



مدل سازی و بهینه سازی تأثیر بوجاری و رطوبت بر ویژگی های فیزیکی و میکروبی گندم با روش سطح پاسخ

الهام آل حسینی^۱، سید مهدی جعفری^۲، علی معتمدزادگان^۳ و علی آل حسینی^۴

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت اله آملی، آمل، ایران

^۲دانشیار، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۳دانشیار، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت اله آملی، آمل، ایران
^۴دانشجوی دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، گروه نانو تکنولوژی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: گندم از جمله غلاتی است که جایگاه مهمی از نظر تغذیه ای در دنیا دارد. بررسی ویژگی های فیزیکی و میکروبی محصولات کشاورزی نقش مهمی را طی برداشت با ماشین، فرآیند تمیزسازی و کاهش ضایعات مربوط به آن ایفا می نماید. این پژوهش که برای اولین بار در ایران صورت می پذیرد به بهینه سازی تأثیر بوجاری و رطوبت روی برخی از ویژگی های فیزیکی (افت مفید، افت غیر مفید، هکتولیترا و وزن هزار دانه) و میکروبی (شمارش کلی میکروارگانیسم ها و کپک) دانه ی گندم رقم n-80 در استان گلستان می پردازد.

مواد و روش ها: پس از تعیین رطوبت پایه، نمونه هایی با سطوح بوجاری (۰-۱۰۰٪) و مقدار رطوبت (۱۰-۱۴ درصد بر مبنای وزن مرطوب) در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد بررسی شد و به کمک روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی صاف (شامل ۲۱ آزمون و ۵ تکرار در نقطه مرکزی) مدل سازی شدند.

یافته ها: نتایج نشان داد با کاهش محتوای رطوبت و افزایش درصد بوجاری، میزان افت مفید و افت غیر مفید کاهش و میزان هکتولیترا افزایش می یابد. همچنین، اثر افزایش درصد بوجاری تأثیر بیشتری در کاهش میزان افت مفید و افت غیر مفید نسبت به کاهش مقدار رطوبت داشت. کمترین میزان هکتولیترا در دمای ۴۰ درجه

*نویسنده مسئول: smjafari@gau.ac.ir

سانتی گراد، ۷۲/۵۸ کیلوگرم بر صد لیتر بود. بیشترین وزن هزار دانه در رطوبت ۱۴ درصد بر مبنای وزن مرطوب و سطح بوجاری ۱۰۰ درصد، ۳۶/۸۰ گرم مشاهده شد. افزایش میزان وزن هزار دانه در محتوای رطوبتی بالاتر، از شدت بیشتری نسبت به سطوح بوجاری بالاتر برخوردار بود. با بالا رفتن محتوای رطوبتی و کاهش درصد بوجاری، میزان شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک افزایش یافت. شاخص‌های خطی بوجاری و رطوبت اثر معنی‌داری ($P < 0/01$) در مدل خطی برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد داشتند. جمعیت کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک‌ها در رطوبت ۱۴ درصد و سطح بوجاری صفر درصد، نسبت به رطوبت ۱۰ درصد، به ترتیب معادل ۵۲/۷ و ۹۰ درصد افزایش یافتند. مقادیر ضرایب تبیین برای ویژگی‌های افت مفید، افت غیرمفید، هکتولیترا، وزن هزار دانه، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک به ترتیب برابر با ۰/۹۴۶۳، ۰/۹۸۱۸، ۰/۹۶۷۷، ۰/۸۲۵۵، ۰/۸۵۴۷ و ۰/۹۶۷۴ بودند. نتایج بهینه‌سازی در دمای نگهداری ۴۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد سطح بوجاری ۱۰۰ درصد و محتوای رطوبتی ۱۰ درصد بر مبنای مرطوب منجر به نگهداری گندم با درجه مطلوبیت ۹۴/۱ درصد می‌شود.

نتیجه‌گیری: برای تمامی ویژگی‌های مورد بررسی، با توجه به معنی‌دار نبودن مقدار عدم برازش مدل و بالا بودن مقادیر R^2 و R^2 متعادل شده، مدل‌های انتخابی دقت بالایی در پیش‌بینی داده‌ها داشتند.

واژه‌های کلیدی: سطوح بوجاری، گندم، محتوای رطوبتی، مدل‌سازی، ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی

مقدمه

گندم گیاهی از خانواده گندمیان (گرامینه^۱)، از نظر سطح زیر کشت و تولید سالیانه نسبت به سایر غلات در درجه اول اهمیت قرار دارد (۴۲). لزوم توجه به روش‌های مطلوب نگهداری گندم به دلیل میزان بالای ضایعات و اهمیت بسیار زیاد آن در کشور، بیش از پیش آشکار می‌شود (۲۳). به‌طور کلی هر چیزی به غیر از دانه‌های سالم، یک‌دست و یکنواخت را افت می‌نامند که شامل دانه‌های آسیب‌دیده، سن‌زده، چروکیده و لاغر، شکسته، دانه‌ی سایر غلات، تغییر رنگ یافته، بذر علف‌های هرز و دانه‌های غیر طبیعی است. افت محصول به دو دسته مفید و غیرمفید تقسیم می‌شود. هکتولیتزر بیانگر رابطه‌ی حجم با وزن است و در تجارت بین‌المللی غلات، یکی از شاخص‌های مؤثر در قیمت‌گذاری و ارزیابی راندمان آسیابانی گندم است. وزن دانه برحسب وزن هزار دانه بیان شده و تابعی از اندازه و دانسیته‌ی دانه است. دانه‌ی غلات منبع غذایی خوبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. وجود میکروارگانیسم‌ها در ذخیره‌سازی و نگهداری غلات اهمیت بسزایی دارد (۲۵، ۳۵ و ۳۷).

مدل، نمایش ساده یک سیستم پیچیده است. فرآیند ایجاد و انتخاب مدل‌ها را مدل‌سازی می‌نامند. بهینه‌سازی یک مدل، کمینه یا بیشینه کردن تابعی است که به عنوان معیاری از عملکرد مدل است (۳۹). طرح‌های بهینه توسط نرم‌افزار بر پایه معیارهای خاص و ورودی‌های معرفی شده کاربر ایجاد می‌شود. تفاوت این طرح‌ها در انتخاب نقاط آزمایش، تعداد آزمایش‌ها و بلوک‌ها می‌باشد. روش سطح پاسخ^۲، روش مدل‌سازی آماری برای بهینه‌سازی فرآیندهای غذایی در فرآیندهای دارای چند متغیر و داده‌های کم یا وجود برهم‌کنش میان متغیرها و پاسخ غیر خطی است (۱۵). از مزیت‌های این مدل، تخمین مقادیر بهینه فاکتورها با کمترین تعداد آزمایش و بررسی تأثیر متقابل متغیرها بر نتایج می‌باشد (۳۳). سولوگوویک و همکاران (۲۰۱۳) خواص فیزیکی دانه‌ی جو در محدوده رطوبتی ۱۳/۱۵ تا ۴۵/۸۲ درصد بر مبنای وزن خشک را بررسی کردند. نتایج نشان دادند با بالا رفتن رطوبت، وزن هزار دانه از ۳۹/۴۶ به ۵۱/۱۳ گرم افزایش و دانسیته‌ی ظاهری از ۶۹۹/۳۸ تا ۶۴۷/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت (۴۰). کریمی و همکاران (۲۰۰۹) اثر مقدار رطوبت را بر ویژگی‌های فیزیکی سه رقم گندم شیراز، کارون و شیروزی مطالعه کردند. سطوح رطوبت بررسی شده برحسب وزن مرطوب ۸، ۱۲ و ۱۸ درصد بود. وزن هزار دانه با افزایش مقدار رطوبت از ۱۸/۳۸ به ۲۲/۴۳ گرم افزایش و

