردد، مشکل می‌باشد [۲]. این مشکل با افزودن برخی پلیمرها مانند کربوهیدرات‌ها (نشاسته و مالتودکسترین)، صمغ‌ها و

پروتئین‌ها و مخلوط این‌ها قبل از اتمیزه کردن به خوراک قابل حل است [۳] این مواد باعث افزایش دمای انتقال شیشه‌ای و کاهش چسبندگی پودر می‌شوند [۴ و ۵]. هم‌چنین این ترکیبات یک مانع فیزیکی بین ذرات ایجاد کرده و مانع چسبندگی آن‌ها به یکدیگر می‌شود و با پودرها برای جذب رطوبت مقابله می‌کند [۲].

مالتودکسترین پلیمری از ساکاریدهای فاقد طعم بوده که با خاصیت تشکیل فیلم به صورت گسترده در صنعت مواد غذایی استفاده می‌شود. دمای انتقال شیشه‌ای بالایی دارد به طوری که دمای انتقال شیشه‌ای آن با توجه به درجه اکسیدان آن متغیر است [۶].

افزودن مقدار زیادی مالتودکسترین باعث تغییر کیفیت و کاهش بازار پسندی پودرهای حاصل می‌گردد. لذا یک راه دیگر برای به حداقل رساندن مشکل چسبندگی این است که خصوصیات سطحی ذرات را با پروتئین تغییر داد. محققین دریافتند که به طور قابل توجهی مقدار کمی از ترکیبات پروتئینی (در مقایسه با سایر ترکیبات مورد استفاده، مالتودکسترین) لازم است تا محصولات غنی از قند به پودر تبدیل شوند. برای مثال تنها ۰/۱۳ درصد کازئینات کلسیم و پروتئین آب پنیر لازم است تا شکر (یک مدل غذایی غنی از قند) به پودر تبدیل شود در حالی که بیش از ۴۰ درصد مالتودکسترین (DE=6) لازم است تا عملکردی مشابه به دست آید [۵] و [۷]. ترکیبات پروتئینی با کاهش کشش سطحی بین ذرات باعث افزایش تولید پودر می‌گردند [۸].

سورفاکتانت‌ها امولسیفایرهایی هستند که از نظر اندازه مولکولی کوچکند، از فعالیت سطحی بالایی برخوردارند [۹] و کشش سطحی را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهند [۱۰]. سورفاکتانت‌های با وزن مولکولی کم نسبت به پروتئین کوچکتر هستند، بنابراین بهتر می‌توانند که در سطح ذرات جای بگیرند [۱۱].

پکتین یکی پلی‌ساکارید مرکب است که از واحدهای دی-گالاکترونیک اسید با اتصالات (1-4) α و رامنوز با پیوند (1- α) (2) تشکیل شده است که قابلیت تشکیل کمپلکس با ترکیبات پروتئینی را داراست. استفاده هدفمند از اثرات سینرژستیک برهمکنش بین پروتئین و پلی‌ساکاریدها در سیستم‌های غذایی مانند امولسیون‌ها و کف‌ها مورد توجه بسیاری از محققان قرار

که از شرکت بازرگانی پژوهش صنعت هیرکانیا واقع در گرگان تهیه گردید.

۲-۱- تهیه شیر خرما

در ابتدا هسته خرماهای مورد استفاده گرفته شد و پس از شستشو با آب با آسیاب کنوود (ساخت ژاپن) آسیاب گردید تا جذب آب و صاف کردن خرما به راحتی صورت گیرد. سپس به خرما آسیاب شده تا دو برابر وزن آن آب گرم 70°C اضافه گردید و به مدت نیم ساعت در حمام آب گرم (ساخت شرکت فن آزما، ایران) 70°C نگه داشته شد [۱۹] و مخلوط حاصل با الک با مش ۵۰ صاف گردید. بریکس این مخلوط ۲۵ بود که با حرارت به ۳۵ رسانده شد.

۲-۲- آماده سازی خوراک ورودی خشک کن

نسبت‌های مورد نظر از پکتین و کنسانتره پروتئین آب پنیر با یکدیگر مخلوط گردید (مطابق جدول ۱) و نیم ساعت بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. pH آن در pHهای مورد بررسی تنظیم گردید و برای تشکیل کمپلکس یک شب در دمای محیط قرار داده شد [۱۳].

در نهایت، به وزن مشخصی از شیر خرما با بریکس مشخص، ۵۰٪ وزن مواد جامد آن مالتودکسترین اضافه گردید و سپس محلول پکتین- کنسانتره پروتئین آب پنیر نیز اضافه و توئین ۸۰ بر اساس آزمایشات افزوده گردید. مخلوط خوراک ورودی با همزنایزر به مدت ۵ دقیقه در 10000RPM همگن گردید.

۲-۳- خشک کردن پاششی شیر خرما

خوراک ورودی تا دمای 70°C گرم شد و وارد خشک کن گردید و در دماهای مختلف عملیات خشک کردن انجام گرفت (مطابق جدول ۱). خشک کن مورد استفاده نیمه صنعتی با ۳ متر ارتفاع و ۱/۵ متر (ساخت شرکت آذر مخزن ایران) بود. در نهایت پودر به دست آمده جمع آوری و در ظروف مقاوم به انتقال رطوبت و در فریزر تا زمان انجام آزمایشات نگه داشته شد. پودرهای به دست آمده از نظر ویژگی‌های فیزیکی مانند عملکرد تولید، رطوبت و دانسیته توده‌ای بررسی گردید.

