DOI: http://dx.doi.org/ 10.22104/JIFT.2019.3363.1804

فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره ۷، شماره ۲، صفحه ۱۸۷-۱۶۳، زمستان ۱۳۹۸

مقاله پژوهشی

ارزیابی پارامترهای آلوئوگرافی و پروتئین‌های گلوتن چاودم با استفاده از روش ظرفیت نگه‌داری حلال (۲)

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

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

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

۳. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، 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، 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 تعیین می‌کند. ظرفیت نگه‌داری حلال روشی سهل، اقتصادی و کاربرپسند است. فناوری SRC بر پایه انرژی و نه سینتیک بنا شده است. در مقابل، آزمون‌های رئولوژیکی خمیر، بر پایه سینتیک گسترش خمیر، استوار هستند که مقادیر محدودی از حلال به‌کار رفته و اطلاعاتی در مورد نرخ گسترش شبکه گلوتنی حاصل می‌شود. هدف از این پژوهش، ارزیابی کاربرد آزمون SRC، در تعیین پارامترهای آلوئوگرافی خمیر 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، آرد و خمیر آرد چاودم‌ها بود. در این تحقیق، از ۴ حلال کمکی تشخیصی آزمون SRC که باعث بررسی بهتر کیفیت پلیمرهای گلوتن می‌شوند، شامل محلول اتانول ۵۵٪ ETHSRC، همبسته با ویژگی‌های گلیادین‌ها، محلول سدیم دودسیل سولفات (SDS) ۰/۷۵٪ SDSSRC، همبسته با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین، محلول سدیم متابی سولفیت (MBS) ۰/۰۰۶٪ MBSSRC، همبسته با ویژگی‌های گلوتن و محلول SDS و MBS به‌صورت مخلوط با یکدیگر همبسته با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین‌ها و شبکه دی‌سولفیدی، استفاده شد. نتایج نشان دادند، ارقام چاودمی که دانه‌های آن‌ها به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی دارای کیفیت نانوایی بالاتری بودند، آردهایی تولید نمودند که از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مولکولی دارای کیفیت نانوایی بسیار بهتری بودند. در ادامه، چنین آردهایی که به علت پلیمرهای با کیفیت خود مقادیر SRC بالاتر و مطلوب‌تری برای انواع حلال‌های SRC داشتند، در نهایت خمیری با پارامترهای آلوئوگرافی برتر حاصل نمودند و در نتیجه از کیفیت نانوایی بسیار بهتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: کیفیت پلیمرهای گلوتن، پارامترهای آلوئوگرافی خمیر، حلال‌های کمکی تشخیصی، ظرفیت نگه‌داری حلال.

* نویسنده مسئول: kadivar@iut.ac.ir

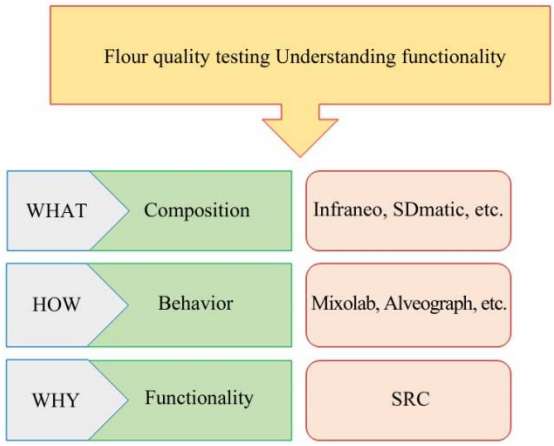
۱. مقدمه

آزمون آلوئوگرافی از انواع جدید آزمون‌های رئولوژیکی می‌باشد که ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر حاصل از مخلوط کردن آرد و آب‌نمک را طی تغییر شکل ارزیابی می‌کند. در این روش یک قطعه خمیر گرد در معرض جریان ثابت هوا قرار می‌گیرد، در ابتدا مقاومت نشان می‌دهد و سپس بر اساس قابلیت کشش و گسیختگی به‌صورت یک حباب متورم می‌شود. تغییرات در خمیر به‌صورت یک منحنی رسم شده که آلوئوگرام نامیده می‌شود. پارامترهایی که از آزمون آلوئوگرافی حاصل می‌شود مشتمل بر عدد بیشینه فشار Pressure، میانگین طول در نقطه پارگی Length، شاخص تورم G، انرژی