DOI: http://dx.doi.org/ 10.22104/JIFT.2019.3359.1803

فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره ۷، شماره ۱، صفحه ۱۴۷-۱۱۵، پاییز ۱۳۹۸

مقاله پژوهشی

ارزیابی کاربرد روش ظرفیت نگه‌داری حلال در تعیین ویژگی‌های آرد و کیفیت نانوایی چاودم (۱)

مهسا چاووشی[۱]، مهدی کدیور[۲*]، احمد ارزانی[۳]، محمدرضا سبزعلیان[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۲۵، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۱۲/۸، تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۲۱)

چکیده

ظرفیت نگه‌داری حلال آرد solvent retention capacity، سازگاری انواع خاصی از حلال براساس رفتار انبساطی تسریع‌شده برای سه جزء پلیمری آرد شامل پروتئین‌های گلوتن، نشاسته آسیب‌دیده و پنتوزان‌ها به‌ویژه آرابینوزایلان‌ها است که به نوبه خود امکان پیش‌بینی عملکرد جداگانه هر یک از این اجزاء در آرد را فراهم می‌کند. توانایی تجزیه و تحلیل ظرفیت عملکردی اختصاصی هر جزء پلیمری آرد، کاربران نهایی را به پیش‌بینی بهتر عملکرد کلی آرد و به‌دست آوردن کیفیت فراورده بهینه، قادر می‌سازد. هدف از این پژوهش، ارزیابی کاربرد آزمون SRC، در تعیین برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های دانه و آرد ۱۲ رقم چاودم یا تریتیکاله هگزاپلوئید و مقایسه آن‌ها با گندم نان، گندم دوروم و چاودار به‌عنوان ارقام نزدیک و همچنین تعیین ضرایب همبستگی بین انواع ویژگی‌های دانه و آرد چاودم‌ها بود. در این تحقیق، از ۴ حلال اصلی آزمون SRC شامل آب دیونیزه همبسته با همه ترکیبات پلیمری آرد، محلول لاکتیک اسید ۵٪ همبسته با ویژگی‌های پلیمرهای گلوتنین‌ها، محلول سدیم کربنات ۵٪ همبسته با محتوای نشاسته‌ی آسیب‌دیده و محلول ساکارز ۵۰٪ همبسته با ویژگی‌های آرابینوزایلان‌ها استفاده شد. طبق نتایج، از ارقام چاودمی که دارای ویژگی‌های فیزیکی دانه بهتری بودند، آردهایی تولید شد که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دارای کیفیت نانوایی بسیار بالاتری نسبت به سایر ارقام چاودم بودند. طی آزمون SRC، چنین آردهایی به علت بالا بودن کیفیت اجزاء پلیمری خود، دارای ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری انواع حلال‌ها بودند و پروفیل‌های SRC مطلوب‌تر و بالاتری داشتند. طبق نتایج، آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال SRC، به لحاظ روابط معنی‌دار و بسیار قوی پروفیل‌های آن با پارامترهای سایر روش‌های تعیین‌کننده کیفیت دانه و آرد، به تنهایی و به سهولت در تعیین و تشخیص ارقام با کیفیت نانوایی برتر و در نتیجه به‌دست آوردن فراورده با بهترین کیفیت قابل استفاده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ظرفیت نگه‌داری حلال، پروتئین‌های گلوتن، نشاسته‌ی آسیب‌دیده، پنتوزان‌ها، ظرفیت عملکردی اختصاصی، کیفیت فراورده بهینه.

* نویسنده مسئول: kadivar@iut.ac.ir

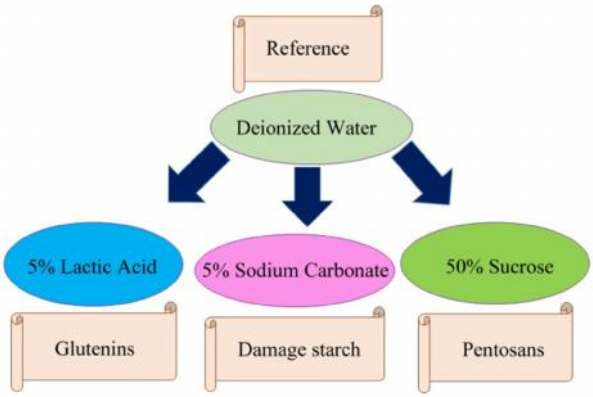
۱. مقدمه

در سال ۱۸۷۵، چاودم یا تریتیکاله با نام علمی *Triticosecale Wittmack* با تلاقی چاودار به‌عنوان والد نر با آرایش ژنومی AARR و گندم به‌عنوان والد ماده با آرایش ژنومی AABBDD ایجاد شد [۱]. ایده اصلی، ترکیب ویژگی‌های کیفی مثبت هر دو غله چاودار و گندم مانند تحمل به شرایط سخت در طی رشد و کاربردهای غذایی مختلف بود. لهستان، آلمان، بلاروس، فرانسه و روسیه از تولیدکنندگان برتر چاودم هستند. چین تولیدکننده عمده چاودم در خارج از اروپا است [۱]. در بررسی انجام شده توسط ارتیز - موناستریو و همکاران در سال ۲۰۰۲ عملکرد دانه چاودم در شرایط تنش رطوبتی و نیتروژن، بهتر از گندم گزارش شده است [۲]. با استناد به برخی از منابع علمی، چاودم در گروه گیاهان متحمل به شوری جای دارد به‌طوری که تحمل بسیاری از ارقام آن به شوری مشابه گندم و برخی حتی بیشتر از گندم است [۳]. در مطالعه‌ای دیگر، قدرت تحمل به شوری چاودم بیش از چاودار و تقریبا مشابه جو عنوان شده است [۴]. به‌طور متوسط در هر g ۱۰۰ دانه چاودم حدود g ۱۳/۰۵ پروتئین وجود دارد و در مقایسه با سایر غلات میزان پتاسیم، فسفر و منیزیم بیشتری دارد. همچنین میزان اسید آمینه‌های لیزین و میتونین چاودم از گندم بیشتر است [۳]. این مزیت گیاه چاودم می‌تواند باعث ارزش غذایی بالاتر آن نسبت به گندم شود. براین اساس برای افزایش این اسیدهای آمینه در گندم نان، می‌توان تا ۵۰٪ آرد آن را با گندم مخلوط کرد و یا این که از آرد آن در تهیه انواع نان، بیسکویت، پاستا، کیک و سایر فراورده‌ها استفاده نمود [۳]. به‌طور کلی، ترکیب شیمیایی چاودم بیشتر شبیه به گندم نسبت به چاودار است [۱]. برخی از اثرات سلامتی‌بخش چاودم مانند خاصیت آنتی اکسیدانی و فعالیت ضد کولین استراز در شرایط آزمایشگاهی گزارش شده است. بنابراین، چاودم می‌تواند در بازار رو به رشد مواد غذایی سالم و در تهیه فراورده‌های جدید از غلات نقش بارزی ایفا کند. لازم به ذکر است که چاودم حاوی گلوتن است و برای افراد مبتلا به بیماری سلیاک مناسب نیست [۱].

کیفیت آرد به‌عنوان ترکیبی از عملکرد و انطباق، متاثر از چهار عامل عمده ژنتیک، کشاورزی، آسیابانی و نانوایی است [۵]. به‌منظور تجزیه و تحلیل رابطه بین کیفیت آرد و کیفیت فراورده‌های نانوایی، روش‌های سنجش رئولوژی خمیر و آزمون‌های پخت به‌صورت گسترده و سنتی استفاده شده است [۶]. در مجموع، آزمون‌های تجربی رئولوژیکی و پخت می‌توانند خصوصیاتی از قبیل شدت نشاسته آسیب‌دیده، نحوه عملکرد آرابینوزایلان‌ها و ویژگی‌های رئولوژیکی پروتئین‌های گلوتن را به‌طور کلی نشان‌دهند، ولی قادر به تعیین ظرفیت عملکردی اختصاصی هر یک از این اجزاء پلیمری به‌طور جداگانه نمی‌باشند [۷]. توانایی تجزیه و تحلیل ظرفیت عملکردی اختصاصی هر جزء پلیمری آرد، کاربران نهایی را به پیش‌بینی بهتر عملکرد کلی آرد و به‌دست آوردن فراورده با کیفیت بهینه قادر می‌سازد [۷]. دو محقق به نام‌های فینی و یامازاکی در سال ۱۹۴۶ گزارش دادند که آزمون ظرفیت نگه‌داری اسید - آب آرد گندم‌های سخت با حجم قرص نان ارتباط بسیار زیادی دارد. پس از آن، فینی و یامازاکی در سال ۱۹۵۳ ویسکوزیته‌ی قلیایی را معرفی و همبستگی بالای آن با قطرکوکی (diameter cookie) را گزارش دادند. یامازاکی در سال ۱۹۵۳ ظرفیت نگه‌داری آب قلیایی alkaline water retention capacity را معرفی و همبستگی بالای آن با قطر کوکی را گزارش داد. از آن زمان، روش AWRC مورد تایید AACC بین المللی، روش ۵۶ - ۰۲.۱۰ درسال ۲۰۱۰، به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب آرد که نتیجه‌ی مجموع ظرفیت هر یک از سه مولفه عملکردی پلیمری آرد می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت [۶].

در ادامه، ظرفیت جذب آب به تنهایی برای پیش‌بینی ویژگی‌های مختلف مورد نیاز آرد برای انواع مختلف فراورده‌های نانوایی کافی نبود. همانطور که قبلا ذکر شد، برای این منظور، تجزیه و تحلیل ظرفیت عملکردی هر یک از مؤلفه‌های اصلی آرد به‌صورت جداگانه و اختصاصی مورد نیاز است. بدین منظور یک روش دقیق‌تر تحت‌عنوان ظرفیت نگه‌داری حلال solvent retention capacity در اواخر سال ۱۹۸۰ توسط لوئیس اسلید معرفی گردید [۶]. در سال ۱۹۹۹، کمیته فنی AACC آرد گندم نرم، یک مطالعه مشترک برای ارزیابی روش SRC انجام داد و پس از آن کمیته این روش را به‌عنوان یک روش رسمی، ۵۶ - ۰۲.۱۱ مورد تایید قرار داد [۲]. در ابتدا، آزمون SRC برای ارزیابی خواص عملکردی آرد گندم نرم طراحی شده بود اما بعدها برای ارزیابی خواص عملکردی آرد فراورده‌های گندم سخت نیز به کار گرفته شد [۶].

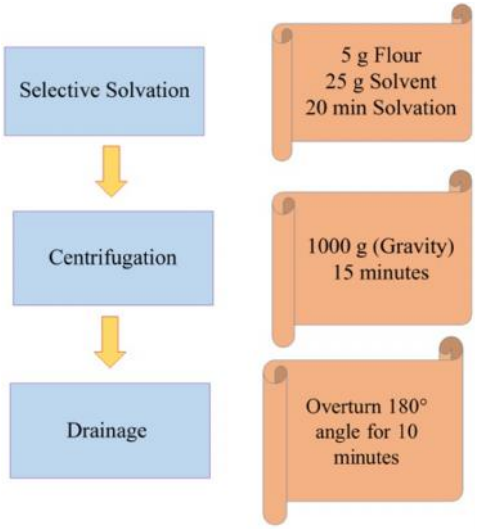
ظرفیت نگه‌داری حلال SRC، سازگاری انواع خاصی از حلال برای سه جزء عملکردی پلیمری آرد شامل گلوتنین‌ها، نشاسته آسیب‌دیده و پنتوزان‌ها است که به نوبه خود امکان پیش‌بینی وضعیت عملکردی هر یک از این اجزاء در آرد را فراهم می‌کند و در نتیجه امکان پیش‌بینی کیفیت فراورده نهایی را امکان‌پذیر می‌سازد [۶]. به عبارت دیگر، ظرفیت نگه‌داری حلال، وزن حلال نگه‌داری‌شده توسط آرد پس از سانتریفیوژ است که بر اساس درصد وزن آرد دارای ۱۴٪ رطوبت بیان می‌شود. الگوی ترکیبی چهار مقدار SRC، وضعیت آرد از نظر کیفیت و خواص عملکردی را که برای پیش‌بینی عملکرد نانوایی و انطباق مشخصات مفید است، تعیین می‌کند. به‌طورکلی، SRC لاکتیک اسید LASRC ۵٪ وزنی / وزنی، با ویژگی‌های گلوتنین‌ها، SRC سدیم کربنات SCSRC ۵٪ وزنی / وزنی، با محتوای نشاسته آسیب‌دیده و SRC ساکارز SUSRC ۵۰٪ وزنی / وزنی، با ویژگی‌های پنتوزان‌ها همراه است و SRC آب دیونیزه WSRC توسط همه ترکیبات آرد تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد (شکل ۱) [۸].



شکل (۱) محلول‌های تشخیصی استاندارد SRC [۸]

Fig. 1. SRC standard diagnostic solvents

آزمون SRC یک روش نسبتا ساده، در ابعاد کوچک، اقتصادی و کاربرپسند است (شکل ۲) [۸]. روش ریز مقیاس آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال scaled down version، در سال ۲۰۱۵ توسط گازمن و همکاران پیشنهاد شد و آن‌ها بیان داشتند که نتایج آزمون ریز مقیاس SRC همبستگی معنی‌دار و بسیار قوی با نتایج آزمون SRC معمول دارد و پروفیل‌های آن به خوبی بیانگر کیفیت دانه و آرد غلات هستند [۹]. هدف از این مطالعه، ارزیابی کاربرد آزمون ریز مقیاس ظرفیت نگه‌داری حلال SRC، برای تعیین کیفیت بالقوه دانه و آرد ۱۲ رقم چاودم هگزاپلوئید به‌عنوان غله‌ای ساخت بشر human-made cereal grain، حاصل تلاقی گندم‌های تتراپلوئید AABB با چاودار RR که دارای ظرفیت تهیه نان و شیرینی هستند و مقایسه آن‌ها با گندم نان، گندم دوروم و چاودار به‌عنوان ارقام نزدیک و شاهد، و در نهایت تعیین ضرایب همبستگی بین انواع ویژگی‌های دانه و آرد چاودم‌ها بود.



شکل (۲) نحوه‌ی انجام آزمون SRC [۸]

Fig. 2. SRC procedure

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. تهیه انواع ارقام

ده رقم چاودم لاسکو ۱، لاسکو ۲، پرگو ۱، پرگو ۲، آلاموس ۸۳، پرستو، مورنو، النور، زورو، شیراز اهدایی احمد ارزانی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه صنعتی اصفهان و ۲ رقم چاودم جوانیلو و سناباد اهدایی محسن اسماعیل‌زاده موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، ۱ رقم گندم نان سیروان، ۱ رقم گندم دوروم اوستا - گاتا، اهدایی احمد ارزانی و ۱ رقم چاودار، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری، به‌طور کامل بوجاری و پس از انجام آزمون‌های دانه، به‌منظور تولید آرد، براساس میزان سختی، مشروط شدند. سپس نمونه‌ها توسط آسیاب والسی آزمایشگاهی آسیاب شدند. آردهای حاصل‌شده از هر کدام از ارقام، به‌طور جداگانه درون پلاستیک‌های زیپ‌دار در یخچال ۴ °C نگه‌داری شدند. سپس بر روی نمونه‌های آرد تمامی ارقام، آزمون‌های فیزیکی، شیمیایی، مولکولی و ظرفیت نگه‌داری حلال SRC انجام شدند.

جدول (۱) ارقام و منشاء آن‌ها.
Table 1 Cultivars and their origin.

رقم Cultivar	منشاء Origin
لاسکو ۱ (Lasko 1)	لهستان (Poland)
لاسکو ۲ (Lasko 2)	لهستان (Poland)
پرگو ۱ (Prego 1)	لهستان (Poland)
پرگو ۲ (Prego 2)	لهستان (Poland)
آلاموس ۸۳ (Alamos 83)	سیمیت (CIMMYT)
پرستو (Presto)	لهستان (Poland)
مورنو (Moreno)	لهستان (Poland)
النور (Eleanor)	استرالیا (Australia)
زورو (Zorro)	لهستان (Poland)
شیراز (Shiraz)	ایران (Iran)
جوانیلو (Javanilo)	ایران (Iran)
سناباد (Sanabad)	ایران (Iran)
گندم نان (سیروان) (Sirvan)	ایران (Iran)
گندم دوروم (Osta - gata)	ایکاردا (ICARDA)
چاودار (Rye)	ایران (Iran)

۲.۲. آزمون‌های دانه و آرد

۱.۲.۲. آزمون‌های دانه

محتوای رطوبت دانه‌های انواع ارقام طبق روش مصوب AACC به شماره ۱۴ A - ۴۴ با استفاده از روش آون‌گذاری براساس درصد g رطوبت از دست‌رفته از نمونه نسبت به وزن اولیه آن تعیین شد [۸]. چگالی ویژه دانه‌های انواع ارقام توسط روش جابه‌جایی حلال تولوئن و با استفاده از پیکنومتر به‌دست آمد. در این روش، ابتدا پیکنومتر حاوی تولوئن به‌صورت کاملا پر توزین شد. سپس نمونه‌ها پس از توزین در داخل پیکنومتر حاوی تولوئن قرار گرفتند و تولوئن اضافی از پیکنومتر خارج شد. حجم تولوئن جابه‌جا شده و به دنبال آن حجم نمونه‌ها و دانسیته ظاهری توسط معادلات ۱ و۲ محاسبه شدند [۱۰]:

(۱)

وزن دانه = وزن مایع جابه‌جا شده

((وزن پیکنومتر + تولوئن) - (وزن پیکنومتر + تولوئن + دانه)) -

(۲)

= چگالی‌ویژه دانه

وزن مایع جابجا شده / وزن دانه × چگالی‌ویژه تولوئن

ویژگی‌های رنگی دانه‌های انواع ارقام شامل L^* روشنایی، b^* زردی و a^* قرمزی توسط دستگاه هانترلب مدل دیتا کالر ساخت کشور آمریکا تعیین شد. در این فضای رنگی، L^* معادل روشنایی تصویر که بین صفر معادل مشکی و ۱۰۰ معادل انعکاس کامل نور است. مقادیر مولفه a^* نامحدود است و مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز است. همچنین مقادیر b^* نامحدود است و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی می‌باشد [۱۱]. ابعاد دانه انواع ارقام با استفاده از کولیس دیجیتال مدل گوآنگلو ساخت کشور چین اندازه‌گیری شد. در این روش تعداد ۱۰ دانه هر واریته به‌طور تصادفی انتخاب شد و به‌ویسله کولیس دیجیتال طول، عرض و ضخامت آن‌ها اندازه‌گیری و میانگین این مقادیر محاسبه شد [۱۲]. برای تعیین وزن هزار دانه از سینی مخصوص به نام دانه‌شمار پانصدتایی استفاده گردید [۱۳]. وزن هکتولیتر دانه‌های انواع ارقام با استفاده از دستگاه مخصوص هکتولیتر که دارای ظرف استوانه‌ای شکل به گنجایش یک لیتر است، اندازه‌گیری شد [۱۴]. سختی دانه با استفاده از دستگاه NIR مادون قرمز نزدیک ساخت کمپانی پرتن سوئد - آلمان کالیبره‌شده با روش‌های مرجع تعیین شد [۱۵] و در آخر درجه استحصال آرد براساس مقدار تولید آرد برحسب g از مقدار مشخصی دانه محاسبه گردید [۱۶].

۲.۲.۲. آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی آرد

محتوای رطوبت آرد انواع ارقام طبق روش مصوب AACC به شماره ۱۶ - ۴۴ مشابه با روشی که در مورد آزمون‌های دانه بیان شد، تعیین گردید [۸]. اندازه ذرات آرد انواع ارقام با استفاده از دستگاه الک‌شیکر مدل Retsch ساخت کشور آلمان دارای ۴ الک استاندارد با قطـر مش‌های ۴۲۵، ۱۸۰، ۱۲۵ و ۱۰۶ µm که با کمک نیروی ویبره باعث جداسازی ذرات آرد با ابعاد مختلف می‌شود، تعیین گردید [۸]. رنگ‌سنجی آرد انواع ارقام با استفاده از دستگاه هانترلب مشابه با روشی که در مورد آزمون‌های دانه بیان شد، انجام گرفت [۱۱]. عدد فالینگ با استفاده از دستگاه فالینگ‌نامبر مدل FN-۱۵۰۰ ساخت کمپانی پرتن اندازه‌گیری شد. عدد فالینگ عبارت است از زمان لازم بر حسب s برای سقوط همزن ویسکومتر در یک فاصله مشخص در مخلوط‌زن داخل لوله ویسکومتر که تحت‌تأثیر آنزیم آلفا

آمیلاز درحال تبدیل‌شدن به مایع می‌باشد. هرچه عدد فالینگ کوچک‌تر باشد، فعالیت آنزیمی بیشتر و هرچه بزرگ‌تر باشد فعالیت آنزیمی کمتر است. آردی که از گندم جوانه‌زده و آسیب‌دیده به‌دست آمده باشد دارای فالینگ نامبر ۱۰۰ s یا کمتر است ولی به هر حال عدد فالینگ زیر ۲۵۰ نشان‌دهنده فعالیت بالای آنزیمی می‌باشد [۸].