گرفته است [۱۲] و [۱۳]. پلی ساکارید باعث افزایش پایداری فیزیکی، افزایش ویسکوزیته فاز آبی و تغییر خواص رئولوژیکی سطحی می‌شود [۱۴].

اندازه، بار و پایداری بیوپلیمرهای تشکیل شده به نسبت پروتئین - پلی ساکارید، نوع پلی ساکارید، pH، قدرت یونی و شرایط حرارتی فرآیند بستگی دارد [۱۵].

در pH بالاتر از نقطه ایزوالکتریک، پروتئین دارای بار منفی است و بنابراین نیروی دافعه الکتروستاتیک بین آن و پلی ساکارید آنیونی وجود دارد. در pH برابر با نقطه ایزوالکتریک مناطق کاتیونی سطح پروتئین با گروه‌های آنیونی زنجیره پلی ساکاریدی واکنش داده و منجر به تشکیل کمپلکس‌های محلول می‌گردد [۱۶]. در pH پایین‌تر واکنش الکتروستاتیک بین مولکول پروتئین و پلی ساکارید منجر به تشکیل رسوب می‌گردد. در صورتی که pH به کمتر از PK_a گروه‌های آنیونی زنجیره پلی ساکارید کاهش یابد، واکنش‌های جذبی بین پروتئین و پلی ساکارید کاهش می‌یابد و کمپلکس از هم جدا می‌شود [۱۷].

سحری و همکاران (۲۰۰۸)، با خشک کردن خمیر خرما در آون خلا و سپس آسیاب کردن خرما خشک شده، پودر خرما به دست آوردند [۱۸]. هم‌چنین سبلانی و همکاران (۲۰۰۸) نیز به بررسی تولید پودر خرما با روش خشک کردن مخلوط خمیر خرما و مالتودکسترین در آون خلا پرداختند [۲].

همان‌طور که ذکر شد، استفاده از روش‌های مذکور برای تولید پودر خرما، نیازمند صرف زمان زیاد و استفاده بیش از اندازه مالتودکسترین دارد که در نتیجه پذیرش محصول نهایی را کاهش می‌دهد. یا توجه به چسبندگی شدید محصول به دیواره خشک کن در حین خشک کردن و عدم تولید پودر، در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از مواد پروتئینی و پلی ساکاریدی و کمپلکس بین این دو و کاهش مصرف مالتودکسترین، پودر مناسبی از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تولید گردد.

۲- مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این پژوهش، خرما، مالتودکسترین با درجه اکی والان ۱۸، کنسانتره پروتئینی آب پنیر^۲، پکتین و توئین ۸۰ بود

Table 1 treatments of experiment

Variables Treatment	Surfactant(%)	Pectin(%)	WPC(%)	pH	Temprature(°C)
	1	0/5	3	8	5
2	0/5	4	10	6/5	170
3	0/5	5	12	8	180
4	0/5	6	14	9/5	190
5	1	3	10	8	190
6	1	4	8	9/5	180
7	1	5	14	5	170
8	1	6	12	6/5	160
9	1/5	3	12	9/5	170
10	1/5	4	14	8	160
11	1/5	5	8	6/5	190
12	1/5	6	10	5	180
13	2	3	14	6/5	180
14	2	4	12	5	190
15	2	5	10	9/5	160
16	2	6	8	8	170

۲-۴- ارزیابی عملکرد تولید پودر

پودر در استوانه تغییری نکند. حجم پودر خوانده شد و با توجه به معادله ۳، دانسیته توده‌ای به دست آمد [۲۱].

معادله ۳)

حجم/جرم پودر=دانسیته توده‌ای

۲-۷- رنگ و شاخص‌های رنگی

رنگ سطحی پودرهای حاصل از خشک کن، پس از جمع آوری، با یک اسکنر رنگی (HP, Scanjet G2710) و با دقت DPI ۳۰۰ و با فرمت JPEG و کیفیت بالا ذخیره شدند. سپس توسط نرم‌افزار ImageJ، به وسیله برنامه تحت ImageJ با عنوان color- space convertor که به عنوان افزودنی برنامه نامیده می‌شوند، تصاویر به فضای $L^*a^*b^*$ تبدیل گردید و مقادیر L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی) و b^* (زردی) هر یک از تصاویر مربوط به نمونه‌ها تعیین گردید [۳۵].

۲-۸- آنالیز آماری

در این پژوهش تاثیر متغیرهای مختلفی مانند غلظت‌های مختلف پکتین، کنسانتره پروتئین آب پنی، سورفکتانت، pH محلول کمپلکس پکتین و کنسانتره پروتئین و هم‌چنین دمای خشک کردن در عملکرد تولید پودر، رطوبت و دانسیته حجمی پودر تولیدی بررسی گردید. طراحی آزمایشات در این تحقیق، با

یکی از فاکتورهای مهم در خشک کن پاششی آزمایشات پودر خرما، عملکرد تولید پودر است که با توجه به معادله ۱ محاسبه گردید [۲۰].