1. Gramineae

2. Response Surface Method

دانسیتتهی توده‌ای از ۷۲۰ به ۶۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت (۲۸). در تحقیق دیگری، خیرعلیپور و همکاران (۲۰۰۸) خواص فیزیکی دانه‌ی گندم رقم شیراز را در مقدار رطوبت ۸ تا ۱۸ درصد بر مبنای وزن مرطوب بررسی کردند. در این مقدار رطوبت، وزن هزار دانه از ۲۰/۱۳ تا ۲۴ گرم افزایش و دانسیته‌ی توده‌ای از ۷۰۸/۴ به ۶۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافتند (۳۰). آل‌مهاسنه و رابابا (۲۰۰۶) خواص فیزیکی دانه‌های سبز گندم در دامنه رطوبت ۹/۳ تا ۴۱/۵ درصد بر مبنای وزن مرطوب را بررسی کردند. نتایج نشان داد، با افزایش مقدار رطوبت، ابعاد هندسی و وزن هزار دانه افزایش یافت (۳). جعفری و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای اثر میزان دما، زمان نگهداری، درصد بوجاری، غلظت گاز ازن و درصد گازهای نیتروژن و دی‌اکسیدکربن را بر گندم با هدف کاهش ضایعات آن بررسی کردند. نتایج بیانگر اثر معنی‌دار بوجاری بر افت مفید و غیرمفید، هکتولیترا، وزن هزار دانه؛ گاز دی‌اکسیدکربن بر افت مفید، وزن هزار دانه، گلوتن مرطوب و اسیدیته؛ و گاز ازن بر میزان هکتولیترا و pH ($P < 0.01$) است (۲۴). بخش‌آبادی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و آئروودینامیکی مالت جو با استفاده از روش سطح پاسخ پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان خیساندن و جوانه‌زنی، وزن هزار دانه و دانسیته کاهش یافت (۴).

از آنجایی که اطلاعات پراکنده‌ای در رابطه با مدل‌سازی ویژگی‌های دانه گندم و محصولات مشابه، تحت تأثیر بوجاری و رطوبت می‌توان یافت؛ لذا هدف از این مطالعه، مدل‌سازی اثر بوجاری و رطوبت بر ویژگی‌های فیزیکی (افت مفید، افت غیرمفید، هکتولیترا و وزن هزار دانه) و میکروبی (شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک) دانه‌ی گندم رقم n-80 در استان گلستان به کمک روش سطح پاسخ بود. این پژوهش به منظور کاهش ضایعات، یافتن بهترین شرایط نگهداری گندم و مدل‌سازی شرایط بهینه با استفاده از داده‌های به دست آمده انجام شد.

مواد و روش‌ها

تعیین رطوبت پایه، بوجاری و رطوبت‌افزایی: نمونه‌های گندم رقم n-80 از سیلوی اداره کل غله و خدمات بازرگانی استان گلستان (گرگان) برای این تحقیق خریداری شد. حدود ۵ تا ۱۰ گرم نمونه در آون 130 ± 2 درجه سانتی‌گراد (آون Memmert، مدل: ۶۰۰ 06062 D، ساخت آلمان) تا رسیدن به رطوبت ثابت، جهت تعیین مقدار رطوبت پایه‌ی هر نمونه خشک شد (۱۹). رطوبت پایه‌ی دانه‌های گندم، ۱۰ درصد بر مبنای وزن مرطوب تعیین شد. بوجاری گندم با استفاده از الک‌های استاندارد،

آهنربا (جهت جداسازی قطعات فلزی) و فن (جهت جداسازی کاه، کلش، دانه‌های پوک، خاک و...) انجام شد. مقدار رطوبت‌های بالاتر نمونه آزمایشی (۱۲ و ۱۴ درصد بر مبنای وزن مرطوب) با توجه به معادله ۱ محاسبه و با استفاده از آب مقطر تنظیم شد (۲).

$$Q = \frac{W_i (M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (1)$$

Q = جرم آب مقطر افزوده شده (گرم)، W_i = جرم اولیه‌ی نمونه، M_i و M_f = میزان رطوبت اولیه و نهایی نمونه برحسب وزن مرطوب (%).

درب کیسه پلی‌اتیلنی پس از افزودن آب مقطر به نمونه‌ی موجود در آن و همزدن دوخته شد و حداقل یک هفته جهت توزیع یکنواخت رطوبت نگهداری شد. سپس گندم‌هایی با سطوح بوجاری صفر درصد (بدون بوجاری)، ۵۰ درصد (برای این سطح مقدار معینی از گندم بدون بوجاری با همان مقدار از گندم کاملاً بوجاری شده مخلوط گردید.) و ۱۰۰ درصد (کاملاً بوجاری) و رطوبت‌های ۱۰، ۱۲ و ۱۴ درصد در بسته‌های چند لایه نفوذ ناپذیر^۱ قرار گرفته و پس از دوخت، در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، برای مدت زمان ۳ ماه نگهداری و سپس آزمون‌های مورد نظر روی آنها انجام شد (۲۳).

طراحی مدل آماری: به منظور طراحی آزمایشات و مدل‌سازی داده‌ها با روش سطح پاسخ و ترسیم نمودارهای مرتبط، از نرم‌افزار Design Expert نسخه 8.0.2.0، استفاده شد. در این پژوهش از طرح مرکب مرکزی^۲ صاف^۳ با ۲۱ آزمون و ۵ تکرار در نقطه مرکزی استفاده شد. همچنین کلیه آزمون‌ها در ۲ تکرار انجام شد (جداول ۱ و ۲).

جدول ۱: متغیرهای مستقل و مقادیر آنها.

Table 1. Independent variables and their values

کد و سطح مربوطه Code and relevant level			نماد ریاضی Mathematical symbol	متغیر مستقل Independent variable
-1	0	+1		
0	50	100	X	بوجاری (%) Cleaning (%)
10	12	14	Y	رطوبت (%) Moisture (%W.b)

۱. از جنس پلیمر چند لایه (پلی‌اتیلن و پلی‌استایرن)

2. Central Composite Design

3. Face Center

جدول ۲: طرح آزمایش مرکب مرکزی مورد استفاده جهت بررسی تأثیر بوجاری و رطوبت بر ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی گندم

Table 2. Central composite experimental design used to investigate the effect of cleaning and moisture on the physical and microbial characteristics of wheat

کپک (کلنی) Mold counts (colony)	متغیرهای وابسته Dependent variables			متغیر مستقل Independent variable			تیمار Treatment	
	شمارش کلی میکروارگانیزم (کلنی) Total count of microorganisms (colony)	وزن هزاردانه (gr) thousand seed Weight	هکتولتر (lit ⁻¹) Hectoliter	افت غیرمفید (%) Unuseful besatz (%)	افت مفید (%) Useful besatz (%)	رطوبت بر مبنای مرطوب (%) Moisture (%W.b)		بوجاری (%) Cleaning (%)
25.1	14000	37.60	75.94	0.02	2.88	14.00	100	1
16.0	15000	34.60	82.34	0.27	3.23	10.00	50	2
15.9	13000	34.10	80.09	0.26	3.01	10.00	50	3
22.1	17500	34.45	80.48	0.44	3.73	10.00	0	4
23.7	16000	34.35	78.03	0.30	3.28	12.00	50	5
24.0	16500	35.10	78.08	0.27	3.11	12.00	50	6
24.9	15600	36.10	76.01	0.03	2.46	14.00	100	7
23.7	16000	34.35	78.03	0.30	3.28	12.00	50	8
27.0	18200	34.35	72.73	0.49	3.89	14.00	0	9
25.5	16500	36.15	73.91	0.40	3.37	14.00	50	10
26.4	17800	36.50	74.02	0.33	3.41	14.00	50	11
25.1	17800	34.05	76.45	0.42	3.75	12.00	0	12
24.0	16500	35.10	78.08	0.27	3.11	12.00	50	13
14.1	13000	33.60	81.88	0.02	2.19	10.00	100	14
23.7	16000	34.35	78.03	0.30	3.28	12.00	50	15
14.8	11000	35.60	81.91	0.02	1.93	10.00	100	16
22.1	15000	35.60	80.27	0.02	2.46	12.00	100	17
22.6	13500	35.10	80.3	0.03	2.48	12.00	100	18
26.5	18800	35.10	72.8	0.51	3.79	14.00	0	19
22.8	16500	34.15	80.57	0.47	4.08	10.00	0	20
25.4	18000	34.60	76.5	0.50	3.69	12.00	0	21