میزان پروتئین، رسوب زلنی و حجم نان RMT با استفاده از دستگاه NIR ساخت کمپانی پرتن سوئد - آلمان کالیبره‌شده با روش‌های مرجع تعیین شد [۱۵]. میزان خاکستر طبق روش مصوب AACC به شماره ۰۱-۰۸ براساس سوزاندن نمونه داخل کروزه و سپس قرار دادن نمونه کاملا سوزانده شده درون کوره با دمای °C ۶۰۰ - ۵۵۰ تا خاکسترشدن کامل، انجام شد. سپس درصد میزان خاکستر براساس وزن مواد باقی‌مانده نسبت به وزن نمونه اولیه محاسبه شد [۸]. گلوتن مرطوب و گلوتن خشک طبق روش مصوب AACC به شماره ۱۰-۳۸ و شاخص گلوتن طبق روش مصوب AACC به شماره A ۱۲-۳۸ اندازه‌گیری شد [۸]. گلوتن مرطوب ماده‌ای ویسکوالاستیک به شکل آب‌دار است که اساسا از دو جزء پروتئینی گلیادین و گلوتنین تشکیل شده است. ماده باقی‌مانده حاصل از خشکاندن گلوتن مرطوب، گلوتن خشک نام دارد. در ادامه گلوتن جداشده از آرد، به کمک سانتریفیوژ و نیروی اعمال‌شده از طریق سانتریفیوژ، از ساختار داخلی یک توری مخصوص استاندارد رد می‌شود. این توری مخصوص اجازه می‌دهد که کل گلوتن روی آن قرارگرفته و بعد از چرخش سانتریفیوژ مقداری از گلوتن از توری عبور می‌کند و بخشی نیز روی آن باقی می‌ماند. میزان گلوتن باقی‌مانده روی توری در واقع نشانگر ضریب گلوتن مرطوب است و اگر همه گلوتن به‌دلیل ضعف بالا از توری رد شود ضریب گلوتن صفر خواهد بود و وقتی هیچ گلوتنی از توری رد نشود در واقع ضریب گلوتن ۱۰۰ است [۸].

به‌منظور اندازه‌گیری جذب آب WAC و جذب روغن OAC، میزان g ۵ از نمونه آرد با ml ۵ آب مقطر برای جذب آب یا ml ۵ روغن آفتابگردان برای جذب روغن درون لوله‌های سانتریفیوژ مخلوط شد. پس از آن لوله‌ها به مدت min ۳۰ به‌صورت ایستاده و ساکن قرار داده شدند. لوله‌ها به‌ترتیب به مدت ۳۰ یا min ۴۰ برای جذب آب یا جذب روغن در g ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. مایع فوقانی دور ریخته شد و درصد جذب آب و جذب روغن بر اساس اختلاف وزن آرد قبل و بعد از جذب آب و یا جذب روغن نسبت به وزن اولیه آرد محاسبه و سپس به درصد بیان شدند [۱۷]. رسوب SDS مشابه رسوب زلنی برای تعیین کیفیت آرد به کار می‌رود. مقدار g ۰/۶ آرد مورد آزمون را درون لوله استوانه‌ای cm ۱۵ ریخته و به آن ml ۴ آب مقطر اضافه شد. مدت s ۲۰ به‌وسیله ورتکس مخلوط شد، min ۵ استراحت داده دوباره s ۱۰ عمل مخلوط‌کردن تکرار شد. بعد از min ۵ استراحت، ml ۱۲ محلول رسوب SDS (نسبت حجمی ۱ به ۴۸ از لاکتیک اسید ۸۵ ٪ در آب (۸ لاکتیک اسید ۸۵٪: ۱ آب) و SDS (۲ ٪ وزنی / حجمی)) به محتویات درون لوله اضافه شد. درب لوله گذاشته و s ۴۰ در شیکر عمل مخلوط‌کردن انجام شد. مدت min ۲ به مخلوط به‌صورت عمودی استراحت داده و بعد از s ۴۰ مخلوط‌کردن در شیکر به‌منظوره مخلوط‌کردن برای بار دوم انجام شد. لوله آزمایش را به مدت min ۱۰ به‌صورت عمودی قرار داده و سپس حجم رسوب برحسب ml یادداشت شد [۱۸].

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای آمیلوز آرد انواع ارقام، از هر نمونه به میزان mg ۲۰ توزین و داخل یک بشر کوچک ریخته شد. مقدار ml ۱۰ محلول هیدروکسید پتاسیم N ۰/۵ به آن افزوده و با همزن مغناطیسی به مدت min ۵ هم زده شد. سپس محتویات درون بشر به یک بالن حجمی ml ۱۰۰ منتقل و با آب مقطر به حجم رسید. مقدار ml ۱۰ از محلول نشاسته به یک بالن حجمی ml ۵۰ منتقل و ml ۵ اسید کلریدریک N ۰/۱ و ml ۰/۵ محلول ۰/۲٪ کریستال ید و ۲٪ یدید پتاسیم به آن اضافه گردید. سپس بالن به حجم رسانده شد و پس از min ۵ سکون در تاریکی میزان جذب محلول در طول موج nm ۶۲۵ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و با استفاده از منحنی استاندارد میزان آمیلوز نمونه به‌دست آمد. برای رسم منحنی استاندارد مانند روش بالا کار شد با این تفاوت که به‌جای نمونه آرد، از آمیلوز خالص در مقادیر ۲، ۴، ۶، ۸ و mg ۱۰ استفاده گردید و سپس میزان جذب محلول‌های حاصل در طول موج nm ۶۲۵ قرائت شد. در نهایت با استفاده از داده‌های به‌دست آمده منحنی استاندارد رسم گردید [۱۹]. میزان نشاسته آسیب‌دیده با استفاده از دستگاه SDmatic ساخت کمپانی پرتن تعیین شد. جهت اندازه‌گیری نشاسته آسیب‌دیده، آماده‌سازی محلول به‌وسیله ml ۱۲۰ از آب مقطر،

۳ g اسـید بوریک و یدید پتاسیم و ۱ قطره تیوسولفات سدیم ۰/۱ M انجام شد. سپس محلول آماده‌شده درون دستگاه قرار گرفته و قسمت اندازه‌گیری‌کننده داخل آن قرار داده شد. دمای محلول به‌وسیله گرم‌کن به ۳۵ °C رسیده و کنترل دما به‌وسیله دماسنج انجام می‌شود. هنگامی‌که محلول به دمای موردنظر رسید، ۱ g آرد درون دستگاه قرار گرفته، سپس یکی از جفت الکترودها در محلول جریان الکتریسیته ایجاد می‌کند که موجب تولید ید آزاد در زمان مشخص که متناسب با میزان نمونه است، می‌گردد. الکترود دوم میزان جریان الکتریکی تولیدشده را اندازه‌گیری می‌کند. سپس آرد به‌صورت اتوماتیک وارد ظرف واکنش می‌شود. آزمایش به مدت ۱۸۰ s ادامه می‌یابد که در طول آن ید آزاد با نشاسته آسیب‌دیده باند می‌شود. سپس دستگاه شدت جریان رسوب را اندازه‌گیری کرده و میزان ید جذب‌شده اندازه‌گیری می‌شود که نشان‌دهنده میزان نشاسته آسیب‌دیده می‌باشد [۸].

برای تعیین محتوای پنتوزان‌های محلول در آب (آرابینوزایلان‌ها)، ۱۰۰ mg آرد توزین و داخل بشر ریخته شد. سپس ۱۰ ml آب مقطر به آن افزوده شد. بشر به مدت ۲ h در دمای ۳۰ °C داخل انکوباتور شیکردار قرار داده شد. سپس محتویات بشر درون فالکون انتقال داده شد و به مدت ۵ min درون سانتریفیوژ (۵۰۰۰ g) قرار داده شد. سپس ۱ ml از فاز رویی و ۱ ml از هیدروکلریدریک اسید ۴ N درون لوله آزمایش با یکدیگر مخلوط شدند و لوله سیل‌شده به مدت ۲ h در آون ۱۰۰ °C قرار داده شد. سپس لوله توسط آب سرد خنک شد و ۱ ml از محتویات آن با ۲ ml آب مقطر، ۳ ml آهن (۳) کلرید ۰/۱٪ در کنسانتره هیدروکلریدریک اسید و ۰/۵ ml اورسینول ۱٪ در اتانول خالص درون لوله آزمایش دیگری ریخته شدند. سپس محتویات لوله با استفاده از ورتکس با یکدیگر مخلوط شدند و سپس لوله سیل‌شده به مدت ۳۰ min درون آب جوش قرار داده شد و در نهایت لوله خنک شد. جذب محلول در طول موج ۶۷۰ nm توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و با استفاده از منحنی استاندارد میزان پنتوزان‌های محلول در آب نمونه به‌دست آمد. برای رسم منحنی استاندارد مانند روش بالا کار شد با این تفاوت که به‌جای نمونه آرد، از زایلوز خالص در مقادیر ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ µg در ۳ ml آب مقطر استفاده شد و سپس میزان جذب محلول‌های حاصل در طول موج ۶۷۰ nm قرائت و در نهایت با استفاده از داده‌های به‌دست آمده منحنی استاندارد رسم گردید [۲۰].

برای تعیین میزان فرولیک اسید آرد انواع ارقام، میزان ۲ g نمونه آرد درون لوله سانتریفیوژ ۵۰ ml توزین شد. سپس درون لوله ۳۵ ml اسیدسولفوریک ۰/۱ M ریخته شد و به‌وسیله ورتکس اسلاری تهیه شد. پس از آن لوله به مدت ۳۰ min درون حمام آب قرار داده شد و سپس لوله زیر دوش آب سرد خنک شد. سپس ۵ ml از سوسپانسیون ۲٪ وزنی / حجمی از آلفا آمیلاز قارچی (مرک آلمان) در محلول آبی ۲.۵ M سدیم استات به لوله اضافه شد. لوله به مدت ۶۰ min در حمام آب همراه با تکان‌دادن انکوبه شد. سپس لوله به مدت ۱۵ min در حداقل ۲۰۰۰ g سانتریفیوژ شد. فازرویی جدا و درون بالن حجمی ۵۰ ml ریخته شد و با آب مقطر به حجم رسانده شد. سپس بخشی از عصاره از فیلتر سرسرنگی ۰/۴۵ µm عبور داده شد و دورن اپندورف ۲ ml که دورتادور آن با آلومینیوم فویل پوشیده شده بود، ریخته شد. نمونه درون یخچال به دور از نور ماوراء بنفش تا زمان انجام آزمون نگه‌داری شد. منحنی استاندارد فرولیک اسید با استفاده از فرولیک اسید خالص رسم گردید. تعیین مقدار فرولیک اسید با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی با کارایی بالا (HPLC) انجام شد [۲۱].

به‌منظور اندازه‌گیری گروه‌های سولفیدریل (SH) نمونه‌های آرد تولیدی از انواع ارقام، ۷۵ mg آرد (بر اساس وزن خشک) در یک بالن ۱۰ ml توزین شد. مقدار ۱ ml بافر تریس - گلایسین (pH = ۸) بر روی آن ریخته شد و به‌طور کامل در این بافر توزیع شد و به‌صورت سوسپانسیون در آمد. سپس ۴/۷ g گوانیدین هیدروکلراید به بالن افزوده و در بافر کاملا حل شد و با بافر به حجم رسانده شد. بعد از این‌که ذرات آرد کاملا رسوب کردند، از محلول‌رویی، ۱ ml برداشته و ۴ ml محلول حاوی اوره ۸ M و گوانیدین هیدروکلراید ۵ M به آن اضافه شد و هم زده شد. سپس ۵۰ µl معرف المان (معرف ۵ و ۵- دی تیوبیس -۲- نیترو بنزوئیک اسید) افزوده شد و بلافاصله جذب محلول در ۴۱۲ nm در اسپکتروفتومتر خوانده شد. شاهد این آزمایش تمام مراحل فوق به جز توزین نمونه در بالن را شامل می‌شود. در ادامه، برای اندازه‌گیری پیوندهای دی‌سولفیدی (SS) ۱ ml از محلول نمونه (محلول بالن ۱۰ ml)، به لوله سانتریفیوژ منتقل شد و ۵۰ µl بتامرکاپتواتانول و ۴ ml محلول حاوی اوره ۸ M و

گوانیدین هیدروکلراید M ۵ به آن اضافه و هم زده شد، درب لوله بسته و به مدت h ۱ در °C ۲۵ قرار داده شد. بعد از این زمان، ml ۱۰ تری کلرواستیک اسید ۱۲٪ به محلول درون لوله افزوده شد و سوباتی تشکیل شد. این مخلوط به مدت h ۱ در °C ۲۵ قرار داده شد. سپس لوله سانتریفیوژ به مدت min ۱۰ در g ۵۰۰۰ سانتریفیوژ شد و رسوبات دوبار با محلول TCA ۱۲٪ شسته و در هربار در همین دور و زمان سانتریفیوژ شد. این شستن به‌منظور حذف بتامرکاپتواتانول انجام می‌گیرد. سپس رسوب در ml ۱۰ محلول اوره M ۸ حل شد و سپس µl ۴۰ معرف المان به آن اضافه و جذب در nm ۴۱۲ خوانده شد. شاهد در این مرحله، ml ۱۰ محلول اوره M ۸ به‌علاوه µl ۴۰ معرف المان می‌باشد. به این ترتیب محاسبه میزان گروه‌های سولفیدریل و پیوندهای دی‌سولفیدی به‌صورت معادله (۳) زیر می‌باشد:

(۳)

$$\mu M\ SH / g = (73.53 * A412 * D) / C$$

A412 = جذب در ۴۱۲ nm

C = غلظت نمونه بر حسب mg ماده جامد در ml

D = فاکتور رقت که برای SH، ۵.۰۲ و برای SH کل قسمت دوم آزمایش، یعنی بعد از احیای دی‌سولفید با بتامرکاپتواتانول ۱۰ می‌باشد. لذا بعد از قرار دادن جذب مرحله دوم در فرمول و به‌دست آوردن SH کل، باید میزان SH به‌دست آمده از مرحله اول را از این میزان کم کرد تا میزان پیوندهای SS نمونه به‌دست آید [۲۲].

۳.۲.۲. آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال آرد (SRC)

آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال طبق روش گازمن و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام شد. طبق این روش، g ۰/۳ از نمونه درون میکروتیوب ml ۲ که از قبل توزین‌شده بود، وزن گردید. سپس درون میکروتیوب، ml ۱/۵ از حلال موردنظر ریخته شد. سپس محتویات درون میکروتیوب با استفاده از ورتکس تا زمان ایجاد سوسپانسیون کامل مخلوط شدند. پس از آن فورا میکروتیوب درون ترموشیکر rpm ۱۴۰۰، min ۵، °C ۲۵ قرار داده شد. سپس محتویات میکروتیوب سانتریفیوژ g ۴۰۰۰، min ۲، °C ۲۵ شد. پس از سانتریفیوژ، مایع فوقانی تخلیه و میکروتیوب به مدت min ۱۰ به‌صورت وارونه روی کاغذ صافی قرار داده شد. در نهایت میکروتیوب توزین شد و براساس فرمول SRC٪ برپایه ۱۴٪ رطوبت طبق معادله (۴) محاسبه شد [۹].

(۴)

$$\%\ SRC = \text{وزن ژل} / [\text{وزن آرد} * (86 / (100 - \text{رطوبت آرد}\%)) * 100]$$

شاخص عملکرد گلوتن Gluten Performance Index که شاخص بهتری برای پیشبینی عملکرد کلی گلوتنین‌ها در آرد است با استفاده از فرمول (۵) محاسبه شد [۶].

(۵)

$$GPI = LASRC / (SuSRC + SCSRC)$$

GPI = شاخص عملکرد گلوتن

LASRC = ظرفیت نگه‌داری حلال لاکتیک اسید ۵٪ وزنی / وزنی

SuSRC = ظرفیت نگه‌داری حلال ساکارز ۵۰٪ وزنی / وزنی

SCSRC = ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم کربنات ۵٪ وزنی / وزنی

۴.۲.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق تجزیه و تحلیل نتایج، در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ و از طریق اجرای ANOVA بررسی شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد. برای بررسی ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف از ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ در دو سطح احتمال ۱ و ۵٪ استفاده شد. در شروع پروژه، از تمامی ارقام به اندازه یکسان دانه برداشت شد و از آن‌ها آرد تولید شد و برای تمامی آزمون‌ها به میزان برابری از آرد تولیدی از هر نمونه استفاده گردید، تا شرایط برای تمامی نمونه‌ها یکسان باشد. کلیه آزمون‌ها به جز محتوای فرولیک اسید با سه بار تکرار انجام شدند.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. بررسی ویژگی‌های فیزیکی دانه انواع ارقام

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول‌های ۲ و ۳، ارقام چاودم سناباد، جوانیلو و النور به‌ترتیب با داشتن ۸/۷۲، ۸/۲۹ و ۸/۱۲٪ دارای بیشترین و زورو، آلاموس ۸۳، شیراز، پرگو ۱ و پرگو ۲ با داشتن ۷/۲۱، ۷/۲۵، ۷/۳۴، ۷/۲۳ و ۷/۳۵٪ دارای کمترین میزان رطوبت بودند. گندم دوروم به علت طبیعت سخت دانه با ۶/۶۴٪ دارای کمترین و چاودار به‌دلیل نرم‌بودن زیاد دانه‌ها با ۸/۷۲٪ دارای بیشترین رطوبت در بین تمامی ارقام بودند. در این پژوهش، به‌منظور نیل به دو هدف، شامل گزارش نتایج آزمایش‌ها براساس رطوبت ۱۴٪ و واجد شرایط کردن دانه‌ها برای مرحله‌ی آسیابانی، میزان رطوبت دانه‌ها اندازه‌گیری شد. در بررسی ویژگی‌های رنگی دانه‌ها ارقام چاودمی که از شدت رنگ روشن‌تری برخوردار بودند مانند لاسکو ۲، مورنو و لاسکو ۱ به‌ترتیب دارای شاخص L^* ۵۴/۹۳، ۵۴/۹۱ و ۵۴/۸۰ شدت رنگ قرمز به‌ترتیب شاخص a^* ۸/۵۸، ۸/۵۹ و ۸/۵۵ و شدت رنگ زرد به‌ترتیب شاخص b^* ۲۱/۱۱، ۲۱/۰۶ و ۲۰/۹۲ کمتری نسبت به سایر ارقام چاودم داشتند که علت آن مربوط به ویژگی‌های طبیعی دانه‌های این ارقام چاودم می‌باشد. در مورد ارقام نزدیک، گندم سیروان با شاخص L^* ۵۳.۰۷ دارای روشنایی زیاد و با شاخص a^* ۱۱/۶۰ و شاخص b^* ۲۶/۰۳ دارای بیشترین مقدار قرمزی و زردی بود و گندم دوروم دارای روشنایی کم (۵۰/۰۷)، قرمزی (۱۱/۴۹) و زردی (۲۲/۷۱) زیادی بود که حالت معمول در این دانه‌ها به شمار می‌آید و در نهایت، دانه‌های چاودار که تقریبا به رنگ خاکستری و سبز بودند از روشنایی کم (۵۱/۰۶) و کمترین مقدار قرمزی (۵/۲۴) و زردی (۱۸/۲۱) برخوردار بودند. در واقع رنگ اولین شاخص کیفی است که بیانگر ناهنجاری‌ها یا عیوب موجود در تمام محصولات و فراورده‌های غذایی می‌باشد. در مورد دانه گندم، از نظر رنگ دارای گستردگی بسیار است. رنگ، معمولا سفید یا قرمز و در ارتباط با رنگیزه‌های موجود در تستا و یا لایه آلورون می‌باشد. معمولا گندم‌های قرمز، دارای سختی بیشتری نسبت به گندم‌های سفید می‌باشند. سختی یا نرمی دانه، نوع مصرف آن را مشخص می‌نماید.