معادله ۱)

= % عملکرد تولید پودر

$100 \times (\text{مواد جامد کل خوراک ورودی} / \text{وزن کل پودر تولیدی بر مبنای خشک})$

۲-۵- اندازه گیری رطوبت

برای تعیین رطوبت پودرهای به دست آمده، ۳ گرم از پودرها وزن گردید و در آن با دمای 105°C تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. درصد رطوبت با داشتن وزن اولیه نمونه‌ها و وزن بعد از خشک کردن آن‌ها محاسبه گردید (معادله ۲).

معادله ۲)

= % رطوبت پودرها بر پایه مرطوب

$100 \times (\text{وزن اولیه} / (\text{وزن خشک} - \text{وزن اولیه}))$

۲-۶- تعیین دانسیته حجمی

برای اندازه گیری دانسیته توده‌ای ۲ گرم از پودر وزن شده و در یک استوانه مدرج ۱۰ میلی لیتری ریخته شد. سپس ۶۰ ضربه در هر دقیقه به استوانه زده شد (به مدت ۳ دقیقه) تا جایی که حجم

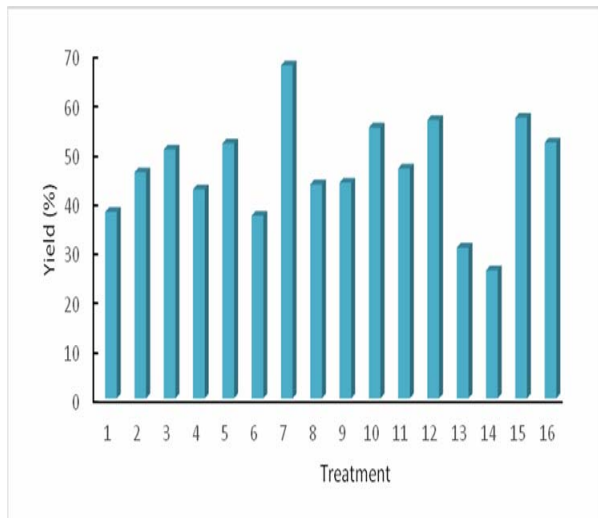


Fig 1 Percent of yield in different treatments

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تمامی متغیرها در میزان عملکرد تولید موثر می‌باشند (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ مشخص می‌شود که پکتین بیشترین اثر را در عملکرد تولید دارد، پکتین با ترکیبات پروتئینی تشکیل کمپلکس می‌دهد و این کمپلکس اطراف ذرات را گرفته و مانع از چسبندگی آن‌ها به دیواره خشک کن در حین خشک کردن، افزایش دمای انتقال شیشه‌ای و بهبود عملکرد تولید پودر می‌گردد.

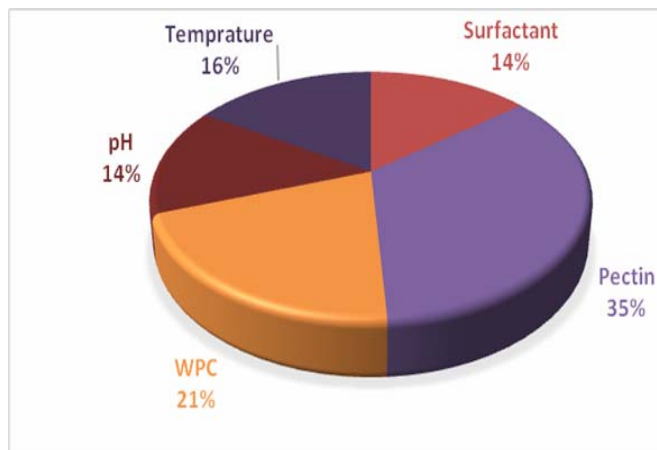


Fig 2 Percent effect of different factors in yield of production

شکل ۳ تاثیر سطوح مختلف مورد استفاده متغیرها در روند تغییر عملکرد را نشان می‌دهد.

استفاده از روش تاگوچی، و تجزیه و تحلیل نتایج با نرم افزار کوآلیتک انجام گرفت. طراحی آزمایشات تاگوچی، روشی برای در نظر گرفتن عوامل اصلی و برهمکنش آن‌ها به صورت همزمان فراهم کرده و می‌تواند عوامل قابل کنترل را رتبه بندی و بررسی کند. به علاوه با بکارگیری روش تاگوچی، تعداد بررسی‌های تحلیلی لازم برای توسعه‌ی یک به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و زمان کلی آزمایش و هزینه‌های آن به حداقل می‌رسد [۲۲]. در نهایت می‌توان گفت که هدف از بکارگیری روش تاگوچی در طراحی آزمایشات، تعیین سطوحی از عوامل قابل کنترل جهت دستیابی به پاسخ بهینه و همچنین تعیین میزان نقش پارامترهای موثر در طراحی است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- عملکرد تولید پودر

عملکرد تولید پودر یکی از فاکتورهای مهم در تعیین کارایی خشک کردن پاششی از نظر اقتصادی و فنی است. برای داشتن یک فرآیند موفق خشک کردن، داشتن راندمان بالای ۵۰ درصد، ضروری است [۲۳]. شکل ۱ عملکرد تولید تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد زمانی که از مالتودکسترین به تنهایی

استفاده شد، به دلیل چسبندگی پودرها به دیواره خشک کن پودری به دست نیامد، همچنین زمانی که از پکتین و کنار پروتئینی نیز در کنار مالتودکسترین استفاده شد، میزان تولید بسیار کم بود اما افزودن سورفکتانت باعث افزایش قابل تولید پودر گردید.