ویژگی‌های فیزیکی: تعیین افت مفید و غیرمفید: مطابق استاندارد، افت مفید شامل دانه‌های شکسته و چروکیده‌ای است که از الک با منافذ ۲×۲ میلی‌متر عبور کند، همچنین شامل دانه‌های تغییر رنگ یافته در جوانه، دانه‌های سرمازده، نارس، جوانه‌زده، حشره‌زده و سایر غلات می‌باشد. افت غیرمفید غیرقابل مصرف بوده و شامل مواد خارجی، ناخالصی‌ها، بذر غلف‌های هرز (سمی و غیرسمی)، دانه‌های سمی

و مضر، دانه‌های سیاهک‌زده، ناخنک، آفت‌زدگی (به جز حشره‌زدگی) و دانه‌های کپک‌زده می‌باشد. افت‌های مفید و غیرمفید مطابق با روش استاندارد ICC 102/1 (۱۹۷۲) محاسبه شدند (۱۶).
تعیین وزن هزاردانه: نمونه‌ای به وزن تقریبی پانصد دانه به صورت تصادفی برداشته شد. دانه‌های سالم از نمونه‌ی اولیه جدا و شمارش گردید و سپس با ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم، مدل MX50، ساخت A&D ژاپن) وزن شد. محاسبه وزن هزار دانه از معادله‌ی ۲ انجام شد (۲۱).

$$m_h = \frac{m_o \times 1000}{N} \quad (2)$$

m_h = وزن هزار دانه هنگام دریافت، m_o = وزن دانه‌ها به گرم، N = تعداد دانه‌ها در m_o گرم دانه.

تعیین وزن هکتولیتتر: ابتدا پیمانانه دستگاه با نمونه پر و سپس قطعات دستگاه روی هم سوار شدند. محتوای پیمانانه، با کشیدن ضامن دستگاه به داخل مخزن ریخته و وزن دانه‌های داخل مخزن با ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۱ گرم، مدل GE1302، ساخت Sartorius آلمان) توزین شد. در نهایت، وزن هکتولیتتر با استفاده از معادله‌ی ۳ گزارش شد (۲۰).

$$\rho = \frac{m}{10} \quad (3)$$

ρ = وزن هکتولیتتر، m = وزن گندم توزین شده.

ویژگی‌های میکروبی

شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها: روش استاندارد ملی ایران به شماره ۵۲۷۲ (۲۰۰۷) برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها استفاده شد. تعداد میکروارگانیسم‌های موجود در نمونه (N) برحسب میانگین تعداد شمارش شده از دو رقت متوالی و با استفاده از معادله‌ی ۴ محاسبه و نتیجه به صورت تعداد میکروارگانیسم در گرم بیان شد (۱۷).

$$N = \frac{\sum C}{V (n_1 + 0.1n_2)d} \quad (4)$$

$\sum C$ = مجموع کلنی‌های شمارش شده در همه‌ی پلیت‌های انتخاب شده (از دو رقت متوالی).

V = حجم تلقیح شده در هر پلیت برحسب میلی‌لیتر.

d = ضریب رقت برحسب اولین رقت انتخاب شد.

n_1 = تعداد پلیت‌های شمارش شده در اولین رقت انتخاب شده (یعنی رقتی که حاوی مقدار بیشتری از نمونه بود).

n_2 = تعداد پلیت‌های شمارش شده در دومین رقت انتخاب شده (یعنی رقتی که حاوی مقدار کمتری از نمونه بود).

کپک: استاندارد ملی ایران به شماره ۹۸۹۹ (۲۰۰۷) برای تعیین میزان کپک استفاده شد. چنانچه تشخیص شکل کلنی کپک از باکتری‌ها امکان‌پذیر نبود، عدم وجود باکتری‌ها با آزمون لام مرطوب یا رنگ‌آمیزی سلول‌ها برای حداقل ۵ کلنی از هر نمونه تأیید شد (۱۸).

نتایج و بحث

معادلات چندجمله‌ای شامل خطی، برهم‌کنش، درجه دو و درجه سه به منظور تعیین مدل تجربی برای پیش‌بینی پاسخ بر داده‌های آزمایشی در روش سطح پاسخ شدند. صحت برازش و دقت پیش‌بینی مدل مناسب، با توجه به معنی‌دار بودن پارامترهای آزمون F، معنی‌دار نبودن عدم برازش^۱، مقادیر ضریب همبستگی و ضریب همبستگی متعادل شده انجام شد (۷ و ۳۶).

ویژگی‌های فیزیکی

افت مفید و افت غیرمفید: آزمون عدم برازش مدل برازش یافته افت مفید و مدل درجه دوم افت غیرمفید بر پاسخ، معنی‌دار نبود که بیانگر برازش خوب داده‌ها است (جدول‌های ۳ و ۴). همچنین نتایج نشان دادند که شاخص‌های b_0 ، X ، Y و XY اثر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر افت مفید و شاخص‌های b_0 ، X ، Y و X^2 اثر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر افت غیرمفید داشتند. مقادیر ضریب همبستگی افت مفید و افت غیرمفید به ترتیب ۰/۹۴۶۳ و ۰/۹۸۱۸ شد. ارتباط تجربی میان افت مفید (معادله ۵) و افت غیرمفید (معادله ۶) و دو متغیر مستقل مؤثر (براساس مقادیر حقیقی) به صورت زیر است.

$$\text{افت مفید} = 3.16 - 0.71 X + 0.14 Y + 0.17 XY \quad (5)$$

$$\text{افت غیرمفید} = 0.29 - 0.23 X + 0.025 Y - 0.057 X^2 \quad (6)$$

مطابق شکل ۱، با کاهش محتوای رطوبت و افزایش درصد بوجاری، میزان افت مفید و افت غیرمفید کاهش یافت. همچنین اثر افزایش درصد بوجاری تأثیر بیشتری در کاهش میزان افت مفید و افت غیرمفید نسبت به کاهش محتوای رطوبتی داشت. میزان افت مفید و افت غیرمفید در رطوبت ۱۴ درصد و بوجاری صفر درصد در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، به ترتیب ۳/۹۱ و ۰/۵۱ درصد بود. نتایج

1. Lack of Fit

بدست آمده مشابه دانه گندم (۲۳ و ۲۴) بود. احتمالاً افزایش میزان افت مفید، با بالا رفتن محتوای رطوبتی به دلیل ایجاد شرایط مناسب برای افزایش تعداد حشرات، دانه‌های شکسته و غیره است (۲۳). همچنین به نظر می‌رسد کاهش افت مفید با بالا رفتن سطوح بوجاری به دلیل حذف حشرات، دانه‌های شکسته، کاهش میزان سایر غلات، دانه‌های سن‌زده و... باشد (۲۴). افزایش افت غیرمفید با بالا رفتن محتوای رطوبتی، احتمالاً به دلیل ایجاد شرایط مناسب برای رشد و نمو میکروارگانیسم‌ها و افزایش میزان دانه‌های کپک‌زده و کاهش افت غیرمفید با بالا رفتن سطوح بوجاری، به دلیل حذف سنگ، کاه و کلش، خاک و... می‌باشد (۲۴ و ۲۵).