آلاموس ۸۳ و زورو با ۴۶/۱۱ g و ۴۵/۱۵، دارای بیشترین و مورنو، لاسکو ۱ و لاسکو ۲ با ۲۹/۲۶ g، ۳۰/۰۳ و ۳۰/۲۲ دارای کمترین وزن هزاردانه بودند. ارقام چاودم دارای وزن هزاردانه بین گندم سیروان و چاودار بودند، به‌طوری که گندم سیروان به علت توپری و بزرگ‌بودن ابعاد دانه‌ها با ۴۸/۱۴ g از بیشترین و چاودار با ۲۷/۷۱ g از کمترین وزن هزاردانه برخوردار بودند. ارقام دارای کمترین وزن هزاردانه از کیفیت نانوایی بسیار کمی برخوردار بودند. گندم دوروم از نظر وزن هزاردانه (۴۲/۵۱ g) با ارقام چاودم دارای وزن هزاردانه بالا، تفاوت معنی‌داری نداشت. وزن هزار دانه از طرفی تعیین‌کننده راندمان تولید و از طرف دیگر معیاری از کیفیت دانه از لحاظ میزان پربودن آن می‌باشد. آلاموس ۸۳ و پس از آن سناباد و جوانیلو و سپس زورو، پرگو ۱ و پرگو ۲ و نهایتا شیراز و النور که ارقام تیره رنگ‌تری بودند و وزن هزاردانه بیشتری در بین ارقام چاودم داشتند به‌ترتیب با ۷۲/۲۹ Kg، ۷۱/۳۳، ۷۱/۰۹، ۶۹/۲۶، ۶۸/۸۸، ۶۹/۲۰، ۶۷/۴۴ و ۶۷/۶۷ دارای بیشترین و لاسکو ۲، پرستو، مورنو و لاسکو ۱ با ۶۳/۸۸ Kg، ۶۴/۶۳، ۶۳/۹۸ و ۶۴/۴۴ دارای کمترین وزن هکتولیتر بودند. ارقام چاودم دارای وزن هکتولیتر کمتر از ارقام نزدیک بودند، که علت این امر می‌تواند به‌دلیل وجود خصوصیات مرفولوژیکی نامطلوب، نظیر چروکیدگی، شکاف عمیق طولانی و طول بلند در دانه‌های چاودم باشد. گندم سیروان با ۷۹/۰۴ Kg دارای بیشترین و پس از آن گندم دوروم با ۷۵/۱۴ Kg و چاودار با ۷۴/۸۱ Kg دارای بیشترین وزن هکتولیتر بودند. دانه‌های چاودار به‌دلیل مورفولوژی خاص و ریزی بسیار زیاد، دارای وزن هکتولیتر بالایی بودند. هرچه مقدار وزن هکتولیتر بالاتر باشد، آرد بیشتری از دانه به‌دست آمده و ارزش بالاتری خواهد داشت. از نظر چگالی‌ویژه، گندم سیروان با چگالی‌ویژه ۱/۳۲ g / ml با ارقام چاودمی که چگالی‌ویژه بالایی داشتند (جوانیلو و آلاموس ۸۳) اختلاف معنی‌داری نداشت. دامنه چگالی ویژه در ارقام مورد مطالعه بین ۱/۱۸ g / ml تا ۱/۳۲ متغیر بود. گندم دوروم و چاودار با ۱/۲۷ g / ml نیز دارای چگالی ویژه مشابهی بودند و با ارقام چاودمی که چگالی ویژه بالایی داشتند، تفاوت معنی‌داری نداشتند و با گندم سیروان نیز اختلاف معنی‌داری نداشتند و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این آزمون نمی‌تواند آزمون مناسبی برای تعیین تفاوت و کیفیت ارقام مختلف باشد.

ارقام چاودم، دارای طول، ضخامت و عرض مختلفی بودند و النور، آلاموس ۸۳، زورو، پرستو، شیراز و جوانیلو که از روشنایی

کمتر و وزن هزاردانه بیشتری نسبت به سایر ارقام چاودم برخوردار بودند با ۸/۹۱ mm، ۸/۶۵، ۸/۸۲، ۸/۶۸، ۸/۷۲ و ۸/۷۷ از بیشترین و لاسکو ۱ و پرگو ۲ با ۷/۲۶ mm و ۷/۷۱ از کمترین طول دانه برخوردار بودند. در بین چاودم‌ها، زورو، آلاموس ۸۳، پرستو، شیراز، جوانیلو و سناباد که دارای روشنایی کمتر، وزن هزاردانه، هکتولیتر و طول دانه بیشتری بودند و در واقع دارای کیفیت نانوایی بالاتری نسبت به سایر ارقام چاودم بودند با ۲/۹۰ mm، ۲/۸۵، ۲/۸۷، ۲/۸۱، ۲/۸۷ و ۲/۸۳ دارای بیشترین و مورنو، پرگو ۲ و لاسکو ۲ با ۲/۱۹ mm، ۲/۳۶ و ۲/۳۹ دارای کمترین ضخامت (قطر) دانه بودند. در نهایت، زورو، آلاموس ۸۳ و سناباد که از وزن هزاردانه و ضخامت دانه بیشتری برخوردار بودند با ۳/۳۲ mm، ۳/۲۸ و ۳/۱۳ دارای بیشترین و مورنو با ۲/۲۱ mm دارای کمترین عرض دانه بودند. در مورد ارقام نزدیک، گندم سیروان که از دانه‌های کوتاه قد و درشتی برخوردار بود دارای طول کم (۶/۸۳ mm)، ضخامت زیاد (۲/۷۲ mm) و بیشترین عرض (۳/۷۳ mm) بود. گندم دوروم دارای طول کم (۷/۰۳ mm) و ضخامت زیاد مشابه با گندم سیروان (۲/۸۶ mm) و عرض زیاد (۳/۲۳ mm) و کمتر از گندم سیروان بود و در نهایت چاودار دارای طول کم (۷/۸۵ mm)، کمترین ضخامت (۲/۲۰ mm) و کمترین عرض (۲/۴۱ mm) مشابه با برخی از ارقام چاودم بود که علت آن ویژگی‌های ظاهری و ذاتی و شرایط مختلف دوران رشد دانه‌های انواع ارقام می‌باشد. ضریب کرویت دانه‌ها با استفاده از فورمول ریشه‌ی سوم حاصل ضرب ابعاد دانه تقسیم بر طول دانه محاسبه‌شد و نشان‌دهنده‌ی میزان کروی بودن شکل دانه است. در بین چاودم‌ها، سناباد، آلاموس ۸۳، زورو، پرگو ۱، لاسکو ۲ و لاسکو ۱ که عرض دانه (۳/۱۳، ۳/۲۸، ۳/۳۲، ۲/۹۶، ۳/۰۳، ۲/۸۷) بیشتری نسبت به سایر ارقام چاودم داشتند، از بیشترین (۰/۵۱، ۰/۵۰، ۰/۵۰، ۰/۴۹، ۰/۵۱) و مورنو (۰/۴۳) از کمترین ضریب کرویت برخوردار بودند. گندم سیروان به علت عریض بودن دانه‌ها دارای بیشترین ضریب کرویت (۰/۶۰) در بین تمامی ارقام بود. گندم دوروم دارای ضریب کرویت (۰/۵۷) کمتر از گندم سیروان و بیشتر از چاودار و چاودم‌ها بود. همچنین، چاودار (۰/۴۴) و مورنو اختلاف معنی‌داری از نظر ضریب کرویت نداشتند.

در مطالعه سختی دانه، زورو و آلاموس ۸۳، که دارای شدت روشنایی کمتر، وزن هزاردانه و هکتولیتر بیشتر و ابعاد دانه بزرگتری نسبت به سایر ارقام چاودم بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بسیار بهتری داشتند با ۴۹/۵۵ و ۴۸/۹۳٪ دارای بیشترین و لاسکو ۲، پرگو ۱، پرگو ۲، مورنو و لاسکو ۱ با ۴۰/۸۸، ۴۳/۱۲، ۴۲/۵۵، ۴۱/۹۴، ۴۱/۴۵٪ دارای کمترین سختی بودند و نسبت به سایر ارقام از کیفیت نانوایی بسیار پایین‌تری برخوردار بودند. در مقایسه با ارقام نزدیک، ارقام چاودم دارای سختی دانه بین گندم سیروان و چاودار بودند، به‌طوری که گندم سیروان با ۵۴/۵۳٪ دارای بیشترین و چاودار با ۳۸/۳۸٪ دارای کمترین سختی دانه در بین تمامی ارقام بود. یکی از صفات کیفی دانه‌های غلات، سختی آن است. این صفت در غلات مختلف و حتی در یک گونه از غلات متفاوت است که عمدتا تحت‌تاثیر ژن‌های کنترل‌کننده آن است. سختی دانه، ویژگی گندم است که برای تهیه نان، مطلوب به حساب می‌آید، زیرا ویژگی‌های آسیابانی گندم سخت، آن را برای به‌دست آوردن آرد سفید با درجه استخراج بالا مناسب می‌سازد. محققان غلات عموما بر این باورند که میزان و کیفیت پروتئین به همراه سختی دانه حداقل آزمایش‌هایی هستند که قادرند گندم مناسب را برای مصرف نهایی بهینه مشخص کنند. آسیب بیشتر نشاسته که در آسیاب گندم‌های سخت به‌دست می‌آید، ظرفیت جذب آب آرد را افزایش می‌دهد که یک فاکتور با اهمیت اقتصادی در صنعت نانوایی است. فاکتوری که تصور می‌شود در تعیین سختی آندوسپرم اهمیت دارد، چسبندگی بین گرانول‌های نشاسته و ماتریکس پروتئینی آندوسپرم است.

در بین چاودم‌ها، آلاموس ۸۳، سناباد و النور که روشنایی کمتر، هکتولیتر، طول دانه و سختی دانه بیشتری داشتند و در نتیجه دارای کیفیت نانوایی بالاتری نسبت به سایر ارقام چاودم بودند با ۵۹/۳۷، ۵۶/۲۶ و ۵۸/۲۴٪ دارای بیشترین و لاسکو ۱، پرستو، لاسکو ۲ و مورنو با ۴۸/۱۱، ۵۰/۶۲، ۴۸/۹۵ و ۵۰/۶۷٪ دارای کمترین درجه استحصال آرد بودند. دامنه استحصال‌های آرد در ارقام مورد مطالعه بین ۴۸/۱۱ تا ۵۹/۳۷٪ متغیر بود. در نهایت گندم سیروان با ۵۷/۱۵٪ از نظر درجه استحصال آرد با ارقام چاودمی که بیشترین درجه استحصال آرد را داشتند، تفاوت

جدول (۲) میانگین (انحراف معیار±) ویژگی‌های فیزیکی دانه‌های ارقام چاودم به همراه یک رقم از هرکدام گندم نان، گندم دوروم و چاودار (شاهد).

Table 2 Mean (± standard deviation) of grains physical characteristics of the triticale cultivars with one cultivar of wheat, durum wheat and rye (control).

رقم Cultivar	رطوبت (%) Moisture	رنگ‌سنجی Hunter colour parameters			وزن هزاردانه Thousand (gr) kernel weight	هکتولیتر (Kg) Hectoliter	چگالی ویژه (g / ml) Specific gravity	ابعاد دانه Grain size (mm)		
		شاخص روشنایی L*-value	شاخص قرمزی a*-value	شاخص زردی b*-value				طول Length	ضخامت Diameter	عرض Width
گندم سیروان	7.84 ± 0.08	53.07 ± 0.54	11.60 ± 0.26	26.03 ± 0.15	48.14 ± 1.28	79.04 ± 0.37	1.32 ± 0.05	6.83 ± 0.45	2.72 ± 0.19	3.73 ± 0.26
آلاموس ۸۳	7.25 ± 0.09	49.59 ± 0.50	10.26 ± 0.17	21.58 ± 0.54	46.11 ± 0.77	72.29 ± 0.63	1.27 ± 0.05	8.65 ± 0.52	2.85 ± 0.19	3.28 ± 0.22
زورو	7.21 ± 0.10	47.82 ± 0.36	11.18 ± 0.49	22.25 ± 0.77	45.15 ± 1.00	69.26 ± 0.55	1.23 ± 0.05	8.82 ± 0.61	2.90 ± 0.14	3.32 ± 0.28
پرستو	7.39 ± 0.04	50.36 ± 0.70	10.72 ± 0.22	22.39 ± 0.53	43.87 ± 0.70	64.63 ± 0.57	1.18 ± 0.07	8.68 ± 0.71	2.87 ± 0.28	2.96 ± 0.29
شیراز	7.34 ± 0.13	52.28 ± 0.26	9.27 ± 0.28	20.77 ± 0.44	42.75 ± 1.15	67.44 ± 0.10	1.21 ± 0.08	8.72 ± 0.61	2.81 ± 0.27	3.07 ± 0.28
جوانیلو	8.29 ± 0.11	50.86 ± 0.83	10.05 ± 0.31	20.20 ± 0.15	43.69 ± 2.53	71.09 ± 0.80	1.30 ± 0.06	8.77 ± 0.87	2.87 ± 0.29	2.85 ± 0.28
گندم دوروم	6.64 ± 0.06	50.07 ± 0.67	11.49 ± 0.42	22.71 ± 0.77	42.51 ± 0.42	75.14 ± 0.61	1.27 ± 0.07	7.03 ± 0.44	2.86 ± 0.24	3.23 ± 0.24
سناباد	8.72 ± 0.05	52.57 ± 0.23	9.31 ± 0.57	20.18 ± 0.36	41.35 ± 1.08	71.33 ± 0.43	1.27 ± 0.05	8.19 ± 0.35	2.83 ± 0.23	3.13 ± 0.31
النور	8.12 ± 0.10	50.35 ± 1.29	9.72 ± 0.55	21.16 ± 0.35	38.15 ± 0.62	67.67 ± 0.72	1.23 ± 0.10	8.91 ± 0.56	2.66 ± 0.21	3.02 ± 0.30
پرگو ۱	7.23 ± 0.04	51.44 ± 1.00	11.35 ± 0.60	24.45 ± 0.90	31.78 ± 0.83	68.88 ± 0.04	1.27 ± 0.05	7.80 ± 0.56	2.62 ± 0.16	2.96 ± 0.29
پرگو ۲	7.35 ± 0.08	51.06 ± 0.08	11.34 ± 0.63	24.10 ± 0.64	31.69 ± 1.01	69.20 ± 0.25	1.25 ± 0.03	7.71 ± 0.45	2.36 ± 0.24	2.61 ± 0.24
لاسکو ۲	7.78 ± 0.08	54.93 ± 0.87	8.58 ± 0.19	21.11 ± 0.53	30.22 ± 0.76	63.88 ± 0.47	1.22 ± 0.06	7.79 ± 0.60	2.39 ± 0.21	3.03 ± 0.30
مورنو	7.77 ± 0.06	54.91 ± 0.76	8.59 ± 0.69	21.06 ± 0.46	29.26 ± 0.87	63.98 ± 0.28	1.22 ± 0.08	7.91 ± 0.54	2.19 ± 0.21	2.21 ± 0.22
لاسکو ۱	7.62 ± 0.12	54.80 ± 0.54	8.55 ± 0.30	20.92 ± 0.50	30.03 ± 1.73	64.44 ± 0.05	1.27 ± 0.03	7.26 ± 0.72	2.47 ± 0.24	2.87 ± 0.27
چاودار	8.72 ± 0.19	51.06 ± 0.90	5.24 ± 0.25	18.21 ± 1.14	27.71 ± 0.47	74.81 ± 0.34	1.27 ± 0.11	7.85 ± 0.77	2.20 ± 0.22	2.41 ± 0.24
LSD ($p < 0.05$)	16 .0	1.21	0.72	1.09	1.66	0.96	0.10	0.53	0.20	0.24

در هر ستون، حداقل تفاوت معنی‌دار با مقادیر $LSD_{5\%}$ ارائه شده قابل تشخیص است.

In each column, the least significant difference with the 5% LSD values is detectable.

میانگین صفات با ۳ تکرار، به جز ابعاد دانه با ۱۰ تکرار و براساس رطوبت دانه ۱۴٪.

The mean of traits with 3 replications, except for grain size with 10 replications and based on 14% grain moisture content.

جدول (۳) میانگین (انحراف معیار±) ویژگی‌های فیزیکی دانه‌های ارقام چاودم به همراه یک رقم از هرکدام گندم نان، گندم دوروم و چاودار (شاهد)
(ادامه جدول ۲)

Table 3 Mean (± standard deviation) of grains physical characteristics of the triticale cultivars with one cultivar of wheat, durum wheat and rye (control) (Continued from Table 2)

رقم Cultivar	ضریب کرویت Sphericity index	سختی دانه (٪) Hardness index	درجه استحصال آرد (٪) Flour extraction rate
گندم سیروان	0.60 ± 0.03	54.53 ± 0.71	57.15 ± 0.54
آلاموس ۸۳	0.50 ± 0.01	48.93 ± 0.70	59.37 ± 3.15
زورو	0.50 ± 0.03	49.55 ± 0.69	54.65 ± 2.63
پرستو	0.48 ± 0.01	44.56 ± 2.8	50.62 ± 0.88
شیراز	0.48 ± 0.02	45.39 ± 1.40	53.23 ± 0.21
جوانیلو	0.47 ± 0.01	43.82 ± 1.41	53.05 ± 4.35
گندم دوروم	0.57 ± 0.01	47.81 ± 1.41	53.29 ± 1.75
سناباد	0.51 ± 0.03	45.11 ± 0.70	56.26 ± 0.79
النور	0.47 ± 0.02	44.59 ± 0	58.24 ± 1.08
پرگو ۱	0.50 ± 0.02	43.12 ± 0.70	54.75 ± 2.58
پرگو ۲	0.47 ± 0.03	42.55 ± 0	52.73 ± 1.47
لاسکو ۲	0.49 ± 0.03	40.88 ± 0.70	48.95 ± 0.73
مورنو	0.43 ± 0.03	41.94 ± 0.70	50.67 ± 0.37
لاسکو ۱	0.51 ± 0.02	41.45 ± 1.40	48.11 ± 0.71
چاودار	0.44 ± 0.03	38.38 ± 0.69	49.28 ± 4.00
LSD ($p < 0.05$)	0.02	2.5	4.62

در هر ستون، حداقل تفاوت معنی‌دار با مقادیر $LSD_{5\%}$ ارائه شده قابل تشخیص است.
In each column, the least significant difference with the 5% LSD values is detectable.
میانگین صفات با ۳ تکرار و براساس رطوبت دانه ۱۴٪
The mean of traits with 3 replications and based on 14% grain moisture content.

معنی‌داری نداشت. همچنین، گندم دوروم با ۵۳/۲۹٪ از درجه استحصال آرد کمی برخوردار بود و در نهایت، چاودار که دارای دانه‌های بسیار نرمی بود و در حین آسیابانی به علت نرم بودن زیاد، مقدار نسبتا زیادی از آندوسپرم دانه به همراه سبوس جدا می‌شد و هدر می‌رفت با ۴۹/۲۸٪ استحصال آرد با گندم دوروم و ارقام چاودمی که دارای کمترین درجه استحصال آرد بودند، اختلاف معنی‌داری نداشت.

۲.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه انواع ارقام چاودم

طبق نتایج جدول (۴)، بین رطوبت و شاخص رنگ b^* دانه همبستگی منفی معنی‌دار ($-0/665^{*}$) وجود داشت. بدین‌معنی که طی مشاهدات و آزمون‌ها، دانه‌های با مقـــدار رطوبت کمتر، از شدت رنگ زرد بیشتـــری برخـــوردار بودند. بین شاخص رنگ L^* دانه با شاخص رنگ a^* ($0/810^{**}$)، وزن هزاردانه ($-0/747^{**}$)، هکـتولیتر ($-0/631^{*}$)، طـول ($-0/722^{**}$) و ضخامت دانه ($-0/715^{**}$)، سختی دانه ($-0/821^{**}$) و درجه استحصال آرد ($-0/659^{*}$) همبستگی منفی معنی‌دار وجود داشت. بدین‌معنی که ارقام تیره‌رنگ‌تر مانند رقم زورو، دارای رنگ قرمزتر، وزن هزاردانه، هکتولیتر، طول و ضخامت دانه، سختی دانه و درجه‌ی استحصال آرد بیشتری بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بهتری نسبت به سایر ارقام داشتند. به‌صورت کلی، آرد حاصل از دانه‌های تیره رنگ‌تر از کیفیت نانوایی بهتری برخوردارند و سایر پارامترهای کیفی نانوایی بهتری نیز دارند که تحقیقات فراوانی تاکنون این موضوع را تایید کرده‌اند. شاخص رنگ a^* و b^* دانه دارای همبستگی ($0/774^{**}$) معنی‌داری بودند. بدین‌معنی که دانه‌های قرمزتر، از شدت رنگ زرد بیشتری نیز برخوردار بودند. بنابراین طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، دانه‌های ارقام چاودم با شدت رنگ تیره‌تر (شاخص L^* کمتر)، قرمزتر (شاخص a^* بیشتر) و زردتر (شاخص b^* بیشتر) ارقامی با کیفیت نانوایی بسیار بهتری بودند.

وزن هـزاردانه با هکتولیتر ($0/593^{*}$)، طـول دانه ($0/867^{**}$)،

ضخامت دانه (**۰/۹۳۳)، سختی (**۰/۸۴۹) و عرض دانه (*۰/۶۵۹) همبستگی معنی‌دار داشت. بدین‌معنی که ارقامی که وزن هزاردانه بیشتری داشتند مانند آلاموس ۸۳ و زورو، ابعاد بزرگ‌تری داشتند و از هکتولیتر و سختی دانه بیشتری نیز برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بهتری داشتند. همچنین، هکتولیتر با ضخامت دانه (*۰/۵۹۴)، سختی دانه (*۰/۶۳۰)، درجه استحصال آرد (**۰/۷۹۴) و چگالی‌ویژه دانه (*۰/۶۴۳) ارتباط معنی‌دار داشت. بدین‌معنی که دانه‌های دارای هکتولیتر بیشتر، از ضخامت، سختی دانه و چگالی‌ویژه بیشتری برخوردار بودند و ضمنا آرد بیشتری هم در طی آسیابانی تولید کردند. طول دانه با ضخامت (**۰/۷۵۶)، سختی دانه (**۰/۷۲۵) و درجه استحصال آرد (*۰/۵۹۲) ارتباط معنی‌داری داشت و ضخامت دانه با سختی دانه (**۰/۷۶۱) و عرض دانه (**۰/۷۷۸) به‌طور معنی‌داری همبسته بودند. عرض دانه نیز با سختی (*۰/۶۸۴) و ضریب کرویت دانه (**۰/۷۹۰) ارتباط معنی‌دار داشت. به‌طور کلی، ارقام چاودم دارای دانه‌های با ابعاد بزرگتر، از ویژگی‌های کیفی نانوایی بسیار بهتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند. سختی دانه و درجه استحصال آرد نیز ارتباط معنی‌داری (*۰/۷۰۵) داشتند. بدین‌معنی که طی آسیابانی، از ارقام دارای سختی دانه بیشتر مانند آلاموس ۸۳ و زورو، آرد بیشتری به‌دست آمد که علت آن جداسازی هرچه بهتر لایه‌ی سبوس از آندوسپرم و جلوگیری از هدرروی آندوسپرم در طی آسیابانی دانه‌های سخت است. میانگین نتایج ویژگی‌های فیزیکی دانه‌های انواع ارقام در این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط بسیاری از محققین از جمله لئون و همکاران، سرنا - سالدیور و همکاران، روکیا و همکاران، آیگنی و همکاران، لئون و همکاران، ژونالا و همکاران، نایک و همکاران، ناوارو - کونترراس و همکاران، فراس و همکاران و آپرادو و بانیو هماهنگی داشت [۳۲-۲۳].