همان طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، تیمار ۷ با ۱۴ درصد سورفکتانت، ۵ درصد پکتین، ۱۴ درصد کنسانتره پرو و pH ۵ و در حالی که دمای خشک کردن ۱۷۰ درجه ساز بود، دارای بیشترین عملکرد (۶۷ درصد) بود و تیمار ۱۴ با ۲ درصد سورفکتانت، ۴ درصد پکتین، ۱۲ درصد کنسانتره پروتئینی و pH ۵ و در حالی که دمای خشک کردن ۱۹۰ درجه سانتیگراد بود، کمترین عملکرد (۲۹ درصد) را نشان داد.

میزان رطوبت محصول نهایی، نقش مهمی در جریان پذیری، چسبندگی و پایداری آن در طول دوره نگهداری دارد. رطوبت نهایی پودرها در شکل ۴ گزارش شده است.

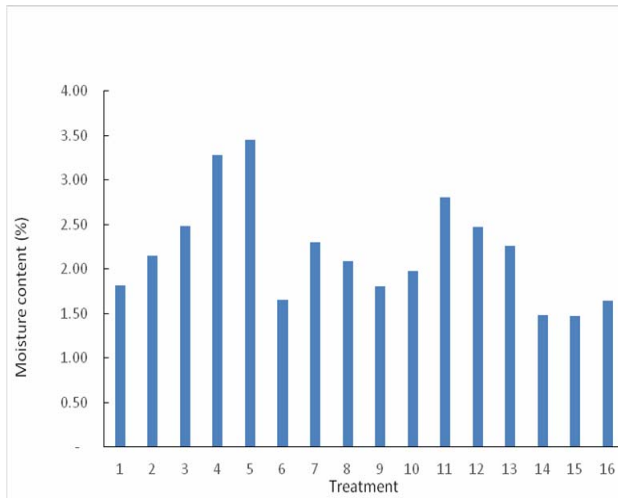


Fig 4 Percent of moisture in different treatments

مقدار رطوبت در دامنه ۱/۴-۳/۴ درصد می‌باشد. تیمار ۵ با داشتن ۱ درصد سورفکتانت، ۳ درصد پکتین، ۱۰ درصد کنسانتره پروتئینی، pH ۸ در حالی که دمای خشک کردن ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد بود، بیشترین میزان رطوبت را داشت و تیمار ۱۵ با داشتن ۲ درصد سورفکتانت، ۵ درصد پکتین، ۱۰ درصد کنسانتره پروتئینی، pH ۹/۵ که در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده بود، کمترین میزان رطوبت را نشان داد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که تمامی متغیرها در رطوبت نهایی پودر موثر می‌باشند (شکل ۵).