جدول ۳: انتخاب مدل برای ویژگی‌های افت مفید و غیرمفید در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

Table 3. Selecting the models for useful besatz and unuseful besatz characteristics at 40 °C

p Prob > F	افت غیرمفید (%)			افت مفید (%)			منبع Source
	مقادیر F F Value	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	مقادیر F F Value	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	
		1.52	1		209.96	1	میانگین (Mean)
<0.0001	193.03	0.62 **	2	<0.0001	95.26	6.30 **	خطی (Linear)
0.5080	0.46	7.508 × 10 ⁻⁴ ns	1	0.0051	10.31	0.22 **	بر هم کنش (2FI)
0.0015	10.35	0.016 **	2	0.1610	2.07	0.080 ns	درجه دوم (Quadratic)
0.0735	3.21	3.895 × 10 ⁻³ ns	2	0.3567	1.12	0.043 ns	درجه سه (Cubic)
		7.880 × 10 ⁻³	13		0.25	13	خطای باقیمانده (Residual)
		2.17	21		216.86	21	کل (Total)

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns معنی‌دار نیست.

** : Significant (p < 0.01), * : Significant (p < 0.05), ns: non-significant

جدول ۴: تحلیل واریانس ویژگی‌های افت مفید و غیرمفید در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

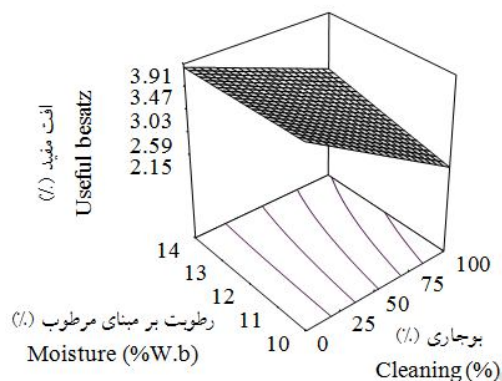
Table 4. Analysis of variance for useful besatz and unuseful besatz characteristics at 40 °C

افت غیرمفید (%)			افت مفید (%)			منبع Source
Unuseful besatz (%)			Useful besatz (%)			
مجموع مربعات Sum of Squares	ضرایب Coefficients	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of Squares	ضرایب Coefficients	درجه آزادی DF	
0.63 **	0.29	5	6.53 **	3.16	3	عرض از مبدأ (b_0)
0.61 **	-0.23	1	6.08 **	-0.71	1	بوجاری (X)
7.626×10^{-3} **	0.025	1	0.22 **	0.14	1	رطوبت (Y)
0.016 **	-0.057	1				اثر درجه دوم بوجاری (X^2)
1.415×10^{-3} ns	0.017	1				اثر درجه دوم رطوبت (Y^2)
7.508×10^{-4} ns	-9.688×10^{-3}	1	0.22 **	0.17	1	رطوبت × بوجاری (XY)
0.012		15	0.37		17	باقیمانده (Residual)
4.301×10^{-3} ns		3	0.12 ns		5	عدم برازش (Lack of Fit)
7.473×10^{-3}		12	0.25		12	خطای خالص (Pure Error)
0.65		20	6.90		20	مجموع مربعات کل (Cor Total)
	0.9818			0.9463		(R-Squared) R^2
	0.9757			0.9368		متعادل شده (Adj R-Squared) R^2
	0.9648			0.90		(Pred R-Squared) (Pred) R^2
	6.40			4.67		ضریب تغییرات (C.V.)

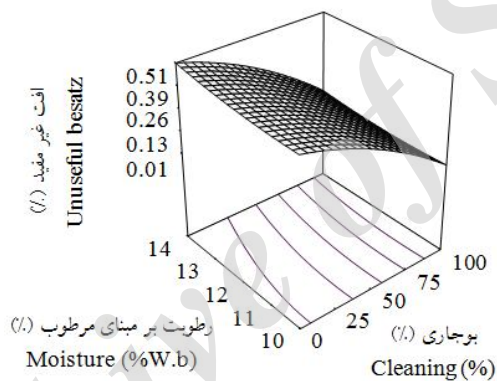
** : معنی دار در سطح یک درصد، * : معنی دار در سطح پنج درصد، ns : معنی دار نیست.

** : Significant ($p < 0.01$), * : Significant ($p < 0.05$), ns: non-significant.

هکتولیترا: آزمون عدم برازش مدل برهم‌کنش هکتولیترا بر پاسخ، معنی دار نبود که بیانگر برازش خوب داده‌ها است (جداول ۵ و ۶). همچنین نتایج نشان دادند که شاخص‌های b_0 , X, Y ($P < 0.01$) و XY ($P < 0.05$) اثر معنی‌داری برای هکتولیترا داشتند. مقادیر ضریب همبستگی و ضریب همبستگی متعادل شده برای هکتولیترا به ترتیب ۰/۹۶۷۷ و ۰/۹۶۲۱ می‌باشند. معادله‌ی ۷ ارتباط تجربی میان هکتولیترا و دو متغیر مستقل مؤثر (براساس مقادیر حقیقی) را نشان می‌دهد.



الف



ب

شکل ۱: نمودار سه بعدی تغییرات افت مفید (الف) و افت غیر مفید (ب) در سطوح مختلف بوجاری و رطوبت در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد.

Figure 1. Three dimensional plots of changes in useful besatz (a) and unuseful besatz (b) at different levels of cleaning and moisture content at 40 °C.

$$\text{هکتولیترا} = 77.93 + 1.40 X - 3.49 Y + 0.46 XY \quad (V)$$

شکل ۲ نشان می‌دهد، با کاهش رطوبت و افزایش درصد بوجاری، میزان هکتولیترا افزایش یافت. کمترین میزان هکتولیترا در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد، ۷۲/۵۸ کیلوگرم بر صد لیتر بود. نتایج بدست آمده مشابه دانه‌ی گندم (۲۵) بود. به نظر می‌رسد با بالا رفتن محتوای رطوبتی، نرخ افزایش حجم،

بیشتر از افزایش جرم بوده و به دنبال آن ما شاهد کاهش میزان هکتولیترا بودیم. این افزایش حجم در اثر بالا رفتن رطوبت را می‌توان به جذب آب توسط دانه‌ها نسبت داد (۱). به بیان دیگر افزایش جرم دانه‌های گندم در نتیجه جذب رطوبت، کمتر از انبساط حجمی توده‌ی دانه با افزایش رطوبت است (۲۴). احتمالاً این شیوه واکنش، مربوط به ویژگی‌های ساختاری دانه می‌باشد (۲۶). همچنین به نظر می‌رسد با افزایش سطوح بوجاری و به دنبال آن حذف دانه‌های کوچک، چروکیده، پوک، کاه و کلش و ...، وزن هکتولیترا افزایش می‌یابد (۲۳).