۳.۳. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد انواع ارقام

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول‌های ۷-۵، جوانیلو، شیراز، پرگو ۲ و لاسکو ۱ با شاخص L^* ۹۰/۲۱، ۹۰/۰۸، ۹۰/۱۰ و ۹۰/۱۷ از بیشترین و زورو، آلاموس ۸۳ و مورنو با شاخص L^* ۸۸/۰۸، ۸۸/۵۱ و ۸۸/۱۵ از کمترین شدت روشنایی برخوردار بودند. آرد زورو با شاخص a^* ۱/۵۱ با پرستو، شیراز، جوانیلو، سناباد، پرگو ۲، لاسکو ۲ و لاسکو ۱ با شاخص a^* ۰/۷۲، ۰/۴۱، ۰/۶۰، ۰/۶۲، ۰/۶۱، ۰/۴۵ و ۰/۵۵ دارای تفاوت معنی‌دار و قرمزی بیشتر بود. در واقع، ارقامی که آرد آن‌ها از شدت روشنایی بیشتری برخوردار بودند، قرمزی کمتری داشتند. مورنو، سناباد و لاسکو ۲ با شاخص b^* ۹/۵۲، ۹/۵۱ و ۹/۲۶ دارای بیشترین و النور، آلاموس ۸۳ و جوانیلو با شاخص b^* ۷/۸۴، ۸/۲۳ و ۷/۹۳ دارای کمترین شدت زردی بودند. در بررسی رنگ آرد ارقام نزدیک، گندم سیروان (۸۹/۹۰، ۱/۰۳ و ۹/۲۹) با ارقام چاودمی که دارای بیشترین شدت روشنایی، قرمزی و زردی بودند، اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، گندم دوروم (۸۷/۹۵، ۱/۶۵ و ۹/۵۴) با ارقام چاودمی که دارای کمترین شدت روشنایی، بیشترین شدت قرمزی و بیشترین شدت زردی بودند، اختلاف معنی‌داری نداشت و در نهایت، آرد چاودار (۸۸/۱۰، ۰/۰۶ و ۸/۴۰) با آرد ارقام چاودمی که دارای کمترین شدت روشنایی، قرمزی و زردی بودند، تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد. فرایند آسیابانی و میزان جداسازی سبوس، بر رنگ آرد اثر قابل توجهی دارد. ذرات سبوس باعث تیرگی رنگ آرد می‌شوند و این موضوع در ارتباط با گندم‌های تیره و قرمز بیشتر موثر است. رنگ آرد تحت تاثیر رنگدانه‌های طبیعی آرد یعنی کاروتنوئیدها، مقدار خاکستر و درجه استخراج آرد قرار دارد. در بین چاودم‌ها، مورنو با s ۴۰۰ دارای بیشترین و زورو و پرستو با s ۸۵ و ۶۷/۵۰ دارای کمترین عدد فالینگ بودند. همچنین گندم سیروان و مورنو دارای عدد فالینگ مشابه بودند. سایر ارقام چاودم، گندم دوروم و چاودار از عدد فالینگ کمتر از s ۲۵۰ برخوردار بودند و فعالیت آلفا آمیلازی بسیار بالایی داشتند. به‌صورت کلی، چاودم در مقایسه با گندم و چاودار، فعالیت آلفا آمیلازی بالاتری دارد که می‌تواند به علت سنتز و بروز دیر هنگام آلفا آمیلاز در این دانه باشد. این موضوع یک نقطه ضعف تکنولوژیکی برای آماده‌سازی چاودم جهت تولید مواد غذایی است.

در مطالعه آخرین ویژگی فیزیکی آرد، لاسکو ۲ و لاسکو ۱ به‌ترتیب با ۲۶/۸۸ و ۱۸/۲۷٪ دارای بیشترین و زورو، آلاموس ۸۳، پرستو، شیراز، جوانیلو، سناباد، النور، پرگو ۱، پرگو ۲ و مورنو با ۰/۴۱، ۰/۵۸، ۰/۶۵، ۱/۳۳، ۰/۹۲، ۱/۷۰، ۰/۶۷، ۰/۹۷، ۰/۹۵ و ۱/۶۴٪ دارای کمترین مقدار اندازه ذرات بیش از

μm ۴۲۵ بودند. لاسکو ۱ و لاسکو ۲ با ۶۴/۸۰ و ۶۲/۴۱٪ از بیشترین و زورو و آلاموس ۸۳ با ۱۳/۹۲ و ۱۹/۱۱٪ و پس از آن‌ها گندم دوروم و النور با ۴۷/۴۷ و ۳۷/۶۰٪ از کمترین مقدار اندازه ذرات بین μm ۴۲۵ تا ۱۸۰ برخوردار بودند. پرستو، آلاموس ۸۳، النور، پرگو ۱ و پرگو ۲ با ۴۵.۰۰، ۴۴.۴۰، ۴۴.۹۳، ۴۴/۳۵ و ۴۱/۰۵٪ از بیشترین و لاسکو ۲ و لاسکو ۱ با ۹/۴۳ و ۱۳/۰۱٪ و پس از آن‌ها زورو با ۲۸/۶۴٪ از کمترین مقدار اندازه ذارت بین μm ۱۸۰ تا ۱۲۵ برخوردار بودند. زورو و آلاموس ۸۳ به‌ترتیب با ۵۰/۰۴ و ۳۱/۷۲٪ و پس از آن‌ها پرگو ۲ و النور با ۱۴/۲۷ و ۱۳/۸۲٪ دارای بیشترین و لاسکو ۲ با ۱/۲۱٪ و پس از آن لاسکو ۱، سناباد و مورنو با ۳/۷۳، ۴/۱۵ و ۳/۷۵٪ دارای کمترین مقدار اندازه ذارت بین μm ۱۲۵ تا ۱۰۶ بودند. در نهایت، زورو، آلاموس ۸۳ و النور به‌ترتیب با ۶/۹۹، ۴/۳۰ و ۲/۸۱٪ و پس از آن‌ها پرگو ۲ و پرستو با ۲/۲۸ و ۱/۸۹٪ از بیشترین و لاسکو ۲، سناباد و لاسکو ۱ با ۰/۰۸، ۰/۳۶ و ۰/۲۹٪ از کمترین محتوای اندازه ذارت کوچکتر از μm ۱۰۶ برخوردار بودند.

در واقع همانطور که مشخص شد، آرد ارقام چاودم دارای شدت رنگ قرمز بیشتر، بیشتر حاوی ذرات دارای اندازه بین μm ۱۲۵ تا ۱۰۶ و کوچکتر از μm ۱۰۶ بودند و کمتر حاوی ذرات درشت دارای اندازه بین μm ۴۲۵ تا ۱۸۰ بودند و در نتیجه این آردها از کیفیت نانوایی بسیار بهتری برخوردار بودند. همچنین، آردهای ارقام چاودم دارای اندازه ذرات بین ۴۲۵ تا μm ۱۸۰ بیشتر، کمتر حاوی اندازه ذرات بین ۱۲۵ تا μm ۱۰۶ و کوچکتر از μm ۱۰۶ بودند. در ادامه، آردهای ارقام چاودم دارای اندازه ذرات کوچک بین ۱۲۵ تا μm ۱۰۶ بیشتر، از اندازه ذرات کوچکتر از μm ۱۰۶ بیشتری برخوردار بودند. آرد گندم سیروان به علت بالا بودن سختی آندوسپرم، به‌ترتیب بیشتر حاوی ذرات دارای اندازه بین μm ۴۲۵ تا ۱۸۰ (۵۷/۹۹٪)، بین μm ۱۸۰ تا ۱۲۵ (۱۶/۷۹٪)، بین μm ۱۲۵ تا ۱۰۶ (۱۴/۹۵٪) و کوچک‌تر از μm ۱۰۶ (۱۰/۰۸٪) و کمتر حاوی ذرات درشت دارای اندازه بزرگ‌تر از μm ۴۲۵ (۰/۲۱٪) بود. همچنین، آرد گندم دوروم، به‌ترتیب بیشتر حاوی ذرات دارای اندازه بین ۱۸۰ تا μm ۱۲۵ (۴۵/۰۵٪)، بین μm ۴۲۵ تا ۱۸۰ (۳۴/۴۷٪)، بین μm ۱۲۵ تا ۱۰۶ (۱۴/۳۵٪) و کوچک‌تر از μm ۱۰۶ (۵/۵۵٪) و کمتر حاوی ذرات دارای اندازه بزرگ‌تر از μm ۴۲۵ بود (۰/۵۸٪) و در نهایت، آرد چاودار به علت نرم بودن بسیار زیاد آندوسپرم، به‌ترتیب بیشتر حاوی ذرات بزرگ دارای اندازه بین μm ۴۲۵ تا ۱۸۰ (۶۵/۸۰٪)، بزرگتر از μm ۴۲۵ (۲۹/۰۲٪)، بین μm ۱۸۰ تا ۱۲۵ (۳/۴۴٪)، بین μm ۱۲۵ تا ۱۰۶ (۱/۶۳٪) و کوچکتر از μm ۱۰۶ (۰/۱۵٪) بود. اندازه و یکنواختی ذرات آرد در کیفیت فراورده موثر می‌باشد. اگر اندازه ذرات خیلی بزرگ باشد، آرد نمی‌تواند مقدار آب لازم را جذب نماید. همچنین اگر چنین آردی برای تهیه فراورده‌هایی به کار رود که در تهیه آن‌ها مواد دیگری مانند روغن به کار رفته باشد، آرد ظرفیت لازم برای جذب این مواد را نخواهد داشت. درشت‌بودن اندازه ذرات آرد، روی خصوصیات رئولوژی خمیر و کیفیت شبکه گلوتنی و در نتیجه حجم نان تأثیر منفی دارد.

مورنو و آلاموس ۸۳ که دارای آرد تیره‌تر و قرمزتری نسبت به سایر ارقام چاودم بودند با ۰/۹۷ و ۰/۹۵٪ دارای بیشترین و پرگو ۲، جوانیلو و پرگو ۱ با ۰/۶۴، ۰/۶۶ و ۰/۶۸٪ دارای کمترین مقدار خاکستر بودند. دامنه مقدار خاکستر در ارقام مورد مطالعه بین ۰.۶۴ تا ۰/۹۷٪ متغیر بود. گندم دوروم از نظر مقدار خاکستر (۰/۹۶٪) با ارقام چاودمی که دارای بیشترین خاکستر بودند، اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، گندم سیروان (۰/۷۰٪) و چاودار (۰/۷۲٪) با ارقام چاودمی که دارای کمترین خاکستر بودند، اختلاف معنی‌داری نداشتند. مقدار خاکستر دانه در سبوس بیشتر از سایر قسمت‌ها است و بنابراین خلوص آرد یا کامل بودن جداسازی سبوس از آرد را نشان می‌دهد. در مواردی که دانه‌ها لاغر بوده و دارای پوسته چروکیده باشند، چون مقدار سبوس بالا است مقدار خاکستر هم افزایش می‌یابد. یکی از علل بالاتر بودن محتوای خاکستر در چاودم‌ها، می‌توان به زیادتر بودن مواد معدنی موجود در دانه-های آن‌ها اشاره نمود. آرد گندم سیروان با ۱۲/۶۶٪ از نظر مقدار پروتئین با آرد دو رقم چاودم آلاموس ۸۳ و النور با ۱۳/۱۰ و ۱۲/۹۸٪ که دارای بیشترین پروتئین بودند، اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، آرد چاودار با ۹/۶۲٪ با آرد دو رقم چاودم پرگو ۱ و پرگو ۲ با ۹/۹۶ و ۹/۶۵٪ که دارای کمترین مقدار پروتئین بودند، اختلاف معنی‌داری از خود نشان نداد و در نهایت، گندم دوروم دارای مقدار پروتئین ۱۱/۲۵٪ مشابه با برخی از ارقام چاودم بود. بخش پروتئینی، نقش بسیار مهمی در تهیه نان دارند. کیفیت تهیه نان، با حضور یا کمبود

جدول (۴) ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های دانه‌های ارقام چاودم.

Table 4 Pearson correlation coefficients between grain characteristics of the triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	رطوبت Moisture	شاخص روشنایی L^*-value	شاخص قرمزی a^*-value	هزاردانه TKW	هکتولیتر Hectoliter	طول دانه Length	ضخامت دانه Diameter	عرض دانه Width	سختی دانه Hardness index
شاخص زردی b^*-value	-0.665*		0.774**						
شاخص قرمزی a^*-value		-0.810**							
هزاردانه TKW		-0.747**							
هکتولیتر Hectoliter		-0.631*		0.593*					
طول دانه Length		-0.722**		0.867**					
ضخامت دانه Diameter		-0.715**		0.933**	0.594*	0.756**			
سختی دانه Hardness index		-0.821**		0.849**	0.630*	0.725**	0.761**	0.684*	
استحصال آرد Flour extraction rate		-0.659*			0.794**	0.592*			0.705*
عرض دانه Width				0.659*			0.778**		
چگالی ویژه Specific gravity					0.643*				
ضریب کرویت Sphericity index								0.790**	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰.۰۱
**Significant at level of 0.01
* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵
Significant at level of 0.05

پروتئین‌هایی خاص و زیرواحدهای آن‌ها، مرتبط است. به علاوه، کیفیت به نسبت پروتئین‌های منومریک به پلیمریک و مقدار و توزیع اندازه پروتئین‌های پلیمری بستگی دارد. از نظر پومرانز مفهوم کیفیت آرد، کلی و مترادف با قدرت آن است که این نیز به کمیت و کیفیت پروتئین گندم بستگی دارد. پروتئین چاودم تا حد زیادی تحت‌تاثیر محیط‌کشت قرار می‌گیرد و در کل به‌صورت ذاتی دارای نسبت کمتری از پروتئین در آندوسپرم نسبت به گندم می‌باشد.

در بین آرد چاودم‌ها، زورو، آلاموس ۸۳، پرستو، پرگو ۱، پرگو ۲ و مورنو که دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر و اندازه ذرات کوچکتری نسبت به سایر ارقام بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بالاتری داشتند با ۹/۵۲، ۸/۹۸، ۸/۵۷، ۹.۰۰، ۸/۴۴ و ۸/۷۰٪ دارای بیشترین و لاسکو ۱، جوانیلو و لاسکو ۲ با ۶/۷۲، ۷/۵۷ و ۷/۷۰٪ دارای کمترین مقدار نشاسته آسیب‌دیده بودند. آرد چاودار با ۹/۰۴٪ و آرد گندم دوروم با ۹/۴۳٪ از نظر مقدار نشاسته آسیب‌دیده با ارقام چاودمی که بیشترین نشاسته آسیب‌دیده را داشتند، اختلاف معنی‌داری نداشتند. آرد گندم سیروان با ۸/۳۹٪ به‌دلیل سختی بیشتر آندوسپرم، دارای مقدار نشاسته آسیب‌دیده کمتر از آرد چاودار و گندم دوروم بود. آسیب نشاسته، بستگی تام به شرایط آسیاب و سختی دانه دارد. تفاوت جذب آب، خواص نانوایی خمیر و تولید قند برای استفاده مخمر تا حد زیادی به نشاسته آسیب‌دیده وابسته است و بر حجم و نرمی مغز نان اثر می‌گذارد. آرد گندم سیروان، گندم دوروم و چاودار با ۲۰/۳۱، ۲۱/۱۵ و ۲۱/۶۷٪ از نظر مقدار

جدول (۵) میانگین (انحراف معیار±) ویژگی‌های فیزیکی آرد ارقام چاودم به همراه یک رقم از هرکدام گندم نان، گندم دوروم و چاودار (شاهد).

Table 5 Mean (± standard deviation) of flour physical characteristics of the triticale cultivars with one cultivar of wheat, durum wheat and rye (control).

رقم Cultivar	رنگ‌سنجی Hunter colour parameters			عدد فالینگ (S) Falling number	اندازه ذرات (٪) Particles size distribution (µm)				
	شاخص روشنایی L*-value	شاخص قرمزی a*-value	شاخص زردی b*-value		425 <	180 – 425	125 – 180	106 – 125	> 106
گندم سیروان	89.90 ± 0.27	1.03 ± 0.07	9.29 ± 0.27	400 ± 0	0.21 ± 0.01	57.99 ± 1.17	16.79 ± 0.27	14.95 ± 1.26	10.08 ± 0.74
آلاموس ۸۳	88.51 ± 0.32	0.97 ± 0.05	8.23 ± 0.35	223 ± 14.14	0.58 ± 0.06	19.11 ± 0.49	44.40 ± 2.04	31.72 ± 2.09	4.30 ± 0.42
زورو	88.08 ± 0.18	1.51 ± 0.08	8.71 ± 0.03	85 ± 0	0.41 ± 0.01	13.92 ± 1.02	28.64 ± 0.74	50.04 ± 0.42	6.99 ± 0.07
پرستو	88.71 ± 0.29	0.72 ± 0.03	8.39 ± 0.22	67.50 ± 0.71	0.65 ± 0.04	45.04 ± 1.87	45.00 ± 1.19	7.49 ± 0.49	1.89 ± 0.13
شیراز	90.08 ± 0.30	0.41 ± 0.01	8.60 ± 0.14	223 ± 8.49	1.33 ± 0.10	51.40 ± 3.96	35.98 ± 3.42	10.23 ± 0.49	1.22 ± 0.03
جوانیلو	90.21 ± 0.31	0.60 ± 0.02	7.93 ± 0.15	210.50 ± 12.02	0.92 ± 0.02	49.83 ± 4.49	38.46 ± 3.77	9.35 ± 0.53	1.45 ± 0.07
گندم دوروم	87.95 ± 0.22	1.65 ± 0.07	9.54 ± 0.21	204 ± 4.24	0.58 ± 0.03	34.47 ± 2.93	45.05 ± 2.56	14.35 ± 0.38	5.55 ± 0.07
سناباد	89.67 ± 0.29	0.62 ± 0.01	9.51 ± 0.31	230 ± 12.73	1.70 ± 0.14	57.89 ± 3.24	35.90 ± 3.20	4.15 ± 0.10	0.36 ± 0.03
النور	89.31 ± 0.12	0.86 ± 0.02	7.84 ± 0.05	249 ± 21.21	0.67 ± 0.01	37.60 ± 1.41	44.93 ± 0.24	13.82 ± 1.36	2.81 ± 0.16
پرگو ۱	89.41 ± 0.15	0.87 ± 0.02	8.88 ± 0.14	274 ± 24.04	0.97 ± 0.04	44.95 ± 1.20	44.35 ± 0.58	9.15 ± 0.66	0.58 ± 0.03
پرگو ۲	90.10 ± 0.37	0.61 ± 0.01	8.59 ± 0.48	287.50 ± 17.68	0.95 ± 0.01	41.46 ± 3.73	41.05 ± 2.08	14.27 ± 1.40	2.28 ± 0.17
لاسکو ۲	89.36 ± 0.45	0.45 ± 0.01	9.26 ± 0.41	247.50 ± 9.19	26.88 ± 2.43	62.41 ± 3.30	9.43 ± 0.81	1.21 ± 0.10	0.08 ± 0
مورنو	88.15 ± 0.37	1.36 ± 0.05	9.52 ± 0.32	400 ± 0	1.64 ± 0.06	58.68 ± 0.68	35.10 ± 0.93	3.75 ± 0.27	0.82 ± 0.06
لاسکو ۱	90.17 ± 0.38	0.55 ± 0.03	9.04 ± 0.40	258 ± 25.46	18.27 ± 0.38	64.80 ± 0.06	13.01 ± 0.27	3.73 ± 0.13	0.29 ± 0.01
چاودار	88.10 ± 0.24	0.06 ± 0.01	8.40 ± 0.21	247.50 ± 25.00	29.02 ± 2.86	65.80 ± 2.83	3.44 ± 0.11	1.63 ± 0.07	0.15 ± 0.01
LSD(p <0.05)	0.50	0.68	0.47	38.50	2.14	6.12	5.07	2.10	0.50

در هر ستون، حداقل تفاوت معنی‌دار با مقادیر $LSD_{5\%}$ ارائه شده قابل تشخیص است

In each column, the least significant difference with the 5% LSD values is detectable.

- میانگین صفات با ۳ تکرار و براساس رطوبت آرد ۱۴٪.

The mean of traits with 3 replications and based on 14% flour moisture content.

جدول (۶) میانگین (انحراف معیار±) ویژگی‌های شیمیایی آرد ارقام چاودم به همراه یک رقم از هرکدام گندم نان، گندم دوروم و چاودار (شاهد).

Table 6 Mean (± standard deviation) of flour chemical characteristics of the triticale cultivars with one cultivar of wheat, durum wheat and rye (control).