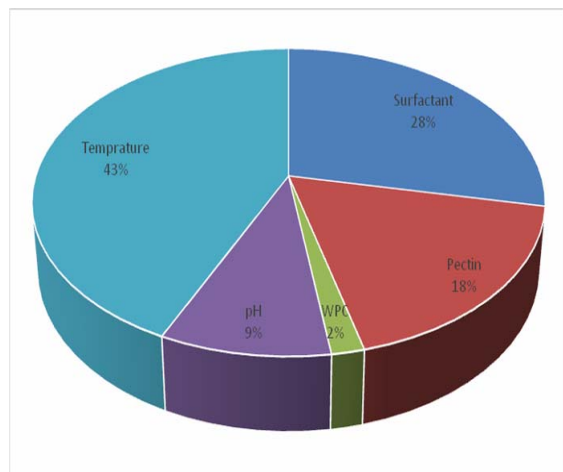


Fig 5 Percent effect of various factors in moisture content

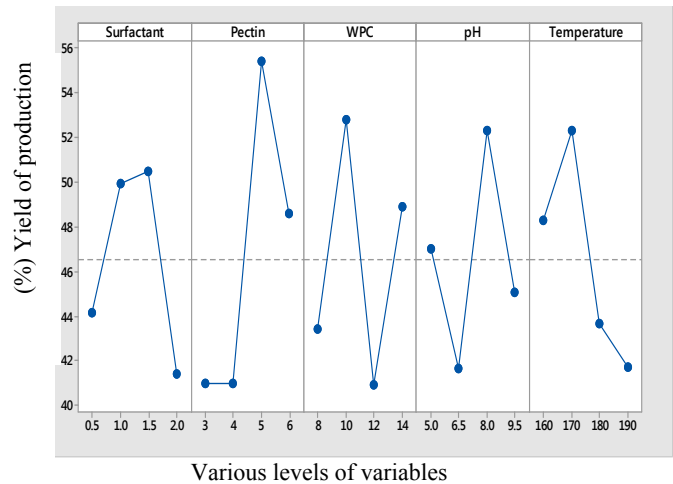


Fig 3 Effect of different factors in yield of production

سورفکتانت بدلیل اندازه کوچک خود، به سطح ذره آمده و با کاهش کشش سطحی ذرات، افزایش تولید پودر را به دنبال خواهد داشت. کشش سطحی در واقع یک نیروی بین مولکولی است که باعث تجمع ذرات می‌گردد. سورفکتانت با قرار گرفتن بین ذرات باعث کاهش این نیرو و افزایش تولید می‌گردد. همچنین ترکیبات پروتئینی کشش سطحی ذرات را کاهش می‌دهند و اطراف ذرات تشکیل فیلم می‌دهند و در نتیجه چسبندگی آن‌ها را به یکدیگر یا دیواره خشک کن کم کرده و تولید پودر را افزایش می‌دهند [۲۴]. اما افزایش دما، به دلیل افزایش چسبندگی ذرات به دیواره خشک کن، موجب کاهش عملکرد گردید که می‌تواند به دلیل افزایش دمای سطح ذرات از دمای نقطه چسبندگی می‌باشد. پاپاداکیس و همکاران (۲۰۰۶)، نیز نشان دادند که افزایش دمای خشک کردن باعث کاهش تولید پودر آب انگور سیاه می‌شود [۲۵] اما یافته‌های حاصل از بررسی‌های زارعی فرد و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که دمای هوای ورودی تاثیر عمده‌ای در بازده تولید پودر لیمو ندارد [۲۶]. از طرفی نتایج حاصل از تحقیقات محققان دیگر نشان داد که افزایش دمای خشک کردن به دلیل افزایش میزان انتقال جرم و حرارت، موجب افزایش بازده تولید پودر می‌شود [۲۷] و [۴].

۳-۲- رطوبت

تیمار ۹ (۱/۵ درصد سورفکتانت، ۳ درصد پکتین، ۱۲ درصد کنسانتره پروتئین، pH ۹/۵ و دمای خشک کردن ۱۷۰ درجه سانتیگراد)، بیشترین و تیمار ۱۴ (۲ درصد سورفکتانت، ۴ درصد پکتین، ۱۲ درصد کنسانتره پروتئین، pH ۵ و دمای خشک کردن ۱۹۰ درجه سانتیگراد) کمترین دانسیته حجمی را داشتند. نتایج نشان داد که تاثیر دمای خشک کردن و سورفکتانت نسبت به سایر متغیرها در دانسیته حجمی بیشتر بود (شکل ۷).

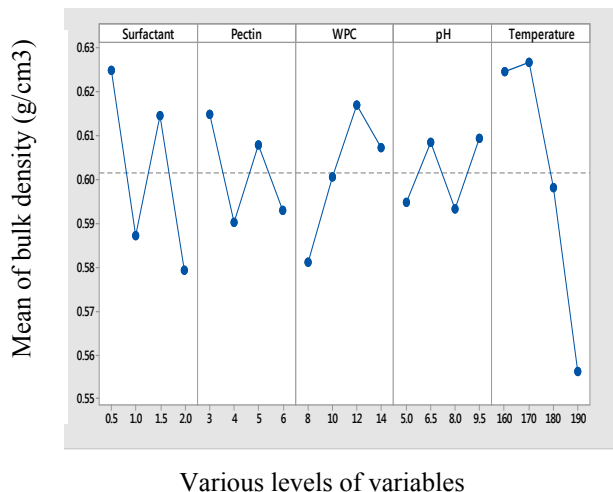


Fig 7 Effect of levels of factors in bulk density of powder

افزایش دما به علت ایجاد تخلخل بیشتر در ذرات، منجر به کاهش دانسیته حجمی گردید [۳۲]. گولا و همکاران (۲۰۰۴) و فضائی و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که افزایش دما به ترتیب باعث کاهش دانسیته حجمی پودر گوجه فرنگی و پودر توت سیاه گردید [۲۱] و [۳۳]. در حالی که مانیکاواساگان و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که دانسیته حجمی پودر خرما با افزایش دما، افزایش می‌یابد [۳۴].

۳-۴ رنگ

رنگ ویژگی فیزیولوژیکی مواد غذایی است که روی پذیرش آن توسط مصرف کننده موثر می‌باشد. دمای خشک کردن یکی از دلایل تجزیه رنگ در محصولات خشک شده می‌باشد.

بیشترین روشنایی مربوط به تیمار ۷ با ۱ درصد سورفکتانت، ۵ درصد پکتین، ۱۴ درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر و pH ۵ و دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین روشنایی مربوط به تیمار ۶