جدول ۵: انتخاب مدل برای ویژگی‌های هکتولیترا و وزن هزار دانه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

Table 5. Selecting the models for hectoliter and thousand seed weight characteristics at 40 °C

وزن هزار دانه (gr)				هکتولیترا (0.01kg. lit ⁻¹)				منبع Source
Weight thousand seed				Hectoliter				
P Prob > F	F مقادیر F Value	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	P Prob > F	F مقادیر F Value	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	
		25718	1			$1.275 \times 10^{+5}$	1	میانگین (Mean)
0.0003	12.84	11.18 **	2	<0.0001	206.20	169.49 **	2	خطی (Linear)
0.0470	4.59	1.67 *	1	0.0383	5.04	1.69 *	1	بر هم کنش (2FI)
0.2340	1.60	1.09 ns	2	0.1050	2.63	1.48 ns	2	درجه دوم (Quadratic)
0.6786	0.40	0.29 ns	2	0.0397	4.18	1.65 *	2	درجه سه (Cubic)
		4.79	13			2.57	13	خطای باقیمانده (Residual)
		25737.01	21			$1.277 \times 10^{+5}$	21	کل (Total)

** : معنی‌دار در سطح یک درصد، * : معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns : معنی‌دار نیست.

** : Significant (p < 0.01), * : Significant (p < 0.05), ns : non-significant.

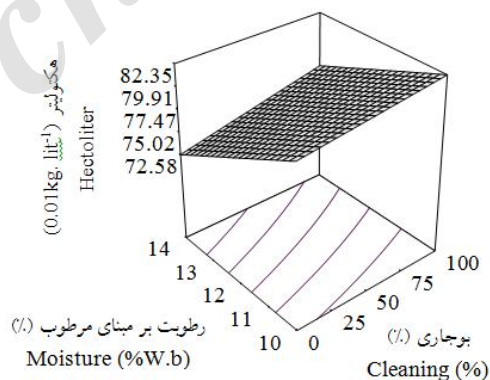
جدول ۶: تحلیل واریانس ویژگی‌های هکتولیترو وزن هزار دانه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد.

Table 6 . Analysis of Variance for hectoliter and thousand seed weight characteristics at 40 °C.

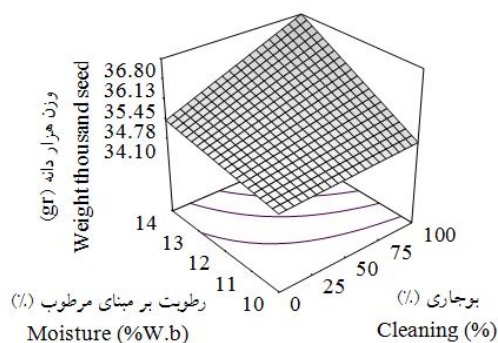
وزن هزاردانه (gr) Weight thousand seed			هکتولیترو (0.01kg. lit ⁻¹) Hectoliter			منبع Source
مجموع مربعات Sum of Squares	ضرایب Coefficients	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of Squares	ضرایب Coefficients	درجه آزادی DF	
12.84**	35.00	3	171.18**	77.93	3	عرض از مبدأ (b ₀)
3.97**	0.58	1	23.46**	1.40	1	بوجاری (X)
7.21**	0.78	1	146.02**	-3.49	1	رطوبت (Y)
						اثر درجه دوم بوجاری (X ²)
						اثر درجه دوم رطوبت (Y ²)
1.67*	0.46	1	1.69*	0.46	1	رطوبت × بوجاری (XY)
6.17		17	5.70		17	باقیمانده (Residual)
1.58 ^{ns}		5	3.15 ^{ns}		5	عدم برازش (Lack of Fit)
4.59		12	2.55		12	خطای خالص (Pure Error)
19.01		20	176.88		20	مجموع مربعات کل (Cor Total)
	0.8255			0.9677		(R-Squared) R ²
	0.8182			0.9621		R ² متعادل شده (Adj R-Squared)
	0.65			0.9535		(Pred R-Squared) (Pred)R ²
	1.72			0.74		ضریب تغییرات (C.V.)

**معی دار در سطح یک درصد، *معی دار در سطح پنج درصد، ns: معنی دار نیست.

** : Significant (p< 0.01), * : Significant (p< 0.05), ns: non-significant.



الف



ب

شکل ۲: نمودار سه بعدی تغییرات هکتولتر (الف) و وزن هزار دانه (ب) در سطوح مختلف بوجاری و رطوبت در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد.

Figure 2. Three dimensional plots of changes in hectoliter (a) and thousand seed weight (b) at different levels of cleaning and moisture content at 40 °C.

وزن هزار دانه: آزمون عدم برازش مدل برهم کنش وزن هزار دانه بر پاسخ، معنی دار نبود که بیانگر برازش خوب داده‌ها می‌باشد (جدول‌های ۵ و ۶). همچنین نتایج نشان دادند که شاخص‌های Y , X , b_0 و XY ($P < 0.05$) اثر معنی داری برای وزن هزار دانه داشتند. مقادیر ضریب همبستگی و ضریب همبستگی متعادل شده برای وزن هزار دانه به ترتیب 0.8182 و 0.8255 می‌باشند. معادله‌ی ۸ ارتباط تجربی میان وزن هزار دانه و دو متغیر مستقل مؤثر (براساس مقادیر حقیقی) را نشان می‌دهد.

$$\text{وزن هزار دانه} = 35 + 0.58 X + 0.78 Y + 0.46 XY \quad (8)$$

مطابق شکل ۲، با بالا رفتن محتوای رطوبتی و افزایش درصد بوجاری، وزن هزار دانه افزایش یافت. همچنین بیشترین وزن هزار دانه در رطوبت ۱۴ درصد بر مبنای وزن مرطوب و سطح بوجاری ۱۰۰ درصد، $36/80$ گرم مشاهده شد. افزایش میزان وزن هزار دانه در محتوای رطوبتی بالاتر، از شدت بیشتری نسبت به سطح بوجاری بالاتر برخوردار بود. وزن هزار دانه‌ی رقم مورد بررسی در مقایسه با دانه‌ی ارقام نخود (۶)، ذرت شیرین (۹)، سویا (۱۳)، پاپ کورن (۲۷)، پنبه (۳۱) و جو (۴۰) کمتر و از ارقام کانولا (۱۱)، ارزن (۵) و گندم (۲۸، ۳۰ و ۴۱) بیشتر بود. در رابطه با افزایش رطوبت و وزن هزار دانه، نتایج مشابهی در مورد دانه‌های دیگری مانند گلرنگ (۸)، ذرت شیرین (۹)، عدس (۱۲ و ۴۴)،

لوبیا قرمز (۲۲)، سویا (۱۳، ۱۴ و ۲۹)، سورگوم (۳۲)، آفتابگردان (۳۴)، شاهدانه (۳۸) و نخود (۶) و ۴۳) به دست آمده است. به نظر می‌رسد، افزایش وزن هزار دانه‌ی رقم گندم در پی بالا رفتن رطوبت را می‌توان به ساختار سلولی دانه‌ها، جذب آب در فضاهای بین سلولی و پرشدن منافذ و لوله‌های موئین دانه، به علت نفوذ آب در آنها نسبت داد (۱۰). همچنین احتمالاً بالا رفتن وزن هزار دانه به دنبال افزایش سطوح بوجاری را می‌توان به کاهش دانه‌های ریز و سبک گندم در طی عملیات بوجاری نسبت داد (۲۳).

