

اقتصادی کردن و بهینه سازی فرآیند خشک کردن ورقه های کیوی پیش تیمار شده با دز پرتو دهی به روش سطح پاسخ در ترکیب با روش تحلیل مولفه های اصلی

اصغر عابدی^{*۱}

۱- استادیار مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۸)

چکیده

خشک کردن از جمله روش های نگهداری طولانی مدت مواد غذایی همراه با حفظ خواص فیزیکی مواد می باشد. در این مطالعه، میوه کیوی پرتو دهی شده با دزهای مختلف صفر، ۲ و ۴ کیلوگری به صورت ورقه در ضخامت های ۳، ۵ و ۷ میلی متر برش داده شد و با استفاده از خشک کن آون در دماهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس خشک گردید. در طول مدت آزمایش وزن ورقه های کیوی و مدت زمان خشک کردن ثبت و با استفاده از روش سطح پاسخ، تأثیر اثرات اصلی و متقابل دمای خشک کردن، دز پرتو دهی و ضخامت نمونه ها بر شاخص های مدت زمان خشک کردن و وزن نمونه ها بررسی گردید. روش سطح پاسخ مدت زمان خشک کردن و وزن نمونه های کیوی را با دقت های به ترتیب ۹۹ و ۹۶ درصد پیش بینی و مدل سازی نمود. در نهایت روش سطح پاسخ بهترین و بهینه ترین نقاط برای مدت زمان خشک کردن در خشک کن همراه با بهینه ترین وزن را به ترتیب مقادیر ۲۹۸ دقیقه و ۴/۷ گرم پیشنهاد داد. همچنین نقاط بهینه پیشنهاد شده در دز پرتو دهی ۴ کیلوگری، دمای خشک کردن ۵۵ درجه سلسیوس و ضخامت نمونه ۶ میلی متر بدست آمد. توسط روش تشخیص الگو تحلیل مولفه های اصلی (Principle Component Analysis) نمونه های مختلف کیوی بر اساس دماهای مختلف خشک کردن و ضخامت نمونه ها با دقت ۱۰۰ درصد تفکیک داده شدند.

کلید واژگان: بهینه سازی، خواص فیزیکی، PCA، RSM.

*مسئول مکاتبات: asghar.abedi2002@gmail.com

۱- مقدمه

کیوی (*Actinidia deliciosa*) سرشار از ویتامین C است و به دلیل داشتن مواد جامد مغذی شامل کاروتنوئید، لووتیل، فنولیک، فلاونوئیدها و کلروفیل ظرفیت آنتی اکسیدان بالایی دارد [۱]. کیوی می تواند به محصولات خشک شده مثل ورقه های نازک، چیپس ترد و یا به عنوان مواد تشکیل دهنده در نوشیدنی ها، دسر ها و صنایع بستنی تبدیل شود. عمر ماندگاری کیوی بستگی به میزان کل جامدات محلول در هنگام برداشت، شرایط ذخیره سازی و حمل و نقل دارد [۲]. خشک کردن یکی از متداول ترین روش های نگهداری مواد غذایی از جمله میوه ها و سبزیجات به شمار می آید. با خشک کردن علاوه بر کاهش هزینه های حمل و نقل و ذخیره سازی با کاهش وزن و حجم محصول، با کنترل رشد حشرات، کپک ها و سایر میکروارگانیسم ها، عمر ماندگاری محصول نیز افزایش می یابد [۳]. همچنین فرایند خشک کردن، از طریق کاهش محتوای رطوبتی، فساد بیوشیمی، شیمیایی و میکروبیولوژی را به حداقل می رساند [۴].

پرتودهی مواد غذایی عبارت است از قرار دادن ماده غذایی در مدت زمان معین تحت دز (کیلوگرم بر کیلوژول) تابش مشخص [۵]. پرتوهای مورد استفاده در صنایع غذایی به دو دسته پرتوهای یونیزه کننده غیر یونیزه تقسیم بندی می شوند. پرتوهای یونیزه کننده شامل گاما، ایکس، پرتوهای الکترونی و پرتوهای غیر یونیزه کننده، شامل ماوراء بنفش مادون قرمز و امواج رادیویی هستند [۶]. در بین آنها اشعه گاما بدلیل قیمت ارزان و قدرت نفوذ بالا بیش تر در صنایع غذایی مورد توجه قرار گرفته است [۷].

پرتودهی گاما مدت هاست که برای ضد عفونی کردن و آب زدایی و افزایش مدت زمان نگهداری میوه ها، سبزیجات، ادویه جات و مواد غذایی مختلف مورد استفاده قرار می گیرد [۸]. مطالعات کمی در خصوص تأثیر پرتودهی گاما بر مشخصه های مواد غذایی خشک شده گزارش شده است. در تحقیقی گزارش کردند که بافت داخلی سبب با اشعه گاما تغییر می کند [۹]. این تغییرات در ساختار منجر به تغییر در ویژگی های فرایند خشک کردن و تأثیر بر روی نرخ خشک کردن می گردد که در نهایت باعث می شود که محصول خشک شده تحت تأثیر اشعه قرار گیرد [۱۰]. بنابراین لازم است تا تأثیر اشعه گاما بر ویژگی های کیفی فرایند خشک

شدن محصولات کشاورزی از حمله افت وزن مورد بررسی قرار گیرد.