همان طور که شکل نشان می‌دهد دمای خشک کردن نسبت به سایر متغیرها، تاثیر بیشتری در تعیین رطوبت پودر دارد. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش دما، میزان رطوبت پودرها افزایش می‌یابد، این به دلیل تشکیل پوسته سخت در اطراف قطرات و کاهش سرعت خشک کردن در مرحله دوم خشک کردن می‌باشد [۲۸]. این در حالی است که نتایج حاصل از پژوهش‌های تاین و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که افزایش دمای خشک کردن به دلیل افزایش سرعت خروج آب از ذرات، باعث کاهش میزان رطوبت محصول نهایی می‌گردد [۲۹]. این نتایج با یافته‌های حاصل از تحقیقات گولا و همکاران (۲۰۰۴) و چگینی و قبادیان (۲۰۰۵) نیز مطابقت داشت [۲۱] و [۳۰]. نتایج نشان داد که افزایش سورفکتانت باعث کاهش رطوبت نهایی پودر می‌گردد به این دلیل که سر آب دوست سورفکتانت مولکول‌های آب را به سطح می‌کشد و منجر به کاهش رطوبت پودر می‌گردد. هم‌چنین کلتسا و همکاران (۲۰۱۴)، بیان کردند که استفاده از سورفکتانت باعث ایجاد ذرات کوچک می‌شود و در نتیجه رطوبت ذرات بهتر خارج می‌شود [۳۱]. جایا ساندر و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که استفاده از سورفکتانت غیر یونی (توئین ۸۰) منجر به کاهش بیشتر رطوبت محصول نهایی نسبت به سورفکتانت یونی می‌شود [۷].

۳-۳ دانسیته حجمی

دانسیته حجمی پودرها در محدوده ۰/۵۳ تا ۰/۶۸ گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمد (شکل ۶).

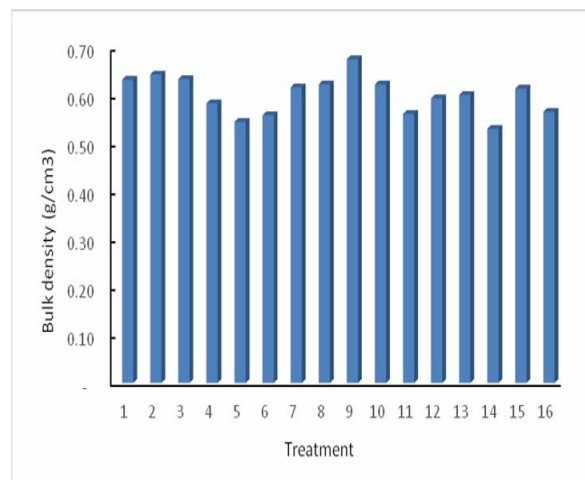


Fig 6 Bulk density in different treatments

شاخص قرمزی-سبزی (a^*) (در صورت مثبت بودن) بیانگر قرمزی نمونه است. دما بیشترین تاثیر را در شاخص رنگی a^* دارد، با افزایش دما این شاخص افزایش می‌یابد که مربوط به افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن می‌باشد. در کل پارامترهای L^* و a^* به تغییرات رنگی (تیرگی) ناشی از واکنش‌های قهوه‌ای شدن مرتبط هستند به طوری که با افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن مقدار L^* کاهش یافته و مقدار a^* افزایش می‌یابد [۳۸].

مثبت بودن شاخص زردی-آبی (b^*) بیانگر زرد بودن نمونه است. افزایش دما منجر به افزایش شاخص b^* در پودرهای حاصل گردید. هم‌چنین غلظت مواد حامل نیز در این شاخص موثر می‌باشند. نتایج حاصل از تحقیقات فرحناکی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که افزایش غلظت ماده حامل باعث افزایش زردی و روشنایی پودرهای حاصل می‌گردد در حالی که شاخص قرمزی کاهش می‌یابد [۳۹].

۴- نتیجه گیری نهایی

این مطالعه با هدف بررسی تاثیر شرایط مختلف خشک کردن پاششی، مواد حامل مختلف مانند مالتودکسترین، پکتین، کنسانتره پروتئین آب پنیر و توئین ۸۰ (در غلظت‌های مختلف) و دمای مختلف خشک کردن، بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پودر خرما انجام گرفت. نتایج نشان داد که امکان تولید پودر خرما غیر کلوخه با استفاده از خشک کن پاششی وجود دارد. در این پژوهش برای انتخاب مناسب‌ترین دما جهت تولید پودر، تاثیر دماهای مختلف بر ویژگی‌هایی مانند راندمان تولید، رطوبت، دانسیته حجمی، و رنگ بررسی گردید. نتایج نشان داد که دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید پودری با حداکثر راندمان تولید و دانسیته حجمی، حداقل رطوبت و رنگ مطلوب مناسب می‌باشد.

مطالعه غلظت‌های مختلف پکتین نشان داد که افزایش غلظت پکتین باعث افزایش راندمان تولید و افزایش دانسیته حجمی پودرهای حاصل می‌گردد.

نتایج بررسی‌ها نشان داد که کنسانتره پروتئین آب پنیر باعث افزایش دانسیته حجمی و روشن‌تر شدن پودر حاصل می‌گردد. هم‌چنین بررسی‌ها نشان داد که برهم‌کنش بین پکتین و کنسانتره

با ۱ درصد سورفاکتانت، ۴ درصد پکتین، ۸ درصد کنسانتره پروتئین، pH ۹/۵ و دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۲).