ویژگی‌های میکروبی: آزمون عدم برازش مدل خطی شمارش کلی میکروارگانیسم و مدل درجه دوم میزان کپک بر پاسخ، معنی‌دار نبود که بیانگر برازش خوب داده‌ها می‌باشد (جداول ۷ و ۸). همچنین نتایج نشان دادند که شاخص‌های X ، b_0 و Y اثر معنی‌داری ($P < 0/01$) برای شمارش کلی میکروارگانیسم و شاخص‌های b_0 ، X ، Y و XY اثر معنی‌داری ($P < 0/01$) برای کپک داشتند. مقادیر ضرایب همبستگی برای شمارش کلی میکروارگانیسم و کپک به ترتیب $0/8547$ و $0/9674$ می‌باشند. ارتباط تجربی میان شمارش کلی میکروارگانیسم (معادله‌ی ۹) و کپک (معادله‌ی ۱۰) و دو متغیر مستقل مؤثر (براساس مقادیر حقیقی) آمده است.

$$(9) \quad \text{شمارش کلی میکروارگانیسم} = 15819.05 - 2058.33 X + 1241.67 Y$$

$$(10) \quad \text{میزان کپک} = 23.52 - 2.11 X + 4.14 Y - 2.20 Y^2 + 1.56 XY$$

مطابق شکل ۳، با بالا رفتن محتوای رطوبتی و کاهش درصد بوجاری، میزان شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک‌ها افزایش یافت. شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک‌ها در رطوبت ۱۴ درصد بر مبنای وزن مرطوب و سطح بوجاری صفر درصد، نسبت به رطوبت ۱۰ درصد بر مبنای وزن مرطوب، به ترتیب معادل $52/7$ و 90 درصد افزایش یافتند.

جدول ۷: انتخاب مدل برای ویژگی‌های شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد.

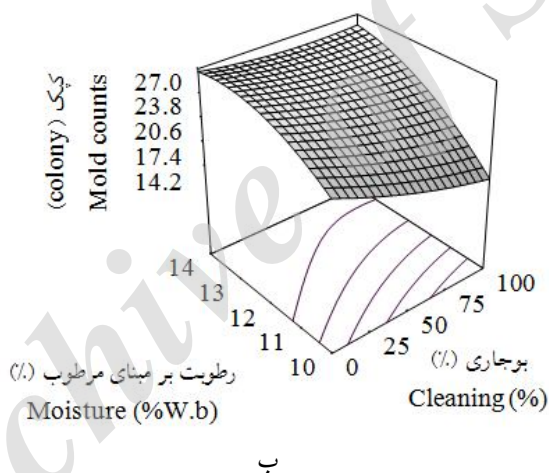
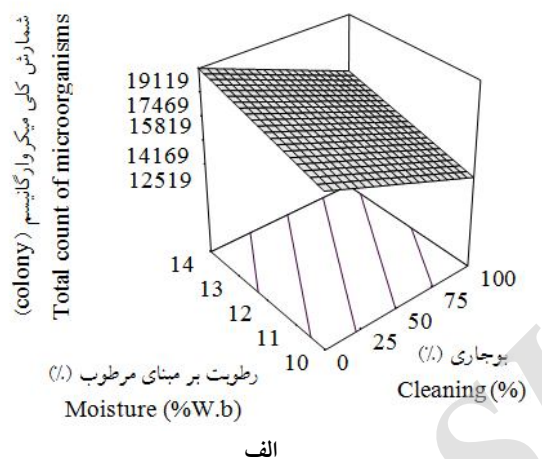
Table 7. Selecting the models for total counts of microorganisms and molds at 40 °C.

کپک (کلنی)				شمارش کلی میکروارگانیسم (کلنی)				منبع Source
Mold counts (colony)				Total count of microorganisms (colony)				
P Prob > F	مقادیر F Value	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	P Prob > F	مقادیر F Value	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	
		10762.15	1			$5.255 \times 10^{+9}$	1	میانگین (Mean)
<0.0001	43.63	259.18 **	2	<0.0001	52.93	$6.934 \times 10^{+7}$ **	2	خطی (Linear)
0.0061	9.78	19.53 **	1	0.2678	1.31	$8.450 \times 10^{+5}$ ns	1	برهم‌کنش (2FI)
0.0001	17.49	23.75 **	2	0.2858	1.36	$1.683 \times 10^{+6}$ ns	2	درجه دوم (Quadratic)
0.0005	14.42	7.02 **	2	0.4784	0.78	$9.933 \times 10^{+5}$ ns	2	درجه سه (Cubic)
		3.16	13			$8.269 \times 10^{+6}$	13	خطای باقیمانده (Residual)
		11074.79	21			$5.336 \times 10^{+9}$	21	کل (Total)

** : معنی‌دار در سطح یک درصد، * : معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns : معنی‌دار نیست.

** : Significant (p < 0.01), * : Significant (p < 0.05), ns: non-significant.

به نظر می‌رسد، افزایش فعالیت میکروبی با بالا رفتن رطوبت را می‌توان به ایجاد شرایط مناسب و افزایش فعالیت آبی نسبت داد. باید توجه داشت بسیاری از گونه‌های کپکی، فلور طبیعی گندم بوده و در طبیعت به فراوانی یافت می‌شوند و در شرایط نامناسب رطوبتی و حرارتی، این فلور طبیعی با سرعت زیادی رشد می‌نماید (۲۵). همچنین احتمالاً کاهش میزان میکروارگانیسم‌ها، با افزایش درصد بوجاری، به دلیل حذف کاه و کلش، خاک، حشرات، دانه‌های کپک‌زده و ... از دانه‌های سالم باشد (۲۳).



شکل ۳: نمودار سه بعدی تغییرات شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها (الف) و کپک (ب) در سطوح مختلف بوجاری و رطوبت در ۴۰ درجه سانتی‌گراد.

Figure 3. Three dimensional plots of changes in total count of microorganisms (a) and molds (b) at different levels of cleaning and moisture content at 40 °C.

جدول ۸: تحلیل واریانس ویژگی‌های شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

Table 8. Analysis of variance for total counts of microorganisms and molds at 40 °C

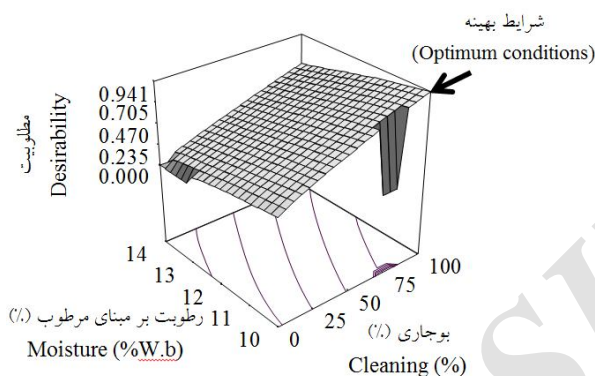
کپک (کلنی) Mold counts (colony)		شمارش کلی میکروارگانیسم (کلنی) Total count of microorganisms (colony)		منبع Source		
مجموع مربعات Sum of Squares	ضرایب Coefficients	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of Squares	ضرایب Coefficients	درجه آزادی DF	
302.46 **	23.52	5	$6.934 \times 10^{+7}$ **	15819.05	2	عرض از مبدأ (b ₀)
53.34 **	-2.11	1	$5.084 \times 10^{+7}$ **	- 2058.33	1	بوجاری (X)
205.84 **	4.14	1	$1.850 \times 10^{+7}$ **	1241.67	1	رطوبت (Y)
2.08 ^{ns}	0.65	1				اثر درجه دوم بوجاری (X ²)
23.61 **	-2.20	1				اثر درجه دوم رطوبت (Y ²)
19.53 **	1.56	1				رطوبت × بوجاری (XY)
10.19		15	$1.179 \times 10^{+7}$		18	باقیمانده (Residual)
8.86 ^{ns}		3	$3.541 \times 10^{+6}$ ns		6	عدم برازش (Lack of Fit)
1.32		12	$8.250 \times 10^{+6}$		12	خطای خالص (Pure Error)
312.65		20	$8.113 \times 10^{+7}$		20	مجموع مربعات کل (Cor Total)
	0.9674			0.8547		(R-Squared) R ²
	0.9566			0.8385		R ² متعادل شده (Adj R-Squared)
	0.9318			0.7899		(Pred R-Squared) (Pred)R ²
	3.64			5.12		ضریب تغییرات (C.V.)