رقم Cultivar	خاکستر (٪) Ash	پروتئین (٪) Protein	نشاسته آسیب‌دیده Damaged (٪) starch	آمیلوز (٪) Amylose	آرابینوزایلان (٪) Arabinoxylan	فرولیک اسید Ferulic (mg/L) acid	رسوب زلنی (mL) Zeleny sedimentation	رسوب SDS (mm) sodium dodecyl sulfate sedimentation
گندم سیروان	0.70 ± 0.02	12.66 ± 0.07	8.39 ± 0.69	20.31 ± 1.18	0.94 ± 0.02	148.88	36.27 ± 0.18	8.40 ± 0.22
آلاموس ۸۳	0.95 ± 0	13.10 ± 0.07	8.98 ± 0.08	24.09 ± 2.65	1.15 ± 0.04	177.54	34.97 ± 0.09	5.68 ± 0.10
زورو	0.84 ± 0.03	11.53 ± 0.21	9.52 ± 0.48	24.28 ± 1.44	1.22 ± 0.09	188.86	34.04 ± 0.26	5.55 ± 0.12
پرستو	0.85 ± 0	11.59 ± 0.84	8.57 ± 0.60	23.51 ± 1.75	0.94 ± 0.09	165.85	32.76 ± 1.31	6.27 ± 0.32
شیراز	0.70 ± 0.01	10.76 ± 0.42	7.89 ± 0.32	26.30 ± 0.95	0.90± 0.06	125.86	32.61 ± 0.61	5.37 ± 0.33
جوانیلو	0.66 ± 0.01	11.06 ± 0.28	7.57 ± 0.45	21.58 ± 0.82	0.84 ± 0.06	113.83	32.93 ± 0.44	6.71 ± 0.42
گندم دوروم	0.96 ± 0.01	11.25 ± 0.28	9.43 ± 0.42	21.15 ± 0.44	1.27 ± 0.12	190.72	33.68 ± 0.44	4.66 ± 0.15
سناباد	0.72 ± 0.02	10.76 ± 0.21	8.22 ± 0.48	25.62 ± 0.94	0.91 ± 0.07	154.83	32.58 ± 0.35	5.36 ± 0.33
النور	0.76 ± 0.02	12.98 ± 0.14	8.39 ± 0.47	24.67 ± 1.23	0.71 ± 0.02	134.04	34.13 ± 0.26	6.31 ± 0.33
پرگو ۱	0.68 ± 0.01	9.96 ± 0.07	9.00 ± 0.33	26.35 ± 0.66	0.94 ± 0.03	130.33	31.72 ± 0.17	4.19 ± 0.66
پرگو ۲	0.64 ± 0.01	9.65 ± 0.07	8.44 ± 0.34	24.72 ± 2.05	0.94 ± 0.04	123.72	31.65 ± 0.09	3.93 ± 0.33
لاسکو ۲	0.82 ± 0.06	10.84 ± 0.14	7.70 ± 0.56	25.60 ± 0.85	1.03 ± 0.02	136.06	31.74 ± 0.26	3.02 ± 0.18
مورنو	0.97 ± 0.01	11.00 ± 0.07	8.70 ± 0.86	17.66 ± 0.18	1.25 ± 0.11	205.85	31.69 ± 0	4.37 ± 0.36
لاسکو ۱	0.79 ± 0.01	10.61 ± 0.35	6.72 ± 0.23	19.95 ± 1.18	0.95 ± 0.02	145.57	31.38 ± 0.09	3.02 ± 0.33
چاودار	0.72 ± 0.02	9.62 ± 0	9.04 ± 0.80	21.67 ± 1.35	2.22 ± 0.06	199.99	29.59 ± 0.09	2.07 ± 0.10
LSD ($p < 0.05$)	0.05	0.65	1.12	2.02	0.13	-	0.94	0.70

در هر ستون، حداقل تفاوت معنی‌دار با مقادیر $LSD_{5\%}$ ارائه شده قابل تشخیص است.

In each column, the least significant difference with the 5% LSD values is detectable.-

-میانگین صفات با ۳ تکرار و براساس رطوبت آرد ۱۴٪.

The mean of traits with 3 replications and based on 14% flour moisture content.

جدول (۷) میانگین (انحراف معیار±) ویژگی‌های شیمیایی آرد ارقام چاودم به همراه یک رقم از هرکدام گندم نان، گندم دوروم و چاودار (شاهد) (ادامه جدول ۶).

Table 7 Mean (± standard deviation) of flour chemical characteristics of the triticale cultivars with one cultivar of wheat, durum wheat and rye (control) (Continued from Table 6).

رقم Cultivar	شاخص حجم نان RMT (ml /100 gr flour) (Rapid mix test)	گلوتن مرطوب (٪) Wet Gluten	گلوتن خشک (٪) Dry gluten	شاخص گلوتن (٪) Gluten Index	جذب آب (٪) Water absorption capacity	جذب روغن (٪) Oil absorption capacity	گروه‌های سولفیدریل weight µM/g dry (SH-groups	پیوندهای دی‌سولفید µM/g dry weight (SS-bonds)
گندم سیروان	632.37 ± 2.83	31.29 ± 1.03	11.47 ± 0.05	97.55 ± 0.69	72.17 ± 0.98	77.36 ± 3.10	1.79 ± 0.03	12.45 ± 0.21
آلاموس ۸۳	561.97 ± 2.10	24.51 ± 0.71	9.56 ± 0.39	88.64 ± 4.02	79.44 ± 1.95	78.39 ± 3.14	3.94 ± 0.07	9.94 ± 0.08
زورو	489.12 ± 11.80	19.10 ± 1.07	6.69 ± 0.34	95.62 ± 1.51	87.45 ± 3.20	79.26 ± 3.95	3.45 ± 0.07	10.45 ± 0.17
پرستو	529.76 ± 21.00	21.33 ± 0.81	8.19 ± 0.29	96.70 ± 0.99	72.06 ± 0.72	82.43 ± 0.33	4.88 ± 0.02	9.19 ± 0.27
شیراز	476.63 ± 19.54	21.66 ± 1.29	8.18 ± 0.36	97.31 ± 1.28	67.65 ± 0.70	70.50 ± 4.39	4.78 ± 0.05	8.86 ± 0.08
جوانیلو	496.98 ±14.10	21.90 ± 0.63	8.07 ± 0.01	95.34 ± 3.78	67.34 ± 2.06	74.93 ± 3.69	4.31 ± 0.09	8.56 ± 0.13
گندم دوروم	523.87 ± 18.31	14.32 ± 0.96	5.26 ± 0.02	87.90 ± 4.13	91.94 ± 2.27	82.10 ± 5.50	4.73 ± 0.20	8.02 ± 0.03
سناباد	494.19 ± 7.71	20.89 ± 1.65	7.78 ± 0.76	86.73 ± 3.56	70.46 ± 2.09	72.20 ± 4.96	4.56 ± 0.09	9.07 ± 0.07
النور	538.49 ± 6.31	29.76 ± 0.96	11.00 ± 0.03	78.36 ± 4.05	79.04 ± 2.19	77.63 ± 2.05	4.98 ± 0.02	7.44 ± 0.09
پرگو ۱	447.10 ± 7.01	11.63 ± 0.91	4.14 ± 0.18	79.76 ± 4.00	74.74 ± 1.90	77.39 ± 0.71	4.83 ± 0.05	8.95 ± 0.07
پرگو ۲	424.06 ± 0.70	15.25 ± 0.79	5.60 ± 0.23	79.95 ± 1.22	74.30 ± 0.93	71.62 ± 2.26	4.81 ± 0.08	9.44 ± 0.08
لاسکو ۲	460.54 ± 7.66	18.38 ± 1.05	4.20 ± 0.18	19.93 ± 0.03	64.23 ± 0.35	69.10 ± 4.54	6.20 ± 0.14	6.60 ± 0.15
مورنو	484.52 ± 4.19	21.76 ± 1.06	7.94 ± 0.45	73.34 ± 1.31	78.95 ± 1.44	76.73 ± 3.91	4.96 ± 0.05	8.44 ± 0.08
لاسکو ۱	449.00 ± 15.40	14.89 ± 0.73	4.16 ± 0.14	46.74 ± 3.35	60.12 ± 0.93	72.87 ± 1.43	5.93 ± 0.10	7.46 ± 0.05
چاودار	412.99 ± 5.50	0.42 ± 0.04	0.16 ± 0.01	33.54 ± 3.17	108.00 ± 2.62	71.96 ± 6.98	0.97 ± 0.04	1.88 ± 0.11
LSD ($p < 0.05$)	24.93	1.79	0.60	5.02	3.11	6.43	0.20	0.30

در هر ستون، حداقل تفاوت معنی‌دار با مقادیر $LSD_{5\%}$ ارائه شده قابل تشخیص است.

In each column, the least significant difference with the 5% LSD values is detectable.

میانگین صفات با ۳ تکرار و براساس رطوبت آرد ۱۴٪.

The mean of traits with 3 replications and based on 14% flour moisture content.

آمیلوز، با یکدیگر و با ارقام چاودمی که دارای کمترین مقدار آمیلوز بودند (رقم مورنو)، اختلاف معنی‌داری نداشتند. دامنه محتوای آمیلوز در ارقام مورد مطالعه بین ۱۷/۶۶ تا ۲۶/۳۵٪ متغیر بود. در واقع آرد اکثر ارقام چاودم دارای محتوای آمیلوز بیشتری نسبت به آرد ارقام نزدیک بودند، که علت آن می‌تواند زیاد بودن میزان نشاسته آرد ارقام چاودم نسبت به آرد خویشاوندان نزیک به‌طور کلی باشد. جزء خطی نشاسته یا همان آمیلوز خصوصیات ویژه‌ای را به نشاسته می‌دهد و عامل مهمی در تعیین کیفیت نشاسته و خصوصیات رئولوژیکی محسوب می‌شود.

مورنو، آلاموس ۸۳ و زورو که دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر و دارای محتوای خاکستر بیشتری نسبت به سایر ارقام بودند، با ۱/۲۵، ۱/۱۵ و ۱/۲۲٪ از بیشترین و النور و جوانیلو با ۰/۷۱ و ۰/۸۴٪ از کمترین مقدار آرابینوزایلان‌ها برخوردار بودند. آرد گندم سیروان با ۰/۹۴٪ از نظر مقدار آرابینوزایلان، با آرد ارقام چاودمی که دارای کمترین مقدار آرابینوزایلان بودند، اختلاف معنی‌داری از خود نشان نداد. همچنین، آرد گندم دوروم با ۱/۲۷٪ از نظر این صفت، با آرد ارقام چاودمی که دارای بیشترین مقدار آرابینوزایلان بودند، اختلاف معنی‌داری نداشت و در نهایت، چاودار به علت داشتن محتوای سبوس بسیار زیاد، از بیشترین مقدار آرابینوزایلان‌ها (۲/۲۲٪) در بین تمامی ارقام برخوردار بود. پنتوزان‌ها بخش ناچیزی از آرد گندم هستند، اما نقش مهمی در ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر ایفا می‌کنند. پنتوزان‌ها به شدت آب دوست هستند و به اندازه ۱۰ برابر وزن خود آب جذب می‌کنند. یکی از روش‌های اقتصادی برای به تاخیر انداختن بیاتی نان، افزودن آرد چاودار به آرد گندم مصرفی در تولید نان است که به لحاظ دارا بودن میزان پنتوزان بالا، در کند نمودن روند فرایند بیاتی در نان تاثیر به سزایی دارد. علت این که از آرد چاودار به تنهایی برای تولید نان استفاده نمی‌شود آن است که گلوتن آن، چه از لحاظ کمی و چه از لحاظ کیفی در سطح پایینی قرار دارد. در مقابل، گندم دارای گلوتن کافی و با کیفیت لازم برای تولید نان بوده ولی مقدار پنتوزان موجود در آن پایین است. بخش قابل ملاحظه‌ای از آب در دمای محیطی توسط پنتوزان‌ها جذب می‌گردد و بنابراین خواص فیزیکی خمیر چاودار با خواص خمیر گندم طی مخلوط‌کردن و تخمیر متفاوت است. طبق بررسی نتایج مقدار فرولیک اسید، آرد ارقام چاودم، دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، مقدار خاکستر و آرابینوزایلان بیشتر، از فرولیک اسید بیشتری هم نیز برخوردار بودند (سبوس دارای فرولیک اسید است). آرد چاودار، مورنو و گندم دوروم با ۱۹۹/۹۹، ۲۰۵/۸۵ و ۱۹۰/۷۲ mg/L به‌طور مشخص دارای مقدار فرولیک اسید بیشتری نسبت به آرد سایر نمونه‌ها بودند. دامنه مقدار فرولیک اسید در ارقام مورد مطالعه بین ۱۱۳/۸۳ mg/L تا ۲۰۵/۸۵ متغیر بود.

آرد ارقام مختلف چاودم، دارای مقدار رسوب زلنی بین آرد گندم سیروان و چاودار بودند به‌طوری که آرد گندم سیروان با ۳۶/۲۷ mL دارای بیشترین و آرد چاودار با ۲۹/۵۹ mL دارای کمترین رسوب زلنی بودند. آلاموس ۸۳، زورو و النور که از رنگ زرد کمتر، اندازه ذرات کوچکتر و مقدار پروتئین بیشتری برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بهتری نسبت به سایر ارقام چاودم داشتند با ۳۴/۹۷ mL، ۳۴/۰۴ و ۳۴/۱۳ دارای بیشترین و لاسکو ۱، پرگو ۱، پرگو ۲، لاسکو ۲ و مورنو با ۳۱/۳۸، ۳۱/۷۲، ۳۱/۶۵، ۳۱/۷۴ و ۳۱/۶۹ mL دارای کمترین رسوب زلنی بودند. در واقع یکی از دلایل خاصیت نانوایی ضعیف آردهای چاودم، کیفیت نامطلوب پروتئین آن‌ها به‌صورت ذاتی است. پروتئین چاودم دارای نسبت‌های بالاتری از آلبومین‌ها و گلوبولین‌ها، گلیادین‌های تقریبا مشابه و نسبت پایین‌تری از گلوتنین‌ها و قسمت‌های باقی مانده، در مقایسه با پروتئین‌های گندم و چاودار است. همچنین، آرد گندم دوروم با ۳۳/۶۸ mL به علت کیفیت گلوتن متوسط، از نظر رسوب زلنی با آرد ارقام چاودمی که دارای بیشترین مقدار رسوب زلنی بودند، اختلاف معنی‌داری از خود نشان نداد. عدد زلنی فاکتوری است که از روی آن می‌توان کم و بیش به کیفیت گلوتن از نظر تورم و نیز قابلیت پخت آرد پی‌برد. ارقام مختلف چاودم به سبب کیفیت پروتئین‌های گلوتن، دارای مقدار رسوب SDS بین آرد گندم سیروان و چاودار بودند به‌صورتی که، آرد گندم سیروان با ۸/۴۰ mm دارای بیشترین و آرد چاودار با ۲/۰۷ mm دارای کمترین مقدار رسوب SDS بودند. جوانیلو، پرستو و النور با ۶/۷۱ mm، ۶/۲۷ و ۶/۳۱ از بیشترین و لاسکو ۲ و لاسکو ۱ با ۳/۰۲ mm از کمترین رسوب SDS برخوردار بودند. از نظر این صفت بین آرد گندم دوروم (۴/۶۶ mm) و آرد برخی از ارقام چاودمی که دارای رسوب SDS کمی بودند، اختلاف معنی‌داری

مشاهده نشد. این روش در واقع تغییریافته آزمون رسوب زلنی بوده و به‌طور اختصاصی سبب رسوب پروتئین‌های گلوتن می‌شود. از میان شاخص‌های تعیین‌کننده کیفیت نانوایی، حجم رسوب SDS ساده‌ترین و بهترین روش در تعیین خواص کیفی نانوایی ژنوتیپ‌های مختلف می‌باشد.

النور و آلاموس ۸۳ به‌ترتیب با ۲۹/۷۶ و ۲۴/۵۱٪ و پس از آن‌ها پرستو، شیراز، جوانیلو، سناباد و مورنو با ۲۱/۳۳، ۲۱/۶۶، ۲۱/۹۰، ۲۰/۸۹ و ۲۱/۷۶٪ دارای بیشترین و پرگو ۱ با ۱۱.۶۳% دارای کمترین مقدار گلوتن مرطوب بودند. روند مقدار گلوتن خشک بسیار مشابه با محتوای گلوتن مرطوب بود. آرد گندم سیروان و النور دارای بیشترین مقدار گلوتن مرطوب (۳۱/۲۹ و ۲۹/۷۶٪) و گلوتن خشک (۱۱/۴۷ و ۱۱/۰۰٪) بودند و از این نظر با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. آرد چاودار به علت ویژگی‌های ذاتی دارای کمترین مقدار گلوتن مرطوب (۰/۴۲٪) و گلوتن خشک (۰/۱۶٪) در بین تمامی ارقام بود. به‌طور کلی، آرد ارقام چاودم دارای مقدار گلوتن مرطوب و گلوتن خشک بین آرد گندم سیروان و چاودار بودند. همچنین، آرد گندم دوروم با ۱۴/۳۲٪ و ۵/۲۶٪ با ارقام چاودمی که دارای کمترین مقدار گلوتن مرطوب و گلوتن خشک بودند اختلاف معنی‌داری از خود نشان نداد. به لحاظ شاخص گلوتن، آرد شیراز، زورو، پرستو و جوانیلو و پس از آن‌ها آلاموس ۸۳ و سناباد، که از مقدار اندازه ذرات بزرگتر از ۴۲۵ µm کمتر و اندازه ذرات بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ بیشتر، رسوب SDS و گلوتن خشک بیشتری نسبت به سایر چاودم‌ها برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بسیار بهتری داشتند با ۹۷/۳۱، ۹۵/۶۲، ۹۶/۷۰، ۹۵/۳۴، ۸۸/۶۴ و ۸۶/۷۳٪ از بیشترین و لاسکو ۲، لاسکو ۱ و مورنو به‌ترتیب با ۱۹/۹۳، ۴۶/۷۴ و ۷۳/۳۴٪ از کمترین مقدار شاخص گلوتن برخوردار بودند. شاخص گلوتن نشان‌دهنده کیفیت گلوتن جداشده از آرد یک دانه غله است. در مقایسه با ارقام نزدیک، آرد گندم سیروان با ۹۷/۵۵٪ از لحاظ شاخص گلوتن با ارقام چاودمی که دارای بیشترین مقدار شاخص گلوتن بودند اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین چاودار با ۳۳/۵۴٪ دارای کمترین شاخص گلوتن در بین تمامی ارقام بعد از لاسکو ۲ بود. آرد گندم دوروم (۸۷/۹۰٪) با آرد ارقام چاودمی که شاخص گلوتن بالایی داشتند، اختلاف معنی‌داری از خود نشان نداد. علت این موارد با علت رسوب زلنی و رسوب SDS ارقام مختلف همخوانی دارد.

بین آرد چاودم‌ها، لاسکو ۲ و لاسکو ۱ به‌ترتیب با weight µM/g dry ۶/۲۰ و ۵/۹۳ دارای بیشترین و زورو، آلاموس ۸۳ و جوانیلو به‌ترتیب با µM/g dry weight ۳/۴۵، ۳/۹۴ و ۴/۳۱ دارای کمترین مقدار گروه‌های سولفیدریل (SH) بودند. پیوندهای دی‌سولفیدی، نقشی عمده‌ای در تعیین ساختار و خواص پروتئین‌های گلوتن دارند. در واقع، آرد گندم شامل تجمع‌های ملکول‌های پروتئینی یا زنجیره هایی است که برخی از آن‌ها توسط اتصالات دی‌سولفیدی یا دیگر پیوندها به هم متصل شده‌اند و تعداد قابل توجهی پیوندهای دی‌سولفید درون مولکولی نیز وجود خواهد داشت. زورو و آلاموس ۸۳ به‌ترتیب با µM/g dry weight ۱۰/۴۵ و ۹/۹۴ و پس از آن‌ها پرگو ۲ و پرستو با µM/g dry weight ۹/۴۴ و ۹/۱۹ و سپس سناباد، شیراز و پرگو ۱ با µM/g dry weight ۹/۰۷، ۸/۸۶ و ۸/۹۵ از بیشترین و لاسکو ۲ با µM/g dry weight ۶/۶۰ و پس از آن، لاسکو ۱ و النور و نهایتا گندم دوروم با µM/g dry weight ۷/۴۶، ۷/۴۴ و ۸/۰۲ از کمترین مقدار پیوندهای دی‌سولفیدی (SS) برخوردار بودند. در این صفت، گندم سیروان به علت محتوا و کیفیت بالای گلوتن، دارای بیشترین (µM/g dry weight) ۱۲/۴۵) و چاودار به علت ناچیز بودن محتوا و کیفیت گلوتن دارای کمترین (µM/g dry weight ۱/۸۸) مقدار پیوندهای دی‌سولفیدی در بین ارقام بودند.