Table 2 Change of color Indicator in various treatments

Treatments	a^*	b^*	L^*
1	7.34±1.2	31.16±2.26	75.12±2.34
2	7.10±1.05	30.55±2.24	76.06±2.5
3	8.47±1.08	32.04±2.01	74.49±2.13
4	8.97±1.05	32.92±2.17	75.34±2.5
5	8.77±1.3	33.65±2.21	73.05±2.08
6	9.01±1.3	31.84±2.2	71.26±2.7
7	6.61±1.1	29.35±2.04	79.67±2.3
8	8.27±1.1	33.34±2.14	72.97±2.3
9	8.82±1.2	33.03±2.3	73.15±2.25
10	6.64±1.1	30.93±2.15	78.08±2.19
11	10.01±1.2	36.15±2.4	72.50±2.31
12	9.47±1.13	32.13±2.35	74.07±2.18
13	10.18±1.23	34.89±2.21	72.37±2.2
14	9.73±1.16	37.75±2.07	74.57±2.09
15	6.53±1.06	31.93±2.2	77.01±2.26
16	9.31±1.2	33.14±2.12	75.03±2.31

میزان روشنایی (L^*) بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند و هرچه مقدار آن بزرگ‌تر باشد، نمونه روشن‌تر می‌باشد. نتایج نشان داد که افزایش دما بیشتر از ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش روشنایی پودرهای می‌شود. افزایش دما موجب کاراملیزاسیون قندها و قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی نمونه‌ها گشته و در نتیجه کاهش شاخص روشنایی را سبب می‌شود [۳۶]. از طرفی افزایش مقدار پکتین و کنسانتره پروتئین به دلیل این‌که هر دوی این مواد سفید رنگ هستند، باعث روشن‌تر شدن پودرهای حاصل می‌گردد. هم‌چنین نتایج نشان داد که سورفاکتانت تاثیری در روشنایی پودرها ندارد.

کوئک و همکاران (۲۰۰۷)، به نتایج مشابهی در خشک کردن پاششی پودر هندوانه دست یافتند. آن‌ها بیان کردند که با افزایش دمای خشک کردن، رنگ پودرهای حاصل تیره‌تر می‌گردد [۳۷]. مانیکاواساگان و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که افزایش دما تاثیری در رنگ پودرهای خرما به دست آمده با خشک کن پاششی ندارد و مواد حامل عمدتاً در رنگ این پودرها موثر می‌باشند [۳۴].

- [9] Flourey, J., J. Legrand, and A. Desrumaux, Analysis of a new type of high pressure homogeniser. Part B. study of droplet break-up and re-coalescence phenomena. *Chemical Engineering Science*, 2004. 59(6): p. 1285-1294.
- [10] Pérez, O.E., et al., Kinetics of adsorption of whey proteins and hydroxypropyl-methyl-cellulose mixtures at the air-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2009. 336(2): p. 485-496.
- [11] van Aken, G.A., Competitive adsorption of protein and surfactants in highly concentrated emulsions: effect on coalescence mechanisms. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2003. 213(2): p. 209-219.
- [12] Dickinson, E., Mixed biopolymers at interfaces: Competitive adsorption and multilayer structures. *Food Hydrocolloids*, 2011. 25(8): p. 1966-1983.
- [13] Lutz, R., et al., Double emulsions stabilized by a charged complex of modified pectin and whey protein isolate. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2009. 72(1): p. 121-127.
- [14] Bouyer, E., et al., Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field? *International Journal of Pharmaceutics*, 2012. 436(1): p. 359-378.
- [15] Jones, O. G. and D. J. McClements, Biopolymer Nanoparticles from Heat-Treated Electrostatic Protein-Polysaccharide Complexes: Factors Affecting Particle Characteristics. *Journal of food science*, 2010. 75(2): p. N36-N43.
- [16] Gao, J.Y., P.L. Dubin, and B.B. Muhoberac, Measurement of the binding of proteins to polyelectrolytes by frontal analysis continuous capillary electrophoresis. *Analytical chemistry*, 1997. 69(15): p. 2945-2951.
- [17] Jones, O.G. and D.J. McClements, Recent progress in biopolymer nanoparticle and microparticle formation by heat-treating electrostatic protein-polysaccharide complexes. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2011. 167(1): p. 49-62.
- [18] Sahari, M., Z. Hamidi-Esfehani, and H. Samadlui, Optimization of vacuum drying characteristics of date powder. *Drying Technology*, 2008. 26(6): p. 793-797.
- پروتئین در کاهش چسبندگی پودر به دیواره خشک کن موثر می‌باشد.
- به طور کلی نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که برای به دست آوردن پودری با بیشترین عملکرد، حداقل رطوبت و بیشترین دانسیته حجمی و رنگ مطلوب بهتر است که از دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۵ درصد پکتین و ۱ درصد سورفاکتانت استفاده شود.

۵- منابع

- [1] Yousefi, S., Z. Emam-Djomeh, and S.M. Mousavi, Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). *Journal of food science and technology*, 2011. 48(6): p. 677-684.
- [2] Sablani, S.S., A.K. Shrestha, and B.R. Bhandari, A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder. *Journal of Food Engineering*, 2008. 87(3): p. 416-421.
- [3] Gharsallaoui, A., et al., Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 2007. 40(9): p. 1107-1121.
- [4] Shrestha, A.K., et al., Water sorption and glass transition properties of spray dried lactose hydrolysed skim milk powder. *LWT - Food Science and Technology*, 2007. 40(9): p. 1593-1600.
- [5] Truong, V., B.R. Bhandari, and T. Howes, Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I—Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 2005. 71(1): p. 55-65.
- [6] Roos, Y. and M. Karel, Water and Molecular Weight Effects on Glass Transitions in Amorphous Carbohydrates and Carbohydrate Solutions. *Journal of Food Science*, 1991. 56(6): p. 1676-1681.
- [7] Jayasundera, M., et al., The effect of protein types and low molecular weight surfactants on spray drying of sugar-rich foods. *Food Hydrocolloids*, 2011. 25(3): p. 459-469.
- [8] Morr, C. and E. Ha, Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 1993. 33(6): p. 431-476.