** : معنی دار در سطح یک درصد، * : معنی دار در سطح پنج درصد، ns : معنی دار نیست.

** : Significant (p < 0.01), * : Significant (p < 0.05), ns: non-significant.

بهینه‌سازی فرآیند: نتایج بهینه‌سازی در دمای نگهداری ۴۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد، زمانی که ویژگی‌هایی نظیر وزن هزار دانه و هکتولیت در حداکثر مقدار، افت مفید و افت غیرمفید در حداقل مقدار و شمارش کلی میکروارگانیسم و میزان کپک در محدوده استاندارد باشند، سطح بوجاری ۱۰۰٪ و محتوای رطوبتی ۱۰٪ بر مبنای وزن مرطوب منجر به نگهداری گندم با درجه‌ی مطلوبیت ۹۴/۱ درصد می‌شود (شکل ۴). به منظور ارزیابی صحت مدل‌های برازش شده با داده‌های آزمایشی، آزمون‌های موردنظر در شرایط بهینه صورت گرفت و نتایج آنها با مقادیر پیش‌گویی شده توسط مدل

مقایسه شد (جدول ۹). نتایج این ارزیابی نشان داد که مدل سطح پاسخ به خوبی قادر به بهینه‌سازی شرایط آزمایش بود.



شکل ۴: نمودار سه بعدی تغییرات مطلوبیت در سطوح مختلف بوجاری و رطوبت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای دانه‌ی گندم.

Figure 4. Three dimensional plots of changes in desirability at different levels of cleaning and moisture content for wheat grain at 40 °C.

جدول ۹: بهینه‌سازی فرآیند در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بر روی گندم

Table 9. Optimization of the process at 40 °C on the wheat grain

مقادیر آزمایش شده (Experimented values)	مقادیر پیشگویی شده (Predicted values)	ویژگی (Characteristics)	شرایط بهینه (Optimum conditions)
2.19	2.15	افت مفید (%) (Useful besatz)	
0.01	0.01	افت غیرمفید (%) (Unuseful besatz)	بوجاری ۱۰۰٪
81.90	82.35	هکتولتر (0.01kg. lit ⁻¹) (Hectoliter)	Cleaning)
34.55	34.34	وزن هزاردانه (gr) (Weight thousand seed)	(100%)
12000	12519	شمارش کلی میکروارگانیسم (colony) (Total count of microorganisms)	رطوبت ۱۰٪ (Moisture 10%)
14.4	14.2	کپک (colony) (Mold counts)	

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی دانه‌ی گندم رقم n-80 استان گلستان، تحت تأثیر میزان بوجاری و محتوای رطوبتی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفته و مدل‌سازی شدند. نتایج نشان داد، که با کاهش محتوای رطوبت و افزایش درصد بوجاری، میزان افت مفید، افت غیرمفید، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک‌ها کاهش و میزان هکتولتر افزایش یافت. همچنین با بالا رفتن محتوای رطوبتی و افزایش درصد بوجاری، میزان وزن هزار دانه به ۳۶/۸۰ گرم افزایش یافت. با توجه به معنی‌دار نبودن مقدار عدم برازش مدل و بالا بودن مقادیر R^2 و R^2 متعادل شده برای تمامی ویژگی‌های مورد بررسی، مدل‌های انتخابی دقت بالایی در پیش‌بینی داده‌ها داشتند. همچنین نتایج بهینه‌سازی نشان داد، بوجاری ۱۰۰٪ و محتوای رطوبتی ۱۰٪ بر مبنای مرطوب منجر به نگهداری گندم با درجه‌ی مطلوبیت ۹۴/۱ درصد می‌شود.

سپاسگزاری

این مطالعه، بخشی از طرح پژوهشی ملی سفارش شده توسط شرکت غله و خدمات بازرگانی منطقه ۲ بوده و از حمایت مالی آن شرکت برخوردار بوده است. همچنین، از مساعدت و همکاری کارکنان آزمایشگاه اداره غله و خدمات بازرگانی استان گلستان، صمیمانه تشکر می‌گردد.

منابع

1. Alehosseini, A., Tavakolipour, H., Ghodsevali, A.R. and Jafari, S.M. 2011. Evaluation of the physical properties of two pea varieties. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 3, 1: 43-50. (In Persian)
2. Alehosseini, A., Tavakolipour, H., Ghodsevali, A.R. and Jafari, S. M. 2011. The effect of moisture content on friction and aerodynamic characteristics of two pea cultivars Golestan province. *The first international conference on supply chain optimization, distribution and use in the food industry*. (In Persian)
3. Al-Mahasneh, M. A. and Rababah, T. M. 2006. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. *Journal of Food Engineering*. 79:1467-1473.
4. Bakhshabadi, H., Mirzaei, H., Ghodsevali, A., Ziaifar, A., Aidani, E. and Mohammadi, M. 2012. Studies of physicochemical and aerodynamic characteristics of barley malt using response surface methodology. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 3, 4: 41-50. (In Persian)

5. Baryeh, E. A. 2002. Physical properties of millet. *Journal of Food Engineering*. 51(1): 39-46.
6. Baryeh, E. A. and Mangope, B. K. 2003. Some physical properties of QP-38 variety pigeon pea. *Journal of Food Engineering*. 56(1): 59-65.
7. Bas, D. and Boyanci, I.H. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. 78: 836-845.
8. Baumler, E., Cuniberti, A., Nolasco, S. M. and Riccobene, I. C. 2006. Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*. 72(2): 134-140.
9. Bülent Coşkun, M., Yalçın, I. and Özarlan, C. 2006. Physical properties of sweet corn seed (*Zea mays saccharata Sturt.*). *Journal of Food Engineering*. 74(4): 523-528.
10. Çağatay Selvi, K., Pinar, Y. and Yeşiloğlu, E. 2006. Some Physical Properties of Linseed. *Biosystems Engineering*. 95(4): 607-612.
11. Çalışır, S., Marakoğlu, T., Ögüt, H. and Öztürk, Ö. 2005. Physical properties of rapeseed (*Brassica napus oleifera L.*). *Journal of Food Engineering*. 69(1): 61-66.
12. Çarman K. 1996. Some Physical Properties of Lentil Seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 63(2): 87-92.
13. Deshpande, S. D., Bal, S. and Ojha, T. P. 1993. Physical Properties of Soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 56(2) 89-98.
14. Farhang Mehr, A., Ghodsevali, A. R. and Hdadkhodaparast, M. H. 2009. Evaluation of the physical properties of soybean. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 1, 3. (In Persian)
15. Hill, W.J. and Hunter, W.G. 1966. A review of response methodology: A literature survey, *Technometrics*. 8 (4): 571-590.
16. International Cereal Council (ICC). 1972. Determination of besatz of wheat. International Cereal Council. Standard No. 102/1.
17. Iranian National Standardization Organization. 2007. Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the enumeration of microorganisms-Colony count technique at 30 °c. Iranian National Standardization, No.5272. 1st.Revision. (In Persian)
18. Iranian National Standardization Organization. 2007. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Guideline of general requirements for examination. Iranian National Standardization, No.9899. 1st. Edition. (In Persian)
19. Iranian National Standardization Organization. 2010. Cereal and cereal products-Determination of moisture content-Reference method. Iranian National Standardization, No.2705. 1st. Revision. (In Persian)
20. Iranian National Standardization Organization. 2010. Cereals-Determination of bulk density, called mass per hectoliter Part1: Reference method. Iranian National Standardization, No.8164-1. 1st.Revision. (In Persian)

21. Iranian National Standardization Organization. 2013. Cereals and pulses - Determination of the mass of 1000 grains. Iranian National Standardization, No.7629. 1st.Revision. (In Persian)
22. IŞik, E. and Ünal, H. 2007. Moisture-dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains. *Journal of Food Engineering*. 82(2): 209-216.
23. Jafari, S. M., Baghbani, R., Alehosseini, A. and Asadpour, E. 2012. Investigate the possibility of cleaning before storage in silos to reduce waste and increasing shelf life (National Plan No. 60/G/1). Iranian Governmental Trade Company. (In Persian)
24. Jafari, S. M., Baghbani, R., Alehosseini, A. and Asadpour, E. 2014. Evaluation of ozone, CO₂ and nitrogen gas to increase the shelf life of wheat in the silos for storage (National Plan No. 60/G/2). Iranian Governmental Trade Company. (In Persian)
25. Jafari, S. M., Pourmohammadi, K. and Asadpour, E. 2011. Comprehensive guide for the quality control of wheat, flour and bread. Publishers Iranian Governmental Trade Company. First Edition. 318 p. (In Persian)
26. Jayan, P. R. and Kumar, V. G. F. 2004. Planter design in relation to the physical properties of seeds. *Journal of Tropical Agriculture*. 42(1-2): 69-71.
27. Karababa, E. 2006. Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering*. 72(1): 100-107.
28. Karimi, M., Kheiralipour, K., Tabatabaeefar, A., Khoubakht, G.M., Naderi, M. and Heidarbeigi, K. 2009. The effect of moisture content on physical properties of wheat. *Journal of Nutrition*. 8(1): 90-95.
29. Kashaninejad, M., Ahmadi, M., Daraei, A. and Chabra, D. 2008. Handling and frictional characteristics of soybean as a function of moisture content and variety. *Powder Technology*. 188(1): 1-8.
30. Kheiralipour, K., Karimi, M., Tabatabaeefar, A., Naderi, M., Khoubakht, G. and Heidarbeigi, k. 2008. Moisture-Depend Physical Properties of Wheat (*Triticum aestivum L.*). *Journal of Agricultural Technology*. 4(1): 53-64.
31. Manimehalai, N. and Viswanathan, R. 2006. Physical Properties of Fuzzy Cottonseeds. *Biosystems Engineering*. 95(2): 207-217.
32. Mwithiga, G. and Sifuna, M.M. 2006. Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. *Journal of Food Engineering*. 75 (4): 480– 486.
33. Myers, H. 1991. Response Surface Methodology in quality improvement. *Common Statistics Theory and Methods*. 20: 457-476.
34. Niasti, s., Tavakolipour, H., Ghodsevali, A., Armin, M. and Sharifi, A. 2010. Physical properties of sunflower seeds. *Internatinal Congress on Food Technology*.
35. Payan, R. 2006. An introduction to technology and cereal products. Publication Ayej, First Edition. Pp: 4-8, 29-54. (In Persian)

36. Rafigh, S.M., Vossoughi, M., Vaziri, A., Safekordi, A.A. and Ardjomand, M. 2015. Synthesis, Optimization and Modeling of Curdlan Gum Production from *Paenibacillus Polymyxa* using RSM Journal of Food Technology and Nutrition. 13, 3: 13-28. (In Persian)
37. Rajabzadeh, N. 1996. Technology, preparation and storage of cereals. Publication of Imam Reza in Mashhad, First Edition, Pp: 99-101, 105-172. (In Persian)
38. Sacilik, K., Öztürk, R. and Keskin, R. 2003. Some Physical Properties of Hemp Seed. Biosystems Engineering. 86(2): 191-198.
39. Shi, W. F. and Xue, S. L. 2005. A novel chaotic neural networks and application. Proceedings of international conference. 8:4651-4656.
40. Sologubik, C. A., Campañone, L. A., Pagano, A. M. and Gely, M. C. 2013. Effect of moisture content on some physical properties of barley. Industrial Crops and Products. 43:762– 767.
41. Tabatabaeefar, A. 2003. Moisture-dependent physical properties of wheat. International Agrophysics. 17:207–211.
42. Taheri, A. 2010. Book Twelfth- Economic Papers. Grain Research Center. (In Persian)
43. Yalçın, I., Özarlan, C. and Akbaş, T. 2007. Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. Journal of Food Engineering. 79(2): 731-735.
44. Zahedi, S. M. T., Taheri, A. Mousavi, S. M. and Jafari, S. M. 2009. Effect of moisture content on physical and chemical properties of two lentil varieties Grown in Iran. Journal of Innovation in Food Science and Technology. 1, 1, 57-70. (In Persian)

Modeling and optimizing the effects of cleaning and moisture content on the physical and microbial characteristics of wheat by response surface methodology

E. Alehosseini¹, S.M. Jafari^{2*}, A. Motamedzadegan³ and A. Alehosseini⁴

¹Graduated MSc., Department of Food Materials and Process Design Engineering, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Science and Research Branch, Amol, Iran

² Associate Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran

³ Associate Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Science and Research Branch, Amol, Iran

⁴ PhD. Student of Food Materials and Process Design Engineering, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science & Technology, Mashhad, Iran

Received: 2015/05/26; Accepted: 2016/05/08

Abstract

Background and objectives: Wheat grain has an important value in the world nutrition. Evaluating the physical and microbial properties of agricultural products plays an important role during harvesting with machines, cleaning process and waste reduction. In this study, for the first time in Iran, the optimized effects of cleaning and moisture content at 40 °C on the physical (useful besatz, unuseful besatz, hectoliter, thousand seed weight) and microbial (total count of bacteria and molds) properties of wheat grain (n-80 variety) in Golestan province, were modeled.

Materials and methods: After determining the basic moisture content, samples with three levels of cleaning (0-100%), and different moisture contents (10-14% w.b) at 40 °C were studied and modeled by response surface methodology using central composite design (face center) including 21 tests with five repeats at the central point.

Results: The results showed that by reducing moisture content and increasing cleaning levels, useful and unuseful besatz decreased and hectoliter increased. Also

*Corresponding author; smjafari@gau.ac.ir

increasing the cleaning percentage was more effective than moisture content reduction in reducing useful besatz and unuseful besatz. The lowest value of hectoliter was 72.58 (0.01kg. lit⁻¹) at 40 °C. The highest thousand seed weight at moisture content 14% (w.b) and cleaning level 100%, was 36.80 gr. Higher rate in increase in thousand seed weight was found in the higher moisture content than that in the higher level of cleaning. With increasing moisture content and reduction in cleaning level, total microbial count increased. Linear parameters of cleaning and moisture had a significant effect ($p < 0.01$) at 40 °C on the total count of microorganisms in the linear model. Total microbial count increased by 52.7 and 90%, at moisture content 14% (w.b) and cleaning level of 10%, respectively in comparison to that in moisture content 10% (w.b). R^2 for useful besatz, unuseful besatz, hectoliter, thousand seed weight, total counts of microorganisms and molds (colony/g) were 0.9463, 0.9818, 0.9677, 0.8255, 0.8547 and 0.9674, respectively. The results of optimization at 40 °C showed that cleaning level of 100% and moisture content of 10% (w.b) resulted in storage of grain wheat with desirability of 94.1%.

Conclusion: Regard to non-significant lack of fit and high values of R^2 and adjusted R^2 , our selected models could accurately predict the experimental values for all studied properties.

Keywords: Cleaning, Wheat, Moisture content, Modeling, Physical and microbial characteristics

Archive of SID