در بین ارقام نزدیک، آرد چاودار با µM/g dry weight ۰/۹۷ و پس از آن آرد گندم سیروان با µM/g dry weight ۱/۷۹ دارای کمترین مقدار گروه‌های سولفیدریل در بین ارقام بودند. علت موارد بیان‌شده ناچیز بودن محتوای گلوتن در آرد چاودار می‌باشد. آرد گندم دوروم دارای مقدار گروه‌های سولفیدریل و پیوندهای دی‌سولفید مشابه با برخی از ارقام چاودم بود. در واقع علت بالا بودن گروه‌های سولفیدریل و پایین بودن پیوندهای دی‌سولفیدی در آرد ارقام چاودم کیفیت نامناسب گلوتن آن‌ها (عدم پلیمریزاسیون مناسب بین گلیادین‌ها و گلوتنین‌ها) نسبت به گندم نان بود. آرد ارقام چاودم دارای شاخص حجم نان (RMT) بین آرد گندم سیروان و چاودار بودند به‌طوری که آرد گندم سیروان با ml /100 gr flour ۶۳۲/۳۷ دارای بیشترین RMT در بین ارقام بود و همچنین، آرد چاودار و پرگو ۲ که از کیفیت نامناسب گلوتن برخوردار بودند با ml /100 gr flour

۴۱۲/۹۹ و ۴۲۴/۰۶ دارای کمترین مقدار RMT در بین ارقام بودند. در نهایت، آرد گندم دوروم با ml /100 gr flour ۵۲۳/۸۷ با ارقام چاودمی که دارای بیشترین RMT بودند اختلاف معنی‌داری از خود نشان نداد. دامنه مقدار RMT در ارقام مورد مطالعه بین ml /100 gr flour ۴۱۲/۹۹ تا ۶۳۲/۳۷ متغیر بود. حجم RMT در واقع نشان‌دهنده میزان پروتئین و حجم رسوب زلنی است. در ادامه، زورو با ۸۷/۴۵٪ از بیشترین و لاسکو ۱ و پس از آن لاسکو ۲ با ۶۰/۱۲ و ۶۴/۲۳٪ از کمترین ظرفیت جذب آب (WAC) برخوردار بودند. آرد چاودار با ۱۰۸/۰۰٪ و پس از آن گندم دوروم با ۹۱/۹۴٪ دارای بیشترین ظرفیت جذب آب در بین تمامی ارقام بودند. همچنین آرد گندم سیروان (۷۲/۱۷٪) با ارقام چاودمی که دارای جذب آب متوسطی در بین ارقام بودند، تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین از نظر ظرفیت جذب روغن (OAC)، پرستو، آلاموس ۸۳، زورو، النور، پرگو ۱ و مورنو با ۸۲/۴۳، ۷۸/۳۹، ۷۹/۲۶، ۷۷/۶۳، ۷۷/۳۹ و ۷۶/۷۳٪ دارای بیشترین و لاسکو ۲، شیراز، جوانیلو، سناباد، پرگو ۲ و لاسکو ۱ با ۶۹/۱۰، ۷۰/۵۰، ۷۴/۹۳، ۷۲/۲۰، ۷۱/۶۲ و ۷۲/۸۷٪ دارای کمترین ظرفیت جذب روغن بودند. آرد گندم دوروم با ۸۲/۱۰٪ و گندم سیروان با ۷۷/۳۶٪ از نظر ظرفیت جذب روغن با ارقام چاودمی که دارای بیشترین ظرفیت جذب روغن بودند، تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد و در نهایت، آرد چاودار با ۷۱/۹۶٪ با ارقام چاودمی که کمترین ظرفیت جذب روغن را داشتند، تفاوت معنی‌داری نداشت. طبق نتایج به‌دست آمده، آرد ارقام چاودم دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، اندازه ذرات کوچک بیشتر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، فرولیک اسید بیشتر و رسوب زلنی بیشتر، از ظرفیت جذب آب بیشتری برخوردار بودند و همچنین آرد ارقام چاودم دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، اندازه ذرات بین µm ۲۴۵ تا ۱۸۰ کمتر (ذرات درشت کمتر)، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، RMT و جذب آب بیشتر، از ظرفیت جذب روغن بیشتری نیز برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بهتری داشتند. علت موارد بالا این است که، ذرات متوسط تا کوچک‌تر آرد به سرعت و به خوبی هیدراته می‌شوند و جذب آب آرد را افزایش می‌دهند و همچنین گرانول‌های نشاسته آسیب‌دیده نیز از همان قسمت آسیب-دیدگی دیواره خود به راحتی آب جذب می‌کنند و باعث افزایش جذب آب آرد می‌شوند و همچنین فرولیک اسید که منشا آن از دیواره سلولی و سبوس آرد است، به‌دلیل ساختار ویژه‌ی خود دارای جذب آب بالایی می‌باشد و گلوتن با کیفیت بالا به خوبی می‌تواند آب را درون شبکه خود به دام اندازد که همه این موارد باعث افزایش جذب آب کلی و کیفیت آرد می‌شوند.

۴.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول‌های ۸ و ۹، شاخص رنگ L^* آرد با شاخص رنگ a^* (**۰/۸۵۱-)، مقدار خاکستر (**۰/۸۲۶-)، نشاسته آسیب‌دیده (**۰/۷۵۰-)، آرابینوزایلان‌ها (**۰/۷۳۲-)، فرولیک اسید (**۰/۸۹۰-)، جذب آب (**۰/۷۵۷-) و جذب روغن (*۰/۶۷۷-) همبستگی منفی معنی‌دار داشت. بدین معنی که آردهای با رنگ روشن‌تر، رنگ قرمز کمتری داشتند و از مقدار خاکستر، نشاسته‌ی آسیب‌دیده، آرابینوزایلان‌ها و فرولیک اسید کمتری برخوردار بودند و جذب آب و جذب روغن کمتری نیز داشتند و در نتیجه کیفیت نانوایی کمتری داشتند. در واقع به‌صورت کلی در تحقیقات فراوانی مشاهده شده است که آردهای دارای رنگ روشن از کیفیت نانوایی مناسبی برخوردار نیستند و سایر پارامترهای کیفی فیزیکی و شیمیایی مناسبی نیز ندارند و برعکس آردهای تیره رنگ‌تر از کیفیت نانوایی مطلوب‌تری برخوردارند که نتایج این پژوهش نیز به خوبی گواه این مدعا بود. شاخص رنگ a^* آرد با مقدار خاکستر (*۰/۵۸۴)، نشاسته آسیب‌دیده (**۰/۷۴۷)، آرابینوزایلان (*۰/۶۷۹)، فرولیک اسید (**۰/۷۹۵)، جذب آب (**۰/۸۶۵)، جذب روغن (*۰/۶۴۴)، اندازه ذرات بین µm ۱۰۶ تا ۱۲۵ (*۰/۶۴۰) و اندازه ذرات کوچک‌تر از µm ۱۰۶ (*۰/۶۵۳) همبستگی معنی‌دار داشت و برعکس با اندازه ذرات بین µm ۱۸۰ تا ۴۲۵ (*۰/۵۸۳-) دارای همبستگی منفی معنی‌دار بود. بدین معنی که آردهای قرمزتر، دارای مقدار خاکستر، نشاسته‌ی آسیب‌دیده، آرابینوزایلان‌ها و فرولیک اسید بیشتری بودند و جذب آب و جذب روغن بیشتری نیز داشتند و بیشتر حاوی ذرات کوچک بین µm ۱۰۶ تا ۱۲۵ و کوچک‌تر از µm ۱۰۶ و کمتر حاوی ذرات درشت بین µm ۱۸۰ تا ۴۲۵ بودند. تمامی موارد ذکر شده شامل مقدار خاکستر، نشاسته آسیب‌دیده، آرابینوزایلان‌ها، فرولیک اسید و کوچک بودن اندازه‌ی ذرات، هر کدام به‌دلیل ساختارهای ویژه خود، از جمله عواملی هستند که باعث افزایش

جذب آب و جذب روغن در آرد می‌شوند و بدین ترتیب کیفیت نانوایی آرد را افزایش می‌دهند که این نتایج نیز نتایج به‌دست آمده در قسمت‌های قبلی را تایید کردند. بین شاخص رنگ b^* آرد با رسوب زلنی (*۰/۶۲۰-) و رسوب SDS (*۰/۶۷۴-) همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. بدین معنی که آردهای دارای رنگ زرد بیشتر، دارای رسوب زلنی و رسوب SDS کمتری بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی کمتری داشتند.

در ادامه مطالعه، اندازه ذرات بزرگتر از ۴۲۵ µm ، با مقدار نشاسته آسیب‌دیده (*۰/۶۱۸-)، جذب آب (*۰/۶۳۹-)، رسوب SDS (**۰/۷۲۵-)، اندازه ذرات بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ (**۰/۹۰۵-)، گلوتن خشک (*۰/۶۱۰-)، شاخص گلوتن (**۰/۹۴۱-) و پیوندهای دی‌سولفیدی (**۰/۷۴۱-) همبستگی منفی معنی‌دار و با گروه‌های سولفیدریل (**۰/۷۹۹) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین معنی که آردهای حاوی ذرات درشت بیشتر، نشاسته‌ی آسیب‌دیده کمتری داشتند و در نتیجه از جذب آب کمتری نیز برخوردار بودند. این آردها کیفیت نانوایی کمتری داشتند و از رسوب SDS، شاخص گلوتن و گلوتن خشک کمتری برخوردار بودند و کمتر حاوی ذرات ریز بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ بودند. همچنین این آردها حاوی گروه‌های سولفیدریل زیادتر و پیوندهای دی‌سولفید کمتری بودند. اندازه ذرات بین ۱۸۰ µm تا ۴۲۵ ، با مقدار نشاسته‌ی آسیب‌دیده (**۰/۷۵۵-)، جذب آب (**۰/۸۱۱-)، جذب روغن (*۰/۵۸۷-)، اندازه ذرات بین ۱۰۶ µm تا ۱۲۵ (**۰/۹۳۴-) و کوچکتر از ۱۰۶ µm (**۰/۹۴۲-)، رسوب زلنی (**۰/۸۰۷-) و پیوندهای دی‌سولفید (**۰/۷۲۲-) همبستگی منفی معنی‌دار و با گروه‌های سولفیدریل (**۰/۸۰۷) ارتباط معنی‌داری داشت.

در مقابل از طرفی، اندازه ذرات بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ با رسوب SDS (*۰/۶۹۲)، گلوتن خشک (*۰/۶۲۱)، شاخص گلوتن (**۰/۸۰۲)، همبستگی معنی‌دار و با گروه‌های سولفیدریل (*۰/۵۹۵-) همبستگی منفی معنی‌دار داشت. همچنین، اندازه ذرات بین ۱۰۶ µm تا ۱۲۵ با نشاسته آسیب‌دیده (*۰/۶۵۵)، جذب آب (**۰/۷۵۲)، اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۶ µm (**۰/۹۷۴)، رسوب زلنی (**۰/۷۱۷) و پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۷۰۵) به‌طور معنی‌داری همبستگی و با گروه‌های سولفیدریل (**۰/۷۸۵-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۶ µm با مقدار نشاسته‌ی آسیب‌دیده (*۰/۶۵۸)، جذب آب (**۰/۷۹۰)، رسوب زلنی (*۰/۷۶۲) و پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۶۶۶) ارتباط معنی‌دار و برعکس با گروه‌های سولفیدریل (**۰/۷۷۰-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. به‌طور کلی، آردهای حاوی ذرات متوسط تا کوچک به علت بیشتر بودن محتوای پروتئینی آن‌ها و هیدراته‌شدن سریع‌تر آن‌ها نسبت به دانه‌های درشت آرد و همچنین آسیب‌دیدن بیشتر گرانول‌های نشاسته آن‌ها در طی فرایند آسیابانی، دارای کیفیت نانوایی بالاتری بودند و با سایر ویژگی‌های کیفی آرد مانند نشاسته‌ی آسیب‌دیده، جذب آب، رسوب زلنی، رسوب SDS، شاخص گلوتن و پیوندهای دی‌سولفید، همبستگی معنی‌داری داشتند. این ویژگی از اندازه ذرات کوچکتر از ۱۸۰ µm تا کوچکتر از ۱۰۶ µm قابل مشاهده بود.

خاکستر با مقدار آرابینوزایلان‌ها (پنتوزان های محلول در آب) (**۰/۷۲۵) و مقدار فرولیک اسید (**۰/۸۷۶) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که آردهای دارای خاکستر بیشتر، از مقدار آرابینوزایلان‌ها و فرولیک اسید بیشتری برخوردار بودند که این امر کاملا بدیهی است، زیرا که هر سه مورد نام برده شده در دیواره‌ی سلولی دانه‌های چاودم به‌صورت غالب واقع شده‌اند و به خوبی موید حضور یکدیگرند. همچنین، مقدار پروتئین با رسوب زلنی (**۰/۸۷۰)، رسوب SDS (*۰/۵۸۶)، گلوتن خشک (**۰/۷۷۵)، شاخص حجم نان (RMT) (**۰/۹۳۱) و گلوتن مرطوب (**۰/۸۴۱) به‌طور معنی‌داری همبستگی مثبت داشت. در این پژوهش، طبق نتایج به‌دست آمده از آرد انواع ارقام چاودم، آرد ارقام دارای مقدار پروتئین بیشتر مانند آلاموس ۸۳ و النور، از مقدار گلوتن مرطوب، گلوتن خشک، شاخص حجم نان (RMT)، رسوب زلنی و رسوب SDS بیشتری نیز برخوردار بودند. این بدین‌معنی است که در این مطالعه، ارقامی که از لحاظ کمی، مقدار پروتئین بیشتری داشتند، از لحاظ کیفی نیز در شرایط بهتری قرار داشتند و بین کمیت و کیفیت پروتئین همبستگی معنی‌داری مشاهده شد و بنابراین تمام صفات نام برده شده به خوبی موید یکدیگر بودند. مقدار نشاسته‌ی آسیب‌دیده با جذب آب (**۰/۹۲۱)، جذب روغن (*۰/۶۱۷) و پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۷۰۳) همبستگی معنی‌دار و با گروه‌های سولفیدریل (*۰/۷۰۰-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که،

آرد ارقام دارای نشاسته‌ی آسیب‌دیده بیشتر، از جذب آب و جذب روغن بالاتری برخوردار بودند که همانطور که در بخش-های قبلی به آن پرداخته شد علت آن حساسیت و نفوذپذیری بسیار زیاد گرانول‌های آسیب‌دیده‌ی نشاسته از محل آسیب-دیدگی نسبت به نفوذ آب و روغن و در کل حلال بود. مقدار آرابینوزایلان‌ها و فرولیک اسید (**۰/۸۱۹) به‌طور معنی‌داری ارتباط داشتند. فرولیک اسید نیز با جذب آب (*۰/۵۷۸) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. به‌طور کلی، آرد ارقام دارای مقدار پنتوزان‌های محلول در آب بیشتر، به‌طور معنی‌داری خاکستر بیشتر و فرولیک اسید بیشتری نیز داشتند. همچنین آرد این ارقام به‌طور معنی‌داری دارای رنگ قرمز بیشتر و روشنایی کمتری بودند که تمامی این صفات همانطور که قبلا توضیح داده شد موید یکدیگر بودند.

رسوب زلنی با جذب آب (*۰/۶۰۱)، رسوب SDS (**۰/۷۲۵)، گلوتن خشک (**۰/۷۴۳)، RMT (**۰/۸۴۱) و گلوتن مرطوب (*۰/۷۰۷) همبستگی معنی‌دار و با گروه‌های سولفیدریل (*۰/۶۹۳-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. رسوب SDS با گلوتن خشک (**۰/۸۲۷)، شاخص گلوتن (**۰/۸۰۵)، RMT (**۰/۷۴۹) و گلوتن مرطوب (*۰/۶۸۹) به‌طور معنی‌داری همبستگی و با گروه‌های سولفیدریل (*۰/۶۸۴-) از همبستگی منفی معنی‌دار برخوردار بود. در واقع آردهای دارای گلوتن خشک، گلوتن مرطوب، RMT و پیوندهای دی‌سولفید بیشتر و گروه‌های سولفیدریل کمتر، از رسوب زلنی و رسوب SDS بیشتری نیز برخوردار بودند و به‌صورت اختصاصی رسوب زلنی با جذب آب و رسوب SDS با شاخص گلوتن به‌صورت معنی‌داری همبستگی داشتند که علت آن به‌دلیل ماهیت هر یک از این آزمون‌ها برای تعیین کیفیت گلوتن آرد می‌باشد. همچنین RMT با جذب روغن (*۰/۶۰۷)، گلوتن خشک (**۰/۸۴۴) و گلوتن مرطوب (**۰/۸۳۳) به‌طور معنی‌داری ارتباط داشت. بدین‌معنی که آردهای دارای گلوتن بیشتر و جذب روغن بیشتر، از شاخص حجم نان بالاتری برخوردار بودند. گلوتن مرطوب و گلوتن خشک (**۰/۹۳۳) نیز به‌طور معنی‌داری همبسته بودند و در ادامه گلوتن خشک و شاخص گلوتن (*۰/۵۸۹) همبستگی معنی‌دار داشتند. همچنین، شاخص گلوتن با پیوندهای دی‌سولفیدی (**۰/۷۸۹) همبستگی معنی‌دار و با گروه‌های سولفیدریل (**۰/۸۳۷-) همبستگی منفی معنی‌دار داشت. جذب آب با جذب روغن (*۰/۶۳۲) و پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۶۳۶) دارای ارتباط معنی‌دار ولی با گروهای سولفیدریل (**۰/۷۴۰-) دارای ارتباط منفی معنی‌داری بود. به‌صورت کلی، ارقام دارای جذب آب بالاتر، ارقام با کیفیت‌تری بودند و جذب روغن بیشتری نیز داشتند که علت آن مناسب بودن کمیت و کیفیت پلیمرهای چنین آردهایی است که در نتیجه به خوبی این پلیمرها قادر به واکنش با آب و روغن و نگه‌داری آن‌ها در درون ساختار خود بودند. در نهایت مقدار گروه‌های سولفیدریل و پیوندهای دی‌سولفیدی (**۰/۸۸۷-) همبستگی منفی معنی‌داری داشتند. در واقع همانطور که تاکنون مشخص شد پیوندهای دی‌سولفیدی موجود در آرد با بسیاری از ویژگی‌های کیفی آرد به‌طور معنی‌داری، دارای همبستگی و گروه‌های سولفیدریل موجود در آرد با بسیاری از ویژگی‌های کیفی آرد همبستگی منفی معنی‌داری داشتند که علت آن در واقع وابستگی شدید کیفیت نانوایی آرد به میزان پیوندهای دی‌سولفیدی و گروه‌های سولفیدریل موجود در آرد است و به همین علت به خوبی با سایر پارامترهای کیفی آرد همبسته بودند. میانگین نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد دانه‌های انواع ارقام در این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط بسیاری از محققین از جمله لئون و همکاران، سرنا - سالدیور و همکاران،، روکیا و همکاران، آیگنی و همکاران، لئون و همکاران، اولیت و همکاران، ژونالا و همکاران، نایک و همکاران، راخا و همکاران، ناوارو - کونترراس و همکاران، فراس و همکاران، آپرادو و بانیو هماهنگی داشت [۳۴-۲۳].

۵.۳. بررسی ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال (SRC) و شاخص عملکرد گلوتن (GPI) آرد انواع ارقام

طبق نتایج ارائه‌شده در شکل‌های ۵-۳، در بین چاودم‌ها، زورو با ۸۸/۹۲٪ دارای بیشترین و لاسکو ۱، جوانیلو، سناباد و لاسکو ۲ با ۶۶/۱۰، ۷۰/۵۵، ۷۰/۴۰ و ۶۸/۲۹٪ دارای کمترین WSRC حلال آب دیونیزه بودند. چاودار با ۱۲۹/۰۰٪ دارای بیشترین WSRC در بین تمامی ارقام بود. مقدار WSRC با مقدار ظرفیت جذب آب (WAC) برای آرد ارقام مختلف دارای همبستگی بسیار بالایی است و همخوانی زیادی بین این دو صفت وجود دارد و از این رو ارقامی که آرد آن‌ها ظرفیت جذب

جدول (۸) ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد ارقام چاودم.

Table 8 Pearson correlation coefficients between flour physical and chemical characteristics of the triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	شاخص روشنایی L^*-value	شاخص قرمزی a^*-value	شاخص زردی b*-value	اندازه ذرات 425 < Particles size	اندازه ذرات 180–425 Particles size	اندازه ذرات 125–180 Particles size	اندازه ذرات ۱۰۶–125 Particles size	اندازه ذرات < 106 Particles size	خاکستر Ash	پروتئین Protein	آسیب نشاسته Damaged starch	آرابینوزایلان Arabinoxylan	فرولیک اسید Ferulic acid
شاخص قرمزی a^*-value	-0.851^{**}												
خاکستر Ash	-0.826^{**}	0.584^{*}											
آسیب نشاسته DS	-0.750^{**}	0.747^{**}		-0.618^{*}	-0.755^{**}		0.655^{*}	0.658^{*}					
آرابینوزایلان Arabinoxylan	-0.732^{**}	0.679^{*}							0.725^{**}				
فرولیک اسید Ferulic acid	-0.890^{**}	0.795^{**}							0.876^{**}			0.819^{**}	
جذب آب WAC	-0.757^{**}	0.865^{**}		-0.639^{*}	-0.811^{**}		0.752^{**}	0.790^{**}			0.921^{**}		0.578^{*}
جذب روغن OAC	-0.677^{*}	0.644^{*}			-0.587^{*}						0.617^{*}		
رسوب زلنی Zeleny-sedi			-0.620^{*}		-0.807^{**}		0.717^{**}	0.762^{*}		0.870^{**}			
رسوبSDS SDS-sedi			-0.674^{*}	-0.725^{**}		0.692^{*}				0.586^{*}			
گلوتن خشک Dry gluten				-0.610^{*}		0.621^{*}				0.775^{**}			
شاخص گلوتن Gluten Index				-0.941^{**}		0.802^{**}							
سولفیدریل SH-groups				0.799^{**}	0.807^{**}	-0.595^{*}	-0.785^{**}	-0.770^{**}			-0.700^{*}		
دی‌سولفید SS-bounds				-0.741^{**}	-0.722^{**}		0.705^{*}	0.666^{*}			0.703^{*}		
حجم نان RMT										0.931^{**}			
گلوتن تر Wet Gluten										0.841^{**}			

جدول (۹) ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد ارقام چاودم (ادامه جدول ۸).