- aril powder. *Journal of Food Engineering*, 2010. 98(3): p. 385-392.
- [30] Chegini, G. and B. Ghobadian, Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 2005. 23(3): p. 657-668.
- [31] Kaltsa, O., et al., Physical characteristics of submicron emulsions upon partial displacement of whey protein by a small molecular weight surfactant and pectin addition. *Food Research International*, 2014. 66: p. 401-408.
- [32] Walton, D., The morphology of spray-dried particles a qualitative view. *Drying Technology*, 2000. 18(9): p. 1943-1986.
- [33] Fazaali, M., et al., Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*, 2012. 90(4): p. 667-675.
- [34] Manickavasagan, A., et al., Physicochemical Characteristics of Date Powder Produced in a Pilot-Scale Spray Dryer. *Drying Technology*, 2015. 33(9): p. 1114-1123.
- [35] Salehi, F., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., Ziaifar, A. M. (2015). Enrichment sponge cake with dried mushroom powder button in the system, infrared-hot air, *Food novel technologies*, 3(9): 1-9.
- [36] Horuz, E., A. Altan and M. Maskan. (2012). "Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice." *Drying Technology* 30(7): 787-798
- [37] Quek, S. Y., N. K. Chok and P. Swedlund. (2007). "The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders." *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46(5): 386-392.
- [38] Mandala, I., E. Anagnostaras and C. Oikonomou. (2005). "Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics." *Journal of Food Engineering* 69(3): 307-316.
- [39] Farahnaky, A., N. Mansoori, M. Majzoobi and F. Badii (2016). "Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: Antiplasticizing effect of maltodextrin." *Food and Bioproducts Processing* 98: 133-141.
- [19] El-Nagga, E. and Y.A. El-Tawab, Compositional characteristics of date syrup extracted by different methods in some fermented dairy products. *Annals of Agricultural Sciences*, 2012. 57(1): p. 29-36.
- [20] Can Karaca, A., O. Guzel, and M.M. Ak, Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. *Journal of the science of food and agriculture*, 2016. 96(2): p. 449-455.
- [21] Goula, A.M., K.G. Adamopoulos, and N.A. Kazakis, Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 2004. 22(5): p. 1129-1151.
- [22] Hong, C.-W., Using the Taguchi method for effective market segmentation. *Expert Systems with Applications*, 2012. 39(5): p. 5451-5459.
- [23] Bhandari, B.R., N. Datta, and T. Howes, Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying technology*, 1997. 15(2): p. 671-684.
- [24] Adhikari, B., et al., Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. *Journal of Food Engineering*, 2009. 94(2): p. 144-153.
- [25] Papadakis, S.E., C. Gardeli, and C. Tzia, Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 2006. 24(2): p. 173-180.
- [26] Zareifard, M.R., et al., A feasibility study on the drying of lime juice: the relationship between the key operating parameters of a small laboratory spray dryer and product quality. *Food and Bioprocess Technology*, 2012. 5(5): p. 1896-1906.
- [27] Bazaria, B. and P. Kumar, Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bioscience*, 2016. 14: p. 21-27.
- [28] Santhalakshmy, S., et al., Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 2015. 274: p. 37-43.
- [29] Tuyen, C.K., M.H. Nguyen, and P.D. Roach, Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit

Production of date powder by spray drying and evaluation of effect of drying variable in the physical properties of powder

Moghbeli Damaneh, S. ^{1*}, Jafari, S. M. ², Maghsoudlou, Y. ³

1. Master of Science in Food Industry of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2. Associate Professor, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Professor, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 2016/12/03 Accepted:2017/01/29)

Planting date palm in Iran has a long history and it is now one of the most important and strategies products of country. However, focusing on its new products could be an important issue. One of the new products of the date palm is its powder that can effective role in decreasing the date palm waste. Date powder is a new product from date that can be used in food and drinks. On the other hand by powder production, storage and transportation costs are also reduced. In this study date powder obtained with addition of drying aids (surfactant, pectin, whey protein concentrate) to date syrup using spray dryer (at different temperatures). Experiments were performed with Taguchi design and data analysis carried out using the Qualitek software. The effects of different variables on the yield, bulk density and moisture content of powder were investigated. The results showed that pectin had the highest effect (35%) on improving of powder yield. The interaction of the surfactant and pH was more effective than other variables in improving yield. Treatment of 7 with 5% pectin, 14% whey protein concentrate (had formed complex at pH 5) and 1% surfactant had highest yield (67%). The increase in temperature causes an increase in moisture content and decrease of bulk density of powders. The interaction of surfactant and pectin reduced moisture content and the interaction of pectin and whey protein concentrate was effective in bulk density of powder.

Keywords: Date powder, Spray drying, Drying aids, Yield of production, Bulk density

* Corresponding Author E-Mail Address: Sedighe.moghbeli.90@gmail.com