طراحی آزمایش ها به روش سطح پاسخ^۱ در اولین سال ۱۹۵۰ میلادی شکل گرفت و کاربرد اولیه آن بیشتر برای صنایع شیمیایی بود ولی اخیراً به طور گسترده ای از روش RSM برای بهبود کیفیت، طراحی محصول و آنالیز عدم قطعیت استفاده می شود [۱۱]. RSM یک مجموعه از تکنیک های آماری و ریاضیات کاربردی برای ساخت مدل های تجربی است. هدف در این گونه طرح ها بهینه سازی پاسخ (متغیر خروجی) است که متأثر از چندین متغیر مستقل (متغیرهای ورودی) می باشد [۱۲ و ۱۳].

در پژوهش حاضر، با استفاده از روش سطح پاسخ، مقدار دز پرتودهی، دمای خشک کردن، ضخامت ورقه های کیوی برای انتخاب بهترین وزن در کمترین زمان خشک کردن بهینه شدند. همچنین با استفاده از روش شناسایی الگو شامل تحلیل مولفه های اساسی پارامترهای مستقل شامل مقدار دز پرتودهی، دمای خشک کردن، ضخامت ورقه های کیوی طبقه بندی شدند.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آماده سازی نمونه ها

نمونه ها با دزهای صفر، ۲ و ۴ کیلوگری با استفاده از گاماسل با چشمه کبالت ۶۰ پرتودهی شدند، در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. ورقه های با کیوی استفاده از دستگاه برش مخصوص در ضخامت های مختلف ۳، ۵ و ۷ میلی متر برش داده شدند و در دمای ۵۵ و ۶۵، ۷۵ درجه سلسیوس با استفاده از یک خشک کن آون معمولی با ۳ تکرار و با فاصله یک روز خشک شدند. خشک کردن ورقه های کیوی با محتوی رطوبت اولیه تقریباً ۸۰٪ بر پایه تر شروع شد و تا زمانیکه هیچگونه تغییری در جرم کیوی مشاهده نشد، ادامه یافت.

۲-۲- تعیین شرایط بهینه با استفاده از روش سطح پاسخ

تأثیر سه متغیر مستقل (دمای خشک کردن، دز پرتودهی و ضخامت نمونه های کیوی) بر روی متغیرهای وابسته (مدت زمان

1. Response Surface Methodology

۲-۳- تحلیل مولفه‌های اصلی

تحلیل مولفه‌های اصلی^۳ روشی متعامد بوده که می‌تواند مجموعه‌ای از متغیرهای مشاهده شده دارای همبستگی را به مجموعه‌ای از متغیرهای غیرهمبسته خطی اجزاء اصلی تبدیل کند. در این تبدیل اولین جزء دارای بالاترین واریانس است و اجزاء دیگر نیز دارای واریانس بالا بوده و تمامی اجزاء در تعامد با هم هستند. بنابراین اجزاء دارای واریانس پایین تقریباً حذف شده و این امر موجب کاهش در ابعاد سیستم می‌گردد و متغیرهای اصلی با دقت بالا آشکار می‌گردد [۱۵]. تحلیل به روش مولفه اصلی توسط نرم افزار Unscrambler x10 صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بهینه‌سازی با روش سطح پاسخ

در جدول (۲)، نتایج ANOVA برای پاسخ‌های زمان خشک کردن و وزن نمونه‌ها همراه با مقادیر p-value و مجموع مربعات (SS) نشان داده شده است. پاسخ‌ها توسط مدل رگرسیونی درجه دوم مدل سازی شد. با توجه به نتایج مدل درجه دوم جهت مدل‌سازی زمان خشک کردن و وزن نمونه‌های کیوی معنی دار شد. اثرات اصلی دمای خشک کردن، دز پرتودهی و ضخامت نمونه همگی در سطح ۱ درصد بر شاخص مدت زمان خشک کردن معنی‌دار گردیده است. همچنین اثر متقابل دمای خشک کردن×دز پرتودهی و دما×ضخامت نمونه‌ها بر زمان خشک کردن در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد.

همچنین با توجه به نتایج جدول (۲)، مدل درجه دوم جهت مدل سازی وزن نمونه‌های کیوی نیز معنی دار شد. در میان تمامی اثرات، تنها اثر اصلی ضخامت و اثر متقابل دما-ضخامت در سطح ۱ درصد بر شاخص وزن معنی دار گردید و اثرات اصلی دما و دز پرتودهی بر شاخص وزن معنی دار نگردید.

خشک کردن و وزن نمونه‌های کیوی) با استفاده از طرح داده باکس-بکن^۲ بررسی گردید که این روش برای متغیرهایی که امکان انجام آزمایش آن‌ها وجود نداشته و همچنین دارای فاکتورهای مرکزی نباشند، کاربرد دارد. فرض می‌گردد که دو تابع ریاضی f_k برای y_k وجود داشته باشد که به صورت زیر است (رابطه ۱):

$$y_k = f_k(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3) \quad (1)$$

که در آن $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$ متغیرهای طبیعی هستند که بر حسب واحدهای طبیعی اند. ε_1 متغیر دمای خشک کردن، ε_2 دز پرتودهی و ε_3 ضخامت نمونه‌های کیوی می‌باشند. در مسائل سطح پاسخ، متغیرهای طبیعی به متغیرهای کد شده (x_1, x_2, x_3) تبدیل می‌شوند (رابطه ۲):

$$y_k = f_k(x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

در این پژوهش برای مدل‌سازی فرآیند از یک مدل چندجمله‌ای مرتبه دوم استفاده شد (رابطه ۳) [۱۴]:

$$\beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_i x_j \quad (3)$$

که در رابطه (۳) y_k پاسخ پیش‌بینی شده می‌باشد که به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شد ($k=1,2$). X_i متغیرهای کد شده ورودی یا همان متغیر مستقل می‌باشد ($i=1,2,3$). مقدار متغیرهای مستقل دما، دز و ضخامت بین -۱ و +۱ کدبندی شد (جدول ۱). تمام ضرایب B پارامترهای ضرایب رگرسیون می‌باشند. با استفاده از مدل درجه دوم، پنج مدل ریاضی به فرم مذکور برای هر متغیر وابسته ارزیابی گردید. در این طرح ۱۷ واحد آزمایشی با در نقطه مرکزی برای تعیین مقدار خطا حاصل شد.

طراحی آزمایش‌ها و همچنین بهینه‌سازی فرآیند با استفاده از نرم‌افزار Design Expert.11 انجام شد. همچنین تجزیه واریانس بر روی ضرایب مدل درجه دوم با استفاده از این نرم‌افزار صورت گرفت. جملات معنی‌دار در مدل با استفاده از تجزیه واریانس برای هر پاسخ بدست آمد.

Table 1 Independent test variables and selective levels in process analysis

Independent Variables	Coded Variables	Natural Variables	Levels		
			-1	0	+1
Temperature (°C)	X ₁	$\mathcal{E}_1$	55	65	75
Dose (kGy)	X ₂	$\mathcal{E}_2$	0	2	4
Thickness (mm)	X ₃	$\mathcal{E}_3$	3	5	7

Table 2 ANOVA results for general models and prediction based on RSM

Dependent Variables	Sources of Variation	Sum of Square	df	Mean Square	F-Value	p-Value
Drying Time	Model	0.0778	9	0.0086	439.69	< 0.0001
	A-Temperature	0.0266	2	0.0266	1350.93	< 0.0001
	B-Dose	0.0283	2	0.0283	1440.36	< 0.0001
	C-Thickness	0.0180	2	0.0180	915.25	< 0.0001
	AB	0.0000	3	0.0000	0.8074	0.3987
	AC	0.0001	3	0.0001	6.50	0.0381
	BC	0.0001	3	0.0001	3.17	0.1181
	A ²	0.0007	3	0.0007	35.70	0.0006
	B ²	0.0038	3	0.0038	194.46	< 0.0001
	C ²	0.0001	3	0.0001	3.47	0.1048
	Residual	0.0001	7	0.0000	-	-
	Lack of Fit	0.0001	3	0.0000	-	-
	Pure Error	0.0000	4	0.0000	-	-
	Cor Total	0.0779	16		-	-
Weight Loss	Model	0.2458	9	0.0273	19.52	0.0004
	A-Temperature	0.0025	2	0.0025	1.82	0.2193
	B-Dose	0.0003	2	0.0003	0.0028	0.9592
	C-Thickness	0.1928	2	0.1928	137.86	< 0.0001
	AB	0.0013	3	0.0013	0.9407	0.3644
	AC	0.0246	3	0.0246	17.59	0.0041
	BC	0.0029	3	0.0029	2.06	0.1944
	A ²	0.0025	3	0.0025	1.76	0.2263
	B ²	0.0126	3	0.0126	9.04	0.0198
	C ²	0.0045	3	0.0045	3.22	0.1159
	Residual	0.0098	7	0.0014	-	-
	Lack of Fit	0.0098	3	0.0033	-	-
	Pure Error	0.0000	4	0.0000	-	-
	Cor Total	0.2556	16		-	-

بر اساس نتایج جدول (۳)، شاخص های مدت زمان خشک کردن و وزن به خوبی توسط مدل درجه دوم، مدل سازی شدند. در معادلات درجه دوم، ضرایب مثبت نشان دهنده رابطه قوی بین سطوح متغیرهای مستقل با پاسخ متغیرهای وابسته و ضرایب منفی نشان دهنده رابطه معکوس است. با توجه به معادلات، با افزایش دما، افزایش دز و کاهش ضخامت نمونه های کیوی، مدت

زمان خشک کردن کاهش می یابد. همچنین اثر متقابل دما×دز و دما×ضخامت اثر معکوس روی زمان خشک کردن دارد یعنی با افزایش اثر متقابل دما×دز و دما×ضخامت زمان خشک کردن روند نزولی خواهد داشت. همچنین شاخص های دما، دز و ضخامت همگی رابطه معکوس با وزن نمونه ها دارند. همچنین، در بین شاخص های اصلی اثر دز به دلیل وجود ماکزیمم ضریب دارای

بیشترین تاثیر روی مدت زمان خشک کردن در خشک کن دارد. همچنین با افزایش اثر متقابل دما×ضخامت نیز به دلیل وجود بالاترین ضریب، وزن به شدت کاهش می‌یابد و کاهش وزن به نسبت دیگر فاکتورها به شدت به ضخامت وابسته است. در شکل (۱) رابطه بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل درجه

دوم نیز گزارش شده است. افزایش دمای خشک کن بیانگر از دست دادن آب بیشتر محصول در زمان معین است و از دست دادن آب عمده‌تأ بستگی به شدت تنفس محصول و ستنز متابولیک مانند تولید اتیلن دارد [۱۶].

Table 3 Summary of estimated response surface models

Mean	R ²	Equation
2.47	0.9982	Drying Time= 2.48-0.0576×A-0.0595×B+0.0474×C-0.0020×AB-0.0057×AC+0.0039×BC-0.0129×A ² -0.0301×B ² -0.0040×C ²
0.5495	0.9617	Weight Loss=0.6021-0.0178×A-0.0007×B-0.1553×C-0.0181×AB-0.0784×AC-0.0268×BC-0.0242×A ² -0.0548×B ² -0.0327×C ²

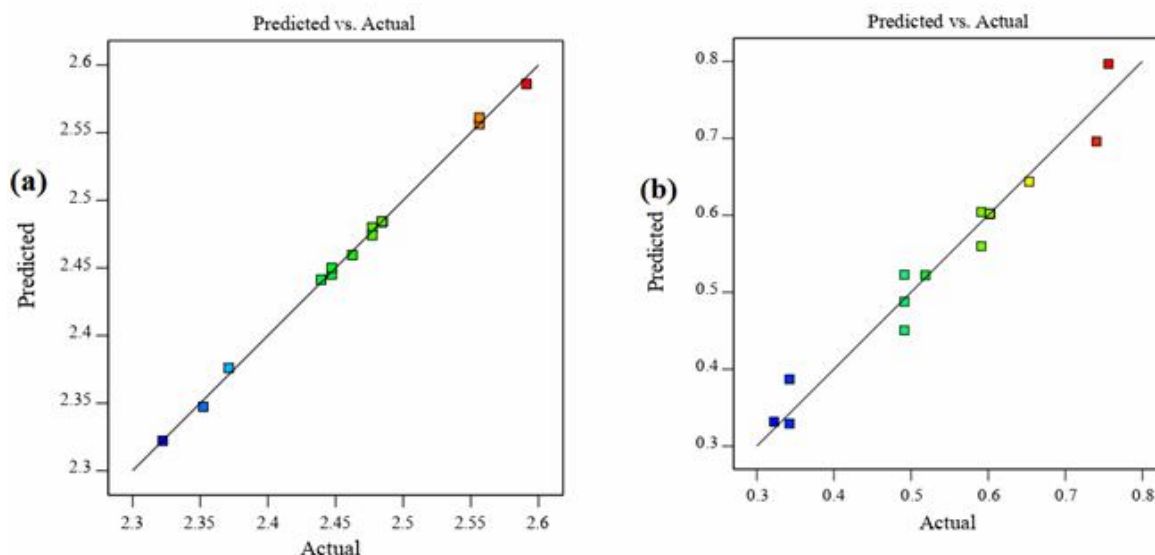


Fig 1 Real and predicted data by model in response surface method for (a) during time and (b) weight modeling

با توجه به نتایج سطوح کانتور سه بعدی (شکل ۲-ا) مشاهده می‌شود که با افزایش دمای خشک کردن و افزایش دز پرتویی، زمان خشک کردن کاهش یافته است و نتایج حاصل از جدول ANOVA (جدول ۲) این نتایج را تایید می‌نماید. همچنین اثرات متقابل دما×ضخامت بر شاخص وزن نمونه‌ها نشان داده شده است. با افزایش دما وزن ورقه‌های کیوی کاهش یافته و با افزایش ضخامت وزن ورقه‌ها افزایش می‌یابد. میوه کیوی جزو میوه‌هایی است که نسبت به از دست دادن آب حساس است.

چروکیدگی بر اثر از دست دادن آب مهم‌ترین عامل کوتاهی عمر انبار مانی و ضایعات کیوی می‌باشد [۱۷]. میزان کاهش وزن عمده‌تأ به شرایط نگهداری، میزان عناصر معدنی و نسبت سطح به حجم میوه در ارتباط مستقیم است [۱۸]. آمودیو و همکاران (۲۰۰۷) میزان کم آبی میوه‌های کیوی ارگانیک را در طی انبار مانی، بالا بودن عناصر معدنی به خصوص کلسیم و ضخامت پوست میوه نسبت دادند. بدون توجه به رقم، میوه‌هایی که در دمای ۳ درجه سلسیوس نگهداری شده‌اند نسبت به دمای ۱۵

دما×دز پرتو دهی تأثیر معنی داری روی وزن نمونه ها نداشتند. همچنین اثر متقابل دز پرتو دهی×ضخامت نیز در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. با توجه به نتایج، با کاهش ضخامت ورقه ها، وزن نمونه ها کاهش یافته و همینطور افزایش دز پرتو دهی موجب کاهش وزن نمونه ها گردیده است.

درجه سلسیوس کاهش وزن کمتری دارند که این می تواند به دلیل رطوبت نسبی بالاتر (۹۰٪ در مقابل ۸۰٪) و نیز دمای پایین محیط یخچالی باشد که میزان آب از دست دهی میوه ها را کاهش داده است [۱۹].

در شکل (۲-۲) اثر متقابل دما×دز پرتو دهی بر وزن نمونه ها نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول (۲)، اثر متقابل

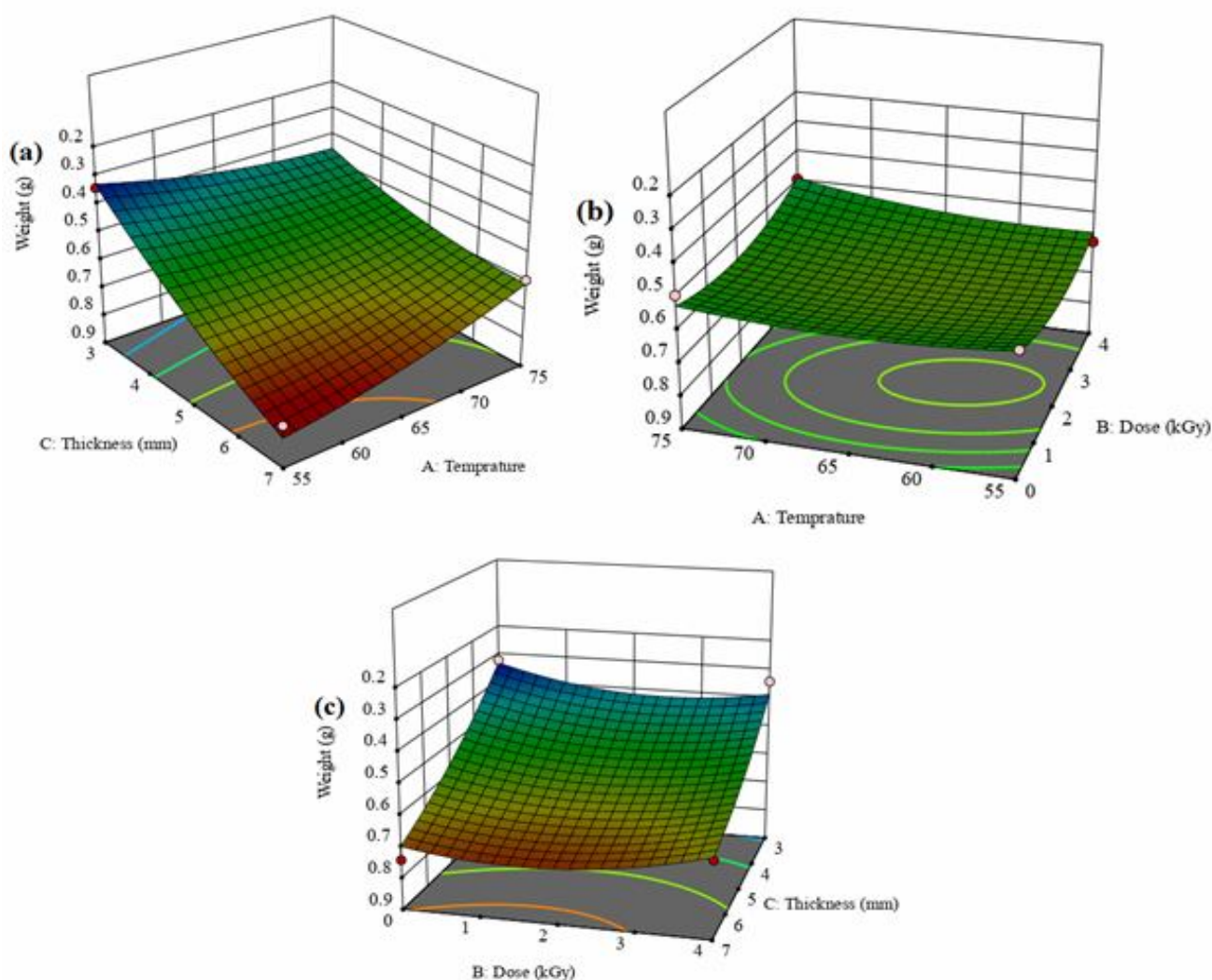


Fig 2 3D contour interaction effect of drying time, irradiation and thickness of kiwi slice on the weight loss index of samples

پرتو دهی زمان خشک کردن کاهش می یابد و با افزایش دمای خشک کردن نیز زمان خشک کردن کاهش می یابد. در شکل (۳-۳) اثر متقابل دما-ضخامت ورقه های کیوی بر روی زمان خشک

نتایج کانتور سه بعدی در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۳-۲) اثر متقابل دما×دز پرتو دهی بر مدت زمان خشک کردن نمونه های کیوی نشان داده شده است. با افزایش دز

کردن در خشک کن می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دز پرتودهی و کاهش ضخامت مدت زمان خشک کردن در خشک کن کاهش می‌یابد.

کردن در خشک کن نشان داده شده است. همانطور که قابل مشاهده است با افزایش دما و کاهش ضخامت نمونه ها، زمان خشک کردن کاهش یافته است. همچنین با توجه به نتایج شکل (۳-۵) نیز اثر متقابل ضخامت-دز پرتودهی بر مدت زمان خشک

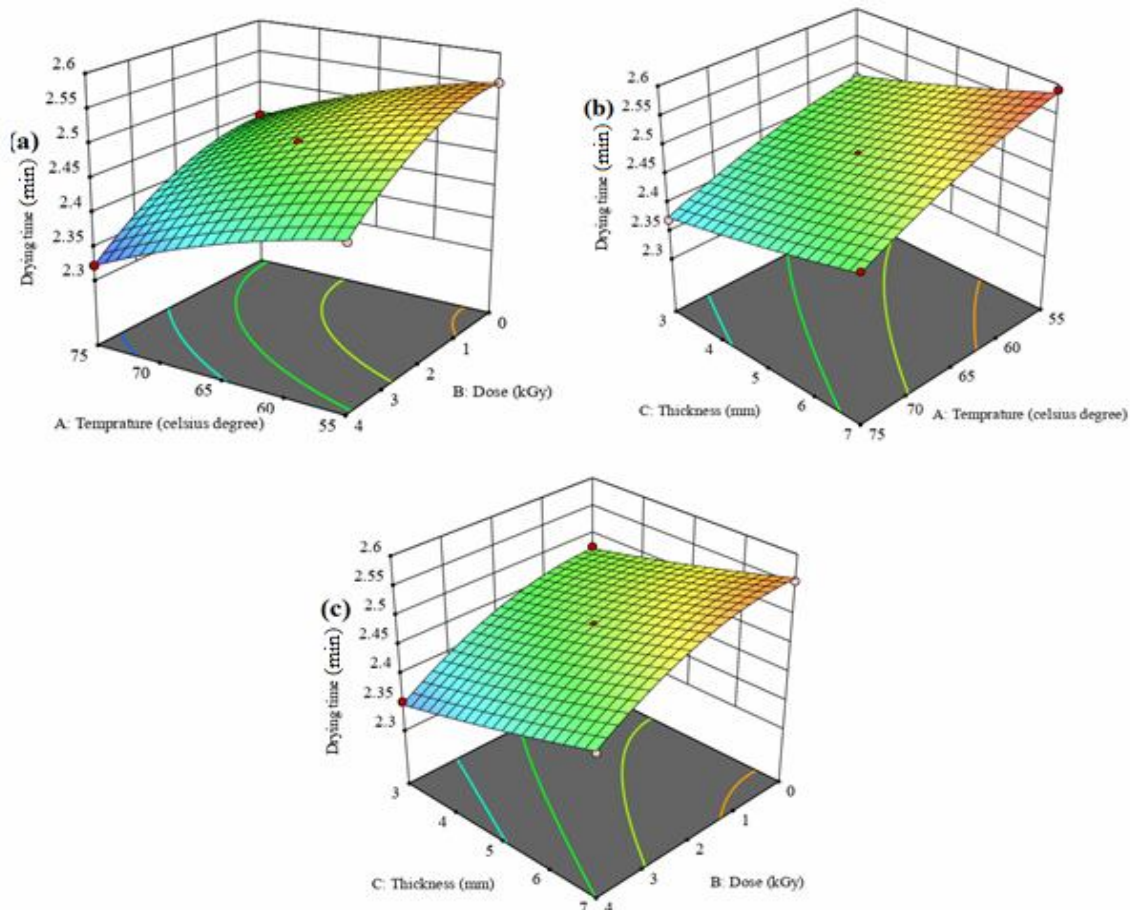


Fig3 3D contour interaction effect of drying time, irradiation and thickness of kiwi slice on the drying time index of samples

بدست آمد. سطح پاسخ، بهترین و بهینه‌ترین مقادیر دز پرتودهی، دمای خشک کردن و ضخامت نمونه‌ها را به ترتیب ۴ کیلوگری، ۵۵ درجه سلسیوس و ۶ میلی متر بیان نمود و در این بین مقادیر بهینه مدت زمان خشک کردن و وزن نمونه‌های کیوی، به ترتیب ۲۹۸ دقیقه و ۴/۷ گرم نشان داده شد.

بر اساس شاخص رضایت^۴ ارائه شده توسط مدل، بهترین پاسخ‌های بهینه با بالاترین شاخص رضایت برای سطوح بدست آمده است (شکل ۴). در شاخص رضایت نشان دهنده توانایی و رابطه قوی بین پاسخ‌ها و متغیرها می‌باشد. بر اساس نتایج سطح پاسخ، اثرات متقابل دما، دز و ضخامت ورقه‌های کیوی، بر روی بهترین زمان خشک کردن بر حسب دقیقه و وزن نمونه‌ها به گرم

4. Desirability

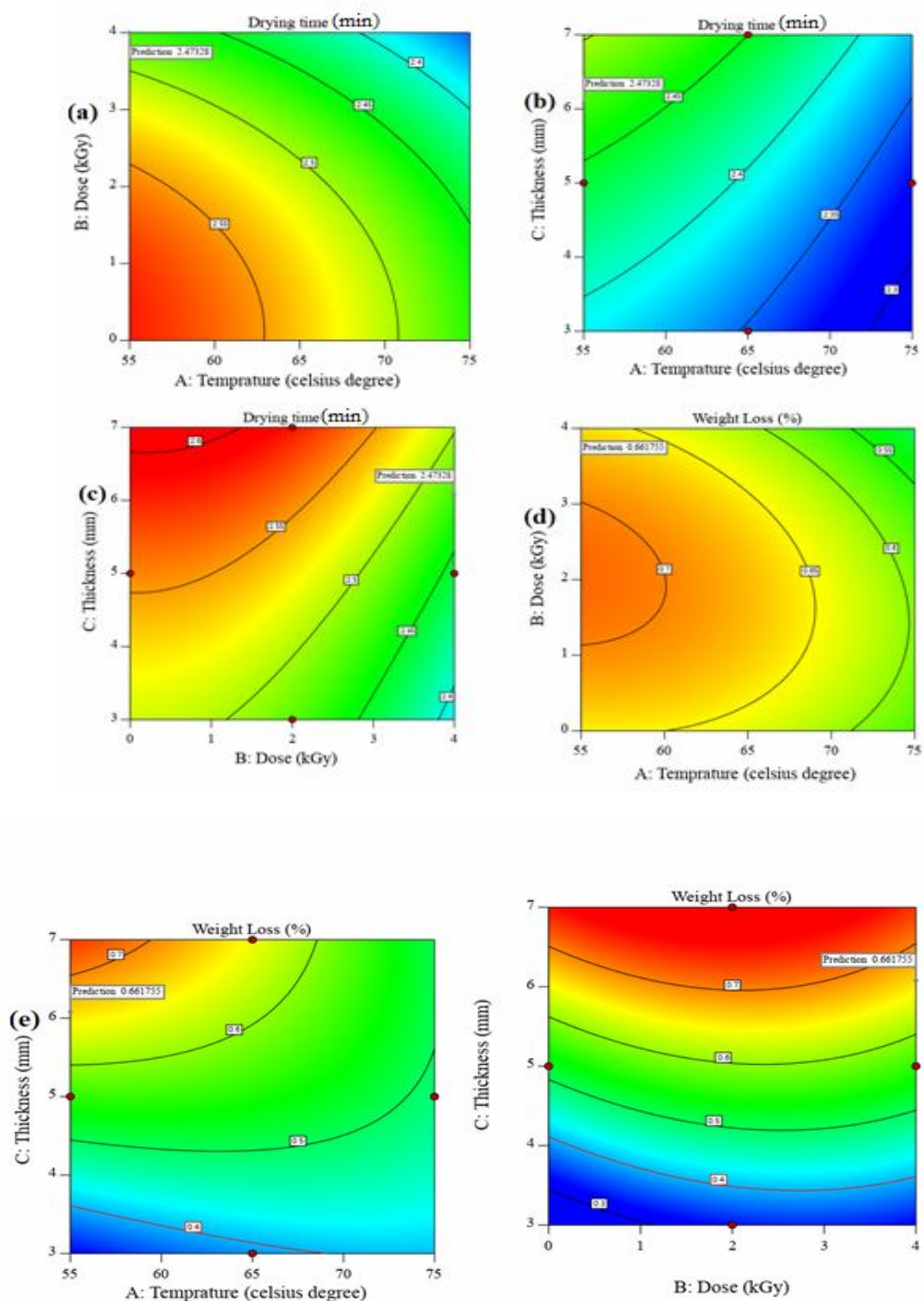


Fig 4 2D contour interaction effect of drying time, irradiation and thickness of kiwi slice on the drying time index of samples for best optimum points

تشخیص دهد. همچنین PCA بر اساس ضخامت نیز طبقه‌بندی نمونه‌ها را انجام داده است بنابراین می‌توان گفت که تأثیر ضخامت نمونه‌های کیوی و دمای خشک کردن تأثیر معنی‌دار روی مدت زمان خشک کردن توسط خشک کن وزن نمونه‌های کیوی داشته است و می‌توان گفت توسط روش‌های تشخیص الگو می‌توان وزن و مدت زمان خشک کردن در یک خشک کن آون را برای نمونه‌ای با ضخامت های ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر و دماهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس کاملاً از هم تفکیک نمود.

بر طبق نتایج، PCA در مجموع ۱۰۰ درصد واریانس بین داده ها را پوشش داده است. در طبقه بندی با کمک PCA، مقادیر PCA1 و PCA2 به ترتیب ۹۳ درصد و ۷ درصد بوده است (شکل ۵). در طبقه بندی PCA، توانست تمامی نمونه ها را از یکدیگر تشخیص دهد. نکته قابل توجه این است که اثر دما در طبقه بندی PCA، تاثیر بسیاری داشته است و PCA توانست تمامی نمونه های خشک شده در دماهای متفاوت را از هم

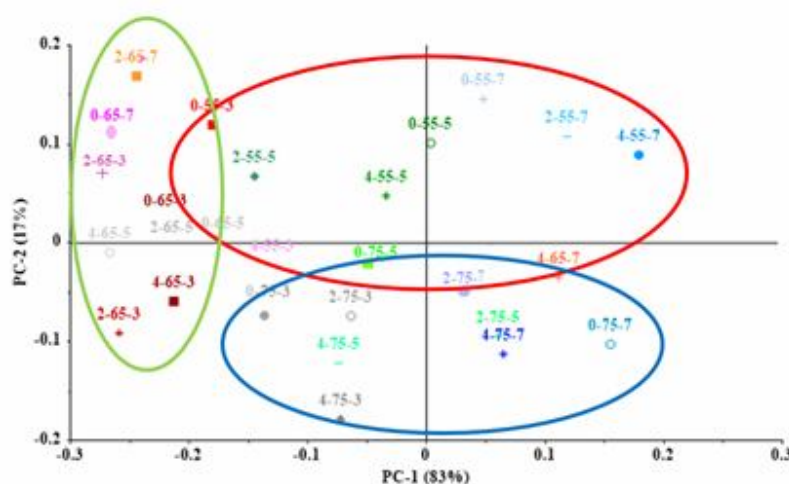


Fig 5 Score plot of PCA analysis for samples with different drying time and temperature and irradiation dose

خشک کن قرار داد تا بهینه‌ترین نقاط حاصل شوند. همچنین در نهایت داده‌های خروجی توسط روش تشخیص الگوی PCA طبقه‌بندی گردید. PCA توانست با دقت بالایی نمونه‌های کیوی را براساس دمای خشک کردن و ضخامت‌های مختلف طبقه‌بندی نماید.

در این تحقیق، میوه کیوی پرتودهی شده توسط خشک کن آون در دماهای مختلف و در ضخامت های مختلف خشک گردید. در طول مدت زمان آزمایش فاکتورهای وزن ورقه های کیوی و مدت زمان خشک کردن ثبت شد. با استفاده از روش سطح پاسخ، تاثیر اثرات اصلی و متقابل دمای خشک کردن، دز پرتودهی و ضخامت نمونه ها بر شاخص های مدت زمان خشک کردن و وزن نمونه ها بررسی گردید. سطح پاسخ با دقت بالایی این پدیده را پیش بینی و مدل سازی نمود. در نهایت روش سطح پاسخ بهترین و بهینه ترین نقاط برای مدت زمان خشک کردن در خشک کن همراه با بهینه ترین وزن پیشنهاد داد. بدین ترتیب با پیشنهاد روش سطح پاسخ می توان نمونه های ورقه کیوی را تحت شرایط ذکر شده در

٥- منابع

- [1] Reyes, A., Vásquez, J., Pailahueque, N., & Mahn, A. (2019). Effect of drying using solar energy and phase change material on kiwifruit properties. *Drying Technology*, 37, 232-244.
- [2] Li, D., & Zhu, F. (2017). Physicochemical properties of kiwifruit starch. *Food chemistry*, 220, 129-136.
- [3] Chin, S. K., Siew, E. S., & Soon, W. L.

- [12] Jalili, F., Jafari, S. M., Emam-Djomeh, Z., Malekjani, N., & Farzaneh, V. (2018). Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from canola seeds with the use of response surface methodology. *Food analytical methods*, 11(2), 598-612.
- [13] de Souza, L. P., Faroni, L. R. D. A., Heleno, F. F., Pinto, F. G., de Queiroz, M. E. L. R., & Prates, L. H. F. (2018). Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology. *Food chemistry*, 243, 435-441.
- [14] Lin, Y. P., Lee, T. Y., Tsen, J. H., & King, V. A. E. (2007). Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1295-1301.
- [15] Esteki, M., Farajmand, B., Kolahderazi, Y., & Simal-Gandara, J. (2017). Chromatographic Fingerprinting with Multivariate Data Analysis for Detection and Quantification of Apricot Kernel in Almond Powder. *Food Analytical Method*, 10, 3312-3320.
- [16] Younis, M., Abdelkarim, D., & El-Abdein, A. Z. (2018). Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices. *Saudi journal of biological sciences*, 25(2), 332-338.
- [17] Mengeş, H. O., Ünver, A., Özcan, M. M., Ertekin, C., & Sonmete, M. H. (2019). The Effects of Drying Parameters on Drying Characteristics, Colorimetric Differences, Antioxidant Capacity and Total Phenols of Sliced Kiwifruit. *Erwerbs-Obstbau*, 1-13.
- [18] Zhou, X., Xu, R., Zhang, B., Pei, S., Liu, Q., Ramaswamy, H. S., & Wang, S. (2018). Radio frequency-vacuum drying of kiwifruits: Kinetics, uniformity, and product quality. *Food and Bioprocess Technology*, 11(11), 2094-2109.
- [19] Amodio, M. L., Colelli, G., Hasey, J. K., & Kader, A. A. (2007). A comparative study of composition and postharvest performance of organically and conventionally grown kiwifruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(7), 1228-1236.
- (2015). Drying characteristics and quality evaluation of kiwi slices under hot air natural convective drying method. *International Food Research Journal*, 22, 2188-2195.
- [4] Moreira, I. D. S., da Silva, W. P., de Castro, D. S., de Melo Silva, L. M., & Gomes, J. P. (2018). Production of kiwi snack slice with different thickness: Drying kinetics, sensory and physicochemical analysis. *Australian Journal of Crop Science*, 12(5), 778.
- [5] Berk, Z. (2009). *Food process engineering and technology*, 1th edn. Oxford, UK.
- [6] Lester, G. E. and Hallman, G. J. (2010). Irradiation dose: effects on baby-leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate, r-tocopherol, and phyloquinone concentrations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 4901-4906.
- [7] Calado, T., Fernández-Cruz, M. L., Verde, S. C., Venâncio, A., & Abrunhosa, L. (2018). Gamma irradiation effects on ochratoxin A: Degradation, cytotoxicity and application in food. *Food chemistry*, 240, 463-471.
- [8] Liu, G. X., Liu, J., Tu, Z. C., Sha, X. M., Wang, H., & Wang, Z. X. (2018). Investigation of conformation change of glycated ovalbumin obtained by Co-60 gamma-ray irradiation under drying treatment. *Innovative food science & emerging technologies*, 47, 286-291.
- [9] Wang, J., & Chao, Y. (2002). Drying characteristics of irradiated apple slices. *Journal of Food Engineering*, 52(1), 83-88.
- [10] Wang, J., & Chao, Y. (2003). Effect of gamma irradiation on quality of dried potato. *Radiation Physics and Chemistry*, 66(4), 293-297.
- [11] Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons.

Economize and optimization of the drying process of irradiate pretreatment on kiwi slices by the response surface method in combination with the principal components analysis

Abedi, A. ^{1*}

1. Assistant Professor , Mechanical Engineering of Biosystem, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

(Received: 2019/05/14 Accepted:2019/06/08)

Drying is one of the long-term food preservation methods that keeps the properties of the material. In this study, kiwifruit irradiated with different doses of 0, 2 and 4 kGy and were cutted offas slices at 3, 5 and 7 mm and then dried using oven dryer at 55, 65 and 75 °C. During the experiment, the weight of kiwi slice and drying time were recorded and using the response surface method was carried out the effect of the main and the interaction effects of drying temperature, irradiation and sample thickness on drying time and fruit weight. The surface response method predicted the drying time and weight of kiwi fruit with accuracy of 99 and 96%, respectively. Finally, the response surface method suggested the best and most optimal points as 298 min for drying time and the optimal 4.2 g fruit weight. The proposed optimum points were also obtained at dose of 4 kGy, a drying temperature of 55 °C and a fruit thickness of 6 mm. Also, PCA samples from various kiwifruit were determined by the method of pattern recognition, based on different drying temperatures and sample thicknesses at 100% accuracy.

Keywords: Optimization, Physical properties, PCA, RSM.

* Corresponding Author E-Mail Address: asghar.abedi2002@gmail.com