Table 9 Pearson correlation coefficients between flour physical and chemical characteristics of the triticale cultivars (Continued from Table 8) .

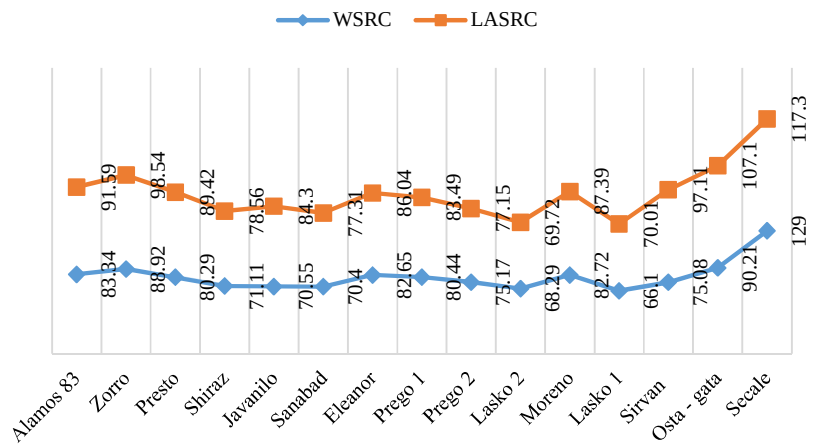
ویژگی‌ها Characteristics	رسوب زلنی Zeleny-sedi	رسوب SDS SDS-sedi	حجم نان RMT	گلوتن تر Wet Gluten	گلوتن خشک Dry gluten	شاخص گلوتن Gluten Index	جذب آب WAC	گروه‌های سولفیدریل SH-groups
جذب آب WAC	0.601*							
جذب روغن OAC			0.607*				0.632*	
رسوب SDS SDS-sedi	0.725**							
گلوتن خشک Dry gluten	0.743**	0.827**	0.844**	0.933**				
شاخص گلوتن Gluten Index		0.805**			0.589*			
گروه‌های سولفیدریل SH-groups	- 0.693*	- 0.684*				- 0.837**	- 0.740**	
پیوندهای دی‌سولفیدی SS-bounds						0.789**	0.636*	- 0.887**
حجم نان RMT	0.841**	0.749**						
گلوتن تر Wet Gluten	0.707*	0.689*	0.833**					

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**Significant at level of 0.01

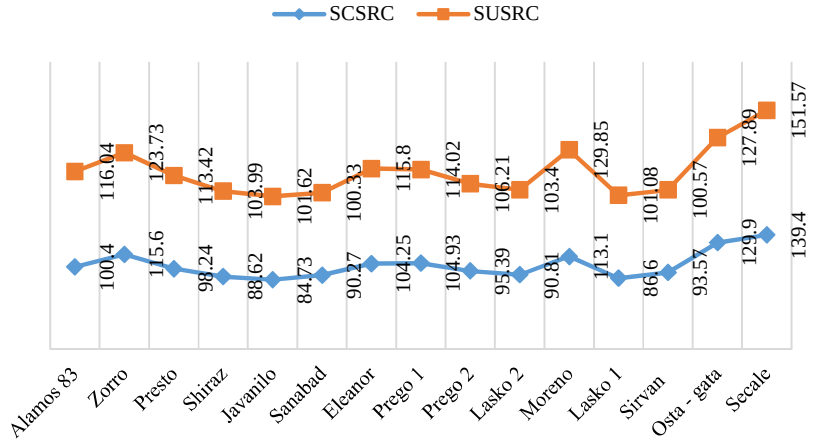
* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

*Significant at level of 0.05



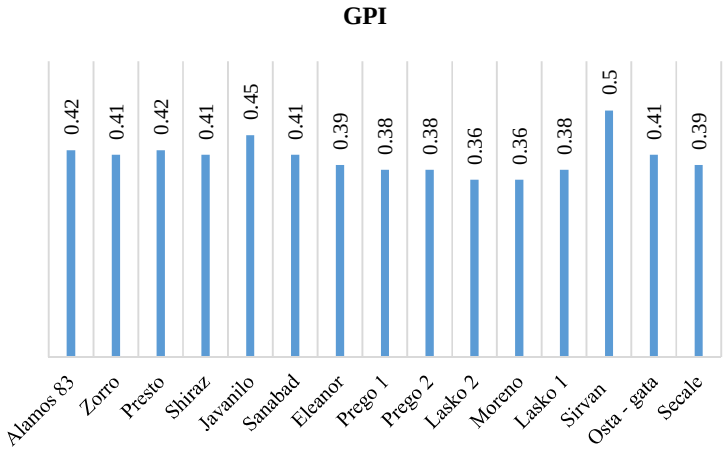
شکل (۳) میانگین ظرفیت نگه‌داری آب دیونیزه و ظرفیت نگه‌داری محلول لاکتیک اسید آرد انواع ارقام

Fig. 3. Average W – SRC and LA – SRC of flour cultivars



شکل (۴) میانگین ظرفیت نگه‌داری محلول سدیم کربنات و ظرفیت نگه‌داری محلول ساکارز آرد انواع ارقام

Fig. 4. Average SC – SRC and SU – SRC of flour cultivars



شکل (۵) میانگین شاخص عملکرد گلوتن آرد انواع ارقام

Fig. 5. Average gluten performance index of flour cultivars

آب بالایی داشتند در ادامه نیز از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری آب دیونیزه برخوردار بودند و در کل این ارقام از کیفیت نانوایی بهتری برخوردار بودند. در بین چاودم‌ها، زورو با ۹۸/۵۴٪ و پس از آن، آلاموس ۸۳، پرستو و مورنو با ۹۱/۵۹، ۸۹/۴۲ و ۸۷/۳۹٪ دارای بیشترین و لاسکو ۲ و لاسکو ۱ با ۶۹/۷۲ و ۷۰/۰۱٪ و پس از آن‌ها پرگو ۲، شیراز و سناباد با ۷۷/۱۵، ۷۸/۵۶ و ۷۷/۳۱٪ دارای کمترین LASRC حلال لاکتیک اسید ۵٪ وزنی / وزنی بودند. گندم دوروم با ۱۰۷/۱۰٪ دارای LASRC بیشتر از گندم سیروان (۹۷/۱۱٪) و تمامی ارقام چاودم بود و در نهایت، چاودار با ۱۱۷/۳۰٪ دارای بیشترین LASRC در بین تمامی ارقام بود. پلیمرهای گلوتنین‌ها به خوبی تحت‌تاثیر محیط اسیدی رقیق به علت ساختار ویژه خود قرار می‌گیرند و در مواجه با این حلال در طی آزمون به سرعت متورم می‌شوند و این حلال را به خوبی در خود نگه‌می‌دارند. در واقع آرد ارقامی که در آزمون‌های قبلی از کیفیت گلوتن مناسب و بالایی برخوردار بودند، در این مرحله از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال لاکتیک اسید برخوردار بودند و LASRC بالاتری داشتند. بنابراین به راحتی می‌توان با انجام آزمون LASRC به کیفیت گلوتن آرد ارقام مختلف پی‌برد.

زورو و مورنو با ۱۱۵/۶۰ و ۱۱۳/۱۰٪ و پس از آن‌ها پرگو ۱، آلاموس ۸۳ و النور با ۱۰۴/۹۳، ۱۰۰/۴۰ و ۱۰۴/۲۵٪ از بیشترین و جوانیلو، شیراز، سناباد و لاسکو ۱ با ۸۴/۷۳، ۸۸/۶۲، ۹۰/۲۷ و ۸۶/۶۰٪ از کمترین SCSRC حلال سدیم کربنات ۵٪ وزنی / وزنی بودند. گندم دوروم با ۱۲۹/۹۰٪ دارای مقدار SCSRC بیشتر از گندم سیروان (۹۳/۵۷٪) و تمامی ارقام چاودم بود و بلاخره چاودار با ۱۳۹/۴۰٪ دارای بیشترین SCSRC در بین تمامی ارقام بود. هر چه قدر آردی دارای گرانول‌های نشاسته آسیب‌دیده بیشتری باشد و این آسیب‌ها در گرانول‌ها بیشتر باشند، به علت نفوذ راحت‌تر حلال از قسمت‌های آسیب‌دیده، از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال سدیم‌کربنات برخوردار است. در واقع پلیمرهای نشاسته آسیب‌دیده به شدت تحت‌تاثیر محلول سدیم‌کربنات قرار می‌گیرند و در طی آزمون به کمک آن متورم می‌شوند و به خوبی این حلال را در خود حفظ می‌کنند. مورنو و زورو به‌ترتیب با ۱۲۹/۸۵ و ۱۲۳/۷۳٪ و پس از آن‌ها آلاموس ۸۳، پرستو، النور و پرگو ۱ با ۱۱۶/۰۴، ۱۱۳/۴۲، ۱۱۵/۸۰ و ۱۱۴/۰۲٪ دارای بیشترین و سناباد، شیراز، جوانیلو، لاسکو ۲ و لاسکو ۱ با ۱۰۰/۳۳، ۱۰۳/۹۹، ۱۰۱/۶۲، ۱۰۳/۴۰ و ۱۰۱/۰۸٪ دارای کمترین SUSRC حلال ساکارز ۵۰٪ وزنی / وزنی بودند. چاودار با ۱۵۱/۵۷٪ دارای بیشترین SUSRC در بین تمامی ارقام بود. آرد گندم دوروم (۱۲۷/۸۹٪) با دو چاودم زورو و مورنو از نظر SUSRC اختلاف معنی‌داری نداشت. ظرفیت نگه‌داری محلول ساکارز با ویژگی‌های پلیمرهای آرابینوزایلان‌ها یا همان پنتوزان‌های محلول در آب آرد همبستگی دارد و توسط این نوع از پلیمرهای آرد تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد. در واقع پلیمرهای آرابینوزایلان‌ها به علت ساختار ویژه خود تحت‌تاثیر حلال ساکارز قرار می‌گیرند و به خوبی توسط آن متورم می‌شوند و نهایتا این حلال را در خود حفظ می‌کنند. همانطور که مشاهده شد، آرد ارقام مختلف که در آزمون‌های قبلی از محتوای آرابینوزایلان‌های بالاتری برخوردار بودند از ظرفیت بیشتری نیز برای نگه‌داری حلال ساکارز برخوردار بودند و SUSRC بالاتری داشتند و بنابراین با آزمون SUSRC می‌توان به وضعیت آرد ارقام مختلف به لحاظ فیبرهای محلول در آب پی‌برد.

در بین چاودم‌ها، جوانیلو با ۰.۴۵ از بیشترین و لاسکو ۲، پرگو ۱، پرگو ۲، مورنو و لاسکو ۱ با ۰/۳۶، ۰/۳۸، ۰/۳۸، ۰/۳۶ و ۰/۳۸ از کمترین مقدار GPI شاخص عملکرد گلوتن برخوردار بودند. آرد گندم سیروان به سبب کیفیت گلوتنی برتر دارای بیشترین مقدار GPI (۰/۵۰) در بین تمامی ارقام بود. طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، آرد ارقام مختلف که در مراحل قبلی کیفیت بالاتری از گلوتن را از خود نشان دادند در این مرحله از GPI بالاتری برخوردار بودند و این صفت به خوبی با سایر پارامترهای کیفیت نانوایی آرد به لحاظ کیفیت پروتئین همخوانی داشت. در مطالعه SRC ارقام نزدیک، آرد چاودار دارای بیشترین ظرفیت برای نگه‌داری حلال‌های آب دیونیزه، لاکتیک اسید، سدیم کربنات و ساکارز بود، که علت آن می‌تواند بالا بودن ظرفیت جذب آب (WAC) آرد چاودار به علت بالا بودن مقدار آرابینوزایلان‌ها، فرولیک اسید، خاکستر و نشاسته آسیب‌دیده در آرد این دانه باشد و از آن جایی که محلول‌های SRC محلول‌های بسیار رقیقی هستند، آرد چاودار به راحتی می‌تواند آن‌ها را به میزان زیادی در خود نگه‌دارد. در بین ارقام چاودم، زورو که از کیفیت نانوایی بسیار بالایی برخوردار بود، دارای بیشترین ظرفیت نگه‌داری برای حلال‌های آب دیونیزه،

لاکتیک اسید و سدیم کربنات بود و مورنو که دارای مقدار آرابینوزایلان‌های زیادی بود از بیشترین ظرفیت نگه‌داری برای حلال ساکارز برخوردار بود. آرد گندم دوروم و چاودم زورو، از نظر WSRC اختلاف معنی‌داری نداشتند و همچنین، آرد گندم دوروم دارای LASRC بیشتر از گندم سیروان و تمامی ارقام چاودم بود و در ادامه از SCSRC بیشتر از گندم سیروان و تمامی ارقام چاودم نیز برخوردار بود.

۶.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۱۰)، شاخص رنگ L^* دانه، با WSRC (-۰/۶۵۶*)، LASRC (-۰/۷۷۳**) و GPI (-۰/۶۳۱*)، همبستگی منفی معنی‌دار داشت. بدین معنی که ارقام چاودم دارای دانه‌های با رنگ تیره‌تر که از کیفیت نانوایی بالاتری برخوردار بودند، آردهای تولید شده از آن‌ها ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال‌های آب دیونیزه و لاکتیک اسید داشتند و از شاخص عملکرد گلوتن (GPI) بالاتری نیز برخوردار بودند. وزن هزاردانه با LASRC (۰/۶۰۹*) و GPI (۰/۸۹۳**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین معنی که ارقام دارای وزن هزاردانه بیشتر، ظرفیت نگه‌داری بیشتری برای حلال لاکتیک اسید داشتند و از شاخص عملکرد گلوتن بالاتری برخوردار بودند. هکتولیتر با GPI (۰/۶۳۲*) ارتباط معنی‌داری داشت. همچنین، طول دانه با LASRC (۰/۶۹۱*) و GPI (۰/۷۱۴**) ارتباط معنی‌داری داشت. بین ضخامت دانه با GPI (۰/۸۸۴**) ارتباط معنی‌داری وجود داشت. سختی دانه با WSRC (۰/۶۰۷*)، LASRC (۰/۷۶۰*) و GPI (۰/۶۰۷*) نیز از همبستگی معنی‌داری برخوردار بود. در واقع ارقام چاودم دارای روشنایی کمتر، وزن هزاردانه، هکتولیتر، طول، ضخامت و سختی دانه بیشتر، به‌طور معنی‌داری شاخص عملکرد گلوتن بالاتری داشتند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که دانه‌های آن‌ها دارای ویژگی‌های کیفی فیزیکی بهتری بودند، آردهایی با ویژگی‌های کیفی فیزیکی، شیمیایی و مولکولی بهتری تولید کردند که به‌دلیل کیفیت بالای پلیمرهای خود از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال‌های اصلی SRC شامل آب دیونیزه و لاکتیک اسید برخوردار بودند و همچنین شاخص عملکرد گلوتن بالاتری داشتند.

۷.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال (SRC) آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۱۱، WSRC با شاخص رنگ L^* آرد (-۰/۸۳۵**)، اندازه ذرات بزرگتر از ۴۲۵ µm (-۰/۵۹۹*)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ µm تا ۴۲۵ (-۰/۷۸۷**) و گروه‌های سولفیدریل (-۰/۶۴۷*) همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با شاخص رنگ a^* آرد (۰/۸۶۵**)، اندازه ذرات بین ۱۰۶ µm تا ۱۲۵ (۰/۶۹۱*)، اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۶ µm (۰/۷۴۴**)، نشاسته آسیب‌دیده (۰/۹۰۵**)، فرولیک اسید (۰/۶۱۲*)، رسوب زلنی (۰/۵۷۹*)، جذب آب (۰/۹۵۴**) و جذب روغن (۰/۷۹۴**) ارتباط معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که، آردهایی که دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، اندازه ذرات کوچکتر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، فرولیک اسید بیشتر، رسوب زلنی، جذب آب و جذب روغن بیشتر و گروه‌های سولفیدریل کمتر بودند، از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال آب دیونیزه برخوردار بودند و WSRC بالاتری داشتند. ظرفیت نگه‌داری آب دیونیزه با همه ترکیبات پلیمری آرد همبسته است و توسط همه‌ی ترکیبات پلیمری موجود در آرد مخصوصا آرابینوزایلان‌ها، فرولیک اسید، نشاسته‌ی آسیب‌دیده، پروتئین‌های گلوتن و دیگر ترکیبات آرد تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد و همان طور که مشخص شد، در این پژوهش نیز SRC آب دیونیزه توسط همه‌ی ترکیبات آرد تحت‌تاثیر قرار گرفت. در ادامه، LASRC با شاخص رنگ L^* آرد (-۰/۷۴۸**)، اندازه ذرات بزرگتر از ۴۲۵ µm (-۰/۷۰۷*)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ µm تا ۴۲۵ (-۰/۸۱۱**) و گروه‌های سولفیدریل (-۰/۸۳۲**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت در صورتی که با شاخص رنگ a^* آرد (۰/۸۰۰**)، اندازه ذرات بین ۱۰۶ µm تا ۱۲۵ (۰/۷۴۱**)، اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۶ µm (۰/۷۹۲**)، نشاسته آسیب‌دیده (۰/۸۰۹**)، رسوب زلنی (۰/۷۰۴*)، جذب آب (۰/۸۶۷**)، جذب روغن (۰/۸۴۳**)، پیوندهای دی‌سولفیدی (۰/۷۰۰*)، اندازه ذرات بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ (۰.۵۸۱*)، رسوب SDS (۰.۶۷۳*)، RMT (۰.۶۰۱*) و شاخص گلوتن (۰.۶۹۲*) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین معنی که، آردهای دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، اندازه ذرات کوچک‌تر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، رسوب زلنی، جذب آب،

جدول (۱۰) ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال آرد ارقام چاودم.

Table 10 Pearson correlation coefficients between grain characteristics and flour solvent retention capacity characteristics of the triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	شاخص روشنایی L*-value	هزار دانه TKW	هکتولیتر Hectoliter	طول Length	ضخامت Diameter	سختی دانه Hardness index
نگه‌داری آب دیونیزه WSRC	-0.656*					0.607*
نگه‌داری محلول لاکتیک اسید LASRC	-0.773**	0.609*		0.691*		0.760*
شاخص عملکرد گلوتن GPI	-0.631*	0.893**	0.632*	0.714**	0.884**	0.607*

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**Significant at level of 0.01

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

*Significant at level of 0.05

جذب روغن، پیوندهای دی‌سولفیدی، رسوب SDS، شاخص حجم نان (RMT) و شاخص گلوتن بالاتر، از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال لاکتیک اسید برخوردار بودند و LASRC بالاتری داشتند. ظرفیت نگه‌داری حلال لاکتیک اسید با ویژگی‌های پلیمرهای گلوتنین‌ها تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد و نتایج این پژوهش نیز با این ویژگی مطابقت داشتند.

همچنین در مورد SCSRC با شاخص رنگ L^* آرد (۰/۸۵۰-**)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با شاخص رنگ a^* آرد (۰/۹۲۵**)، اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۶ µm (۰/۵۷۸*)، نشاسته آسیب‌دیده (۰/۸۳۷**)، فرولیک اسید (۰/۶۹۸*)، جذب آب (۰/۸۹۱**) و جذب روغن (۰/۶۳۱*) ارتباط معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که، آردهای دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، اندازه ذرات کوچکتر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، فرولیک اسید بیشتر، جذب آب و جذب روغن بیشتر، از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال سدیم کربنات برخوردار بودند و SCSRC بالاتری داشتند. ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم کربنات با محتوای نشاسته آسیب‌دیده تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد و در طی آزمون این پلیمرها به کمک حلال سدیم کربنات متورم می‌شوند و به خوبی این حلال را در خود حفظ می‌کنند و نتایج نیز نشان‌دهنده‌ی این موضوع بودند. در ادامه مطالعه، SUSRC با شاخص رنگ L^* آرد (۰/۸۸۴-**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت در حالی که با شاخص رنگ a^* آرد (۰/۹۱۷**)، نشاسته آسیب‌دیده (۰/۷۵۲**)، فرولیک اسید (۰/۷۶۶**)، جذب آب (۰/۸۳۰**)، جذب روغن (۰/۶۷۵*)، خاکستر (۰/۶۶۲*) و آرابینوزایلان‌ها (۰/۶۱۷*) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که، آردهای دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، فرولیک اسید بیشتر، جذب آب و جذب روغن بیشتر، خاکستر و آرابینوزایلان‌های بیشتر، از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال ساکارز برخوردار بودند و SUSRC بالاتری داشتند. ظرفیت نگه‌داری حلال ساکارز با ویژگی‌های پنتوزان‌های محلول در آب (آرابینوزایلان‌ها) همراه است و همان طور که مشخص شد آردهای دارای آرابینوزایلان‌های بیشتر دارای SUSRC بالاتری بودند.

شاخص عملکرد گلوتن یا همان GPI با گروه‌های سولفیدریل (۰/۶۴۶-*)، شاخص رنگ b^* آرد (۰/۶۰۹-*) و عدد فالینگ (۰/۶۲۵-*) همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با رسوب زلنی (۰/۵۸۱*)، رسوب SDS (۰/۸۱۹**) و شاخص گلوتن (۰/۷۲۳**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که آردهای دارای رسوب زلنی، رسوب SDS و شاخص گلوتن بیشتر و گروه‌های سولفیدریل، رنگ زرد و عدد فالینگ کمتر، از شاخص عملکرد گلوتن بالاتری برخوردار بودند و GPI بالاتری داشتند. شاخص عملکرد گلوتن، شاخص بهتری برای پیش‌بینی عملکرد کلی گلوتنین ها در آرد است و به‌صورت دقیق‌تر و بهتر و با خطای کمتری می‌توان آردهای ارقام مختلف را به لحاظ قدرت گلوتن تقسیم‌بندی نمود و نتایج این پژوهش تاییدکننده این موضوع بود. میانگین نتایج ویژگی‌های SRC آرد انواع ارقام در این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط بسیاری از محققین

جدول (۱۱) ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ظرفیت نگهداری حلال آرد ارقام چاودم.

Table 11 Pearson correlation coefficients between flour physical and chemical characteristics and flour solvent retention capacity characteristics of the triticale cultivar.

ویژگی‌ها Characteristics	نگه‌داری آب دیونیزه WSRC	نگه‌داری محلول لاکتیک اسید LASRC	نگه‌داری محلول سدیم کربنات SCSRC	نگه‌داری محلول ساکارز SUSRC	شاخص عملکرد گلوتن GPI
شاخص روشنایی L*-value	-0.825**	-0.748**	-0.850**	-0.884**	
شاخص قرمزی a*-value	0.865**	0.800**	0.925**	0.917**	
اندازه ذرات < 425 Particles size	-0.599*	-0.707*			
اندازه ذرات۴۲۵-۱۸۰ Particles size	-0.787**	-0.811**			
اندازه ذرات۱۲۵-۱۰۶ Particles size	0.691*	0.741**			
اندازه ذرات < 106 Particles size	0.744**	0.792**	0.578*		
آسیب نشاسته Damaged starch	0.905**	0.809**	0.837**	0.752**	
فرولیک اسید Ferulic acid	0.612*		0.698*	0.766**	
رسوب زلنی Zeleny-sedi	0.579*	0.704*			0.581*
جذب آب WAC	0.954**	0.867**	0.891**	0.830**	
جذب روغن OAC	0.794**	0.843**	0.631*	0.675*	
گروه‌های سولفیدریل SH-groups	-0.647*	-0.832**			-0.646*
پیوندهای دی‌سولفیدی SS-bounds		0.700*			
اندازه ذرات۱۸۰-۱۲۵ Particles size		0.581*			
رسوب SDS SDS-sedi		0.673*			0.819**
حجم نان RMT		0.601*			
شاخص گلوتن GI		0.692*			0.723**
خاکستر Ash				0.662*	
آرابینوزایلان Arabinoxylan				0.617*	
شاخص زردی b*-value					-0.609*

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱
**Significant at level of 0.01
* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵
Significant at level of 0.05

از جمله روکیا و همکاران و اولیت و همکاران هماهنگی داشت نتایج به‌دست آمده توسط بسیاری از محققین از جمله گینز، [۲۵، ۳۳]. به‌صورت کلی نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با گاتیری و همکاران، بتجی و همکاران، رام و همکاران، گینز، رام

و همکاران، گینز و همکاران، زائو و همکاران، بارا و همکاران، نیشیو و همکاران، نیشیو و همکاران، دایوجونک و همکاران، هروسکووا و همکاران، کار و همکاران، آل - دمور و همکاران، علی و همکاران، حامد و همکاران، کائو و همکاران و ماریوتی و همکاران هماهنگ بود [۵۳-۳۵].

۴. نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان بیان داشت که ارقام چاودم شامل آلاموس ۸۳ (Alamos 83)، زورو (Zorro)، پرستو (Presto)، شیراز (Shiraz) و جوانیلو (Javanilo) از بالاترین کیفیت نانوایی برخوردار بودند و صفاتی نزدیک به رقم گندم سیروان (Sirvan) (گندم نان) از خود نشان دادند. دو رقم چاودم سناباد (Sanabad) و النور (Eleanor) نیز از کیفیت نانوایی متوسطی برخوردار بودند و بیشتر رفتاری شبیه رقم گندم اوستا - گاتا (Osta - gata) (گندم دوروم) داشتند. در نهایت ارقام چاودم شامل پرگو ۱ (Prego 1)، پرگو ۲ (Prego 2)، لاسکو ۲ (Lasko 2)، مورنو (Moreno) و لاسکو ۱ (Lasko 1) از پایین‌ترین کیفیت نانوایی برخوردار بودند و صفاتی نزدیک به رقم چاودار (Secale) از خود نشان دادند. به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی دانه مورد مطالعه، ارقام برتر از نظر کیفیت نانوایی به‌طور کلی دارای ابعاد دانه بزرگتر، ضریب کرویت، وزن هزاردانه، هکتولیتر، چگالی‌ویژه، سختی دانه و درجه استحصال آرد بیشتری بودند و در رنگ‌سنجی از شاخص قرمزی (a^*) و زردی (b^*) بالاتر و شاخص روشنایی (L^*) کمتری برخوردار بودند و محتوای رطوبت کمتری داشتند. در ادامه پس از آسیابانی، از دانه‌های ارقام با کیفیت نانوایی برتر آردهایی به‌دست آمد که از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی آرد به‌طور کلی دارای اندازه ذرات متوسط و کوچک بالاتر اندازه ذرات آرد بین ۱۸۰ µm تا ۱۲۵ µm ، بین ۱۲۵ µm تا ۱۰۶ µm و کوچکتر از ۱۰۶ µm، عدد فالینگ کمتر فعالیت آلفا آمیلازی بالاتر و در رنگ‌سنجی از شاخص قرمزی بالاتر و شاخص روشنایی و زردی کمتری برخوردار بودند. همچنین آردهای این ارقام از لحاظ ویژگی‌های شیمیایی و مولکولی به علت بالا بودن کیفیت اجزاء پلیمری خود، به‌طور کلی دارای محتوای پروتئین، رسوب زلنی، حجم نان (RMT)، خاکستر، گلوتن مرطوب، گلوتن خشک، شاخص گلوتن، جذب آب، جذب روغن، رسوب سدیم دودسیل سولفات (SDS)، آمیلوز، نشاسته آسیب‌دیده، پنتوزان‌های محلول در آب، فرولیک اسید و پیوندهای دی‌سولفیدی (SS) بیشتر و گروه‌های سولفیدریل (SH) کمتری نسبت به سایر ارقام بودند. در نهایت در مطالعه ظرفیت نگه‌داری حلال (SRC)، چنین آردهایی دارای ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری انواع حلال‌های SRC بودند و پروفیل‌های SRC مطلوب‌تر و بالاتری داشتند، که علت آن متورم شدن هرچه بهتر و بیشتر اجزاء پلیمری آن‌ها در مواجه با انواع حلال‌ها بود. به‌طور قوی و مشخص، WSRC با همه‌ی ترکیبات پلیمری آرد، LASRC با ویژگی‌های پلیمری‌های گلوتنین‌ها، SCSRC با ویژگی‌های پلیمری‌های نشاسته آسیب‌دیده، SUSRC با ویژگی‌های پلیمرهای آرابینوزایلان‌ها و GPI با کیفیت گلوتن آرد، همبسته بودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، از آزمون ریز مقیاس ظرفیت نگه‌داری حلال به‌دلیل همبستگی‌های معنی‌دار و بسیار قوی پروفیل‌های آن با پارامترهای سایر روش‌های تعیین‌کننده‌ی کیفیت دانه و آرد، به تنهایی و به سهولت، می‌توان در تعیین و تشخیص ارقام با کیفیت نانوایی برتر و در نتیجه به‌دست آوردن فراورده با کیفیت بهینه با صرف کمترین هزینه و زمان استفاده نمود. در مقاله شماره ۲ به مطالعه ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی SRC و آزمون آلوئوگرافی برای تشخیص هرچه بهتر کیفیت اجزای پلیمری ۱۵ رقم ذکر شده، پرداخته خواهد شد.

منابع

[1] Zhu, F. (2017). Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chem*., 241, 468-479.

[2] Ortiz-Monasterio, J. I., Pena, R. J., Hede, A. H., Pefeiffer, W. H. (2002). Nitrogen and water stress in triticale and durum wheat yield and quality, in: Proceeding of the 5th International Triticale Symposium. *Radzikow, Poland*, pp 11-26.

[۳] خواجه‌پور، م. ر. (۱۳۹۳) غلات. *مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان*.

[۴] مجنون حسینی، ن. (۱۳۸۵). زراعت غلات (گندم، جو، برنج و ذرت). مرکز نشر دانشگاه تهران.

[5] Kweon, M., Slade, L., Levine, H., Gannon, D. (2014). Cookie- versus cracker baking--What's the difference? Flour functionality requirements explored by SRC and alveography. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*., 54, 115-138.

[6] Kweon, M., Slade, L., Levine, H. (2011). Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding- A review. *Cereal Chem*., 88, 537-552.

[7] Slade, L., Levine, H. (1994). Structure-function relationships of cookie and cracker ingredients, in: Faridi, H. (Ed.), The Science of Cookie and Cracker Production, Chapman and Hall, New York, pp 23-141.

[8] AACC International. (2010). Approved Methods of the AACC. St. Paul, Minnesota, USA.

[9] Guzman, C., Romano, G.P., Espinosa, N.H., Dorantes, A.M., Pena, R.G. (2015). A new standard water absorption criteria based on solvent retention capacity (SRC) to determine dough mixing properties, viscoelasticity, and bread-making quality. *J. Cereal Sci*., 66, 59-65.

[10] Mohsenin, N.N. (1987). Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. *Nahrung*., 31, 700-702.

[11] Zheng, C., Sun, D.W., Zheng, L. (2006). Recent developments and applications of Image features for food quality evaluation and inspection. *J. Food Sci. Technol*., 17, 113-128.

[12] Bayram, M., Öner, M.D., Eren, S. (2004). Effect of cooking time and temperature on the dimensions and crease of the wheat kernel during bulgur production. *J. Food Eng*., 64, 43-51.

[13] Mariotti, M., Alamprese, C., Pagani, M.A., Lucisano, M. (2006). Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. *J. Cereal Sci*., 43, 47-56.

[14] Hously, T.L., Kirleis, A.W., Ohm, H.W., Patternson, F.L. (1981). An evaluation of seed growth in soft red winter wheat. *Can J. Plant Sci.*, 61, 525- 535.

[15] Sissons, M.J., Osborne, B., Sissons, S. (2006). Application of near infrared reflectance spectroscopy to a durum wheat breeding programme. *JNIRS.*, 14, 17-25.

[16] Bass, E.J. (1988). Wheat flour milling. in: Pomeranz, Y. (Ed.), Wheat Chemistry and Technology, St. Paul, Minnesota, USA, AACC, pp 1-68.

[17] Drakos, A., Malindretou, K., Mandala, I., Evageliou, V. (2017). Protein isolation from jet milled rye flours differing in particle size. FBP., 104, 13-18.

[18] Carter, B.P., Morris, C.F. and Anderson, J.A. (1999). Optimizing the SDS sedimentation test for end-use quality selection in a soft white and club wheat breeding program. *Cereal Chem*., 76, 907-911.

[19] Williams, P.C., Kuzina, F.D., Hlynka, I. (1970). Rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.*, 47, 411-421.

[20] Hashimoto, S., Shogren, M., Pomeranz, Y. (1987). Cereal pentosans: Estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products. *Cereal Chem.*, 64, 30-34.

[21] Pussayanawin, V. and Wetzel, D.L. (1987). High-performance liquid chromatographi determination of ferulic acid in wheat milling fractions as a measure of bran contamination. *J. Chromatogr. A.*, 391, 243-255.

[22] Beveridge, T., Toma, S.J., Nakai, S. (1974). Determination of SH-and SS-groups in some food proteins using Ellman's Reagent. *J. Food Sci*., 39, 49-51.

[23] Leon, A.E., Rubiolo, A., Anon, M.C. (1996). Use of triticale flours in cookies: Quality factors. *Cereal Chem*., 73, 779- 784.

[24] Saldivar, S.O., Flores, S.G., Rios, R.V. (2004). Potential of triticale as substitute for wheat in flour tortilla production. *Cereal Chem.*, 81, 220-225.

[25] Roccia, P., Moiraghi, M., Ribotta, P.D., Pérez, G.T., Rubiolo, O.J., León, A.E. (2006). Use of solvent retention capacity profile to predict the quality of triticale flours. *Cereal Chem*., 83, 243-249.

[26] Igne, B., Gibson, L.R., Rippke G.R., Schwarte, A. Hurburgh-Jr, C.R. (2007). Triticale Moisture and Protein Content Prediction by Near-Infrared Spectroscopy (NIRS). *Cereal Chem*., 84, 328-330.

[27] León, A.E., Pérez, G.T., Ribotta, P.D. (2008). Triticale flours: composition, properties and utilization. *GSB.*, 2, 17-24.

[28] Jonnala, R.S., MacRitchie, F., Herald, T.J., Lafiandra, D., Margiotta, B., Tilley, M. (2010). Protein and quality characterization of triticale translocation lines in breadmaking. *Cereal Chem*., 87, 546-552.

[29] Naik, H.R., Sekhon, K.S., Wani, A.A. (2010). Physicochemical and dough-handling characteristics of Indian wheat and triticale cultivars. *Food Sci. Technol*., 16, 371-379.

[30] Navarro-Contreras, A.L., Chaires-González, C.F., Rosas-Burgos, E.C., Borboa-Flores, J., Wong-Corral, F.

bread-making quality. *Eur. Food Res. Technol*., 225, 1-7.
[44] Nishio, Z., Oikawa, H., Haneda, T., Seki, M., Ito, M., Tabiki, T., Yamauchi, H., Miura, H. (2009). Influence of amylose content on cookie and sponge cake quality and solvent retention capacities in wheat flour. *Cereal Chem*., 86, 313-318.
[45] Nishio, Z., Miyazaki, Y., Seki, M., Ito, M., Tabiki, T., Nagasawa, K., Yamauchi, H., Miura, H. (2011). Effect of growing environment of soft wheat on amylose content and its relationship with cookie and sponge cake quality and solvent retention capacity. *Cereal Chem*., 88, 189-194.
[46] Duyvejonck, A.E., Lagrain, B., Dornez, E., Delcour, J.A., Courtin, Ch.M. (2012). Suitability of solvent retention capacity tests to assess the cookie and bread making quality of European wheat flours. *LWT - Food Sci. Technol*., 47, 56-63.
[47] Hrušková, M., Švec, I., Karas, J. (2012). Solvent retention capacity values in relation to the Czech commercial wheat quality. *Food Sci. Technol*., 47, 2421-2428.
[48] Kaur, A., Singh, N., Kaur, S., Ahlawat. A.K., Singh, A.M. (2014). Relationships of flour solvent retention capacity, secondary structure and rheological properties with the cookie making characteristics of wheat cultivars. *Food Chem*., 158, 48-55.
[49] Al-Dmoor, H.M., Galali, Y. (2014). Prediction of wheat functionality by assessing dough and bread characteristics. *J. Agric. Environ. Sci*., 14, 104-109.
[50] Ali, R., Khan, M.C., Sayeed, S.A., Ahmed, R., Sayeed, S.M.G., Mobin, L. (2014). Relationship of damaged starch with some physicochemical parameters in assessment of wheat flour quality. *Pak. J. Bot.*, 46, 2217-2225.
[51] Hammed, A.M., Ozsisli, B., Ohm, J., Simsek, S. (2015). Relationship between solvent retention capacity and protein molecular weight distribushion, quality characteristics, and breadmaking functionality of hard red spring wheat flour. *Cereal Chem.*, 92, 466-474.
[52] Cao, W., Falk, D., Bock, J.E. (2017). Protein Structural Features in Winter Wheat: Benchmarking Diversity in Ontario Hard and Soft Winter Wheat. *Cereal Chem*., 94, 199-206.
[53] Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M.A., Ng, P.K.W. (2016). Effects of dispersing media and heating rates on pasting profiles of wheat and gluten-free samples in relation to their solvent retention capacities and mixing properties. *LWT - Food Sci. Technol.*, 66, 201-210.
J., Cortez-Rocha, M.O., Cinco-Moroyoqui, F.J. (2014). Comparison of protein and starch content of substituted and complete triticales (× Triticosecale Wittmack): Contribution to functional properties. *Int. J. Food Prop.*, 17, 421-432.
[31] Frás, A., Gołebiewska, K., Gołebiewski, D., Mankowski, D.R., Boros, D., Szecówka, P. (2016). Variability in the chemical composition of triticale grain, flour and bread. *J. Cereal Sci*., 71, 66-72.
[32] Aprodu, I., Banu, I. (2016). Comparative analyses of physicochemical and technological properties of triticale, rye and wheat. *Food Technol*., 40, 31-39.
[33] Oliete, B., Pérez, G.T., Gómez, M., Ribotta, P.D., Moiraghi, M., León, A.E. (2010). Use of wheat, triticale and rye flours in layer cake production. *J. Food Sci. Technol.*, 45, 697-706.
[34] Rakha, A., Saulnier, L., Åman, P., Andersson, R. (2012). Enzymatic fingerprinting of arabinoxylan and glucan in triticale, barley and tritordeum grains. *Carbohyd polym*., 90, 1226-1234.
[35] Gaines, C.S. (2000). Collaborative study of methods for solvent retention capacity profiles (AACC method 56-11). *Cereal Foods World*., 45, 303-306.
[36] Guttieri, M.J., Bowen, D., Gannon, D., O'Brien, K., Souza, E. (2001). Solvent retention capacities of irrigated soft white spring wheat flours. *Crop Sci*., 41, 1054-1061.
[37] Bettge, A.D., Morris, C.F., DeMacon, V.L., Kidwell, K.K. (2002). Adaptation of AACC method 56-11, solvent retention capacity, for use as an early generation selection tool for cultivar development. *Cereal Chem*., 79, 670-674.
[38] Ram, S., Singh, R.P. (2004). Solvent retention capacities of Indian wheats and their relationship with cookie-making quality. *Cereal Chem*., 81, 128-133.
[39] Gaines, C.S. (2004). Prediction of sugar-snap cookie diameter using sucrose solvent retention capacity, milling softness, and flour protein content. *Cereal Chem*., 81, 549-552.
[40] Ram, S., Dawar, V., Singh, R.P., Shoran, J. (2005). Application of solvent retention capacity tests for the prediction of mixing properties of wheat flour. *J. Cereal Sci*., 42, 261-266.
[41] Gaines, C.S., Reid, J.F., Kant, C.V. Morris, C.F. (2006). Comparison of methods for gluten strength assessment. *Cereal Chem*., 83, 284-286.
[42] Xiao, Z.S., Park, S.H., Chung, O.K., Caley, M.S., Seib, P.A. (2006). Solvent retention capacity values in relation to hard winter wheat and flour properties and straight-dough breadmaking quality. *Cereal Chem*., 83, 465-471.
[43] Barrera, G.N., Perez, G.T., Ribotta, P.D., Leon, A.E. (2007). Influence of damaged starch on cookie and

Research Article

Evaluation of solvent retention capacity method application in specify the features of triticale flour and bread making quality (I)

Mahsa Chavoushi[1], Mahdi Kadivar[2*], Ahmad Arzani[3],Mohammad reza Sabzalian[4]

1. Master student, Department of Food Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
2. Professor, Department of Food Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
4. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.

Abstract

Solvent retention capacity (SRC) provides a measure of solvent compatibility for the three functional polymeric components of gluten proteins, damaged starch, and pentosans (arabinoxylans) which in turn enables prediction of the functional contribution of each of these flour components. The ability to analyze the individual functional contribution of each functional component of flour would enable end-users to better predict overall flour functionality and obtain optimized product quality. The purpose of this study was to evaluate the application of the SRC test in determining some of the most important characteristics of grain and flour of 12 cultivars of hexaploid triticale and comparing them with bread wheat, durum wheat and rye as close cultivars, as well as determining correlation coefficients were between grain and flour characteristics of triticale. In this study, four major solvents of the SRC test including deionized water (correlated with all flour polymer compounds), 5% lactic acid solution (correlated with glutenin polymers properties), 5% sodium carbonate solution (correlated with damaged starch content) and sucrose solution 50% (correlated with the arabinoxylans content) were used. According to the results, of triticale cultivars with superior grain physical characteristics, flours with much superior physical and chemical characteristics than those triticale cultivars were produced. During the SRC test, such flours due to the high quality of their polymer components, had more capacity for retention of the main solvents of the SRC test and had more favorable and high SRC profiles. Therefore, according to the results of this study, the solvent retention capacity (SRC) test, in terms of its significant and highly correlated profiles with parameters of other methods determining the quality of grain and flour, alone and easily in identifies superior quality cultivars and thus gaining the product with the best quality can be used.

Keywords: Solvent retention capacity, Gluten proteins, Damaged starch, Pentosans, Individual functional contribution, Optimized product quality.

[*] Corresponding author: kadivar@iut.ac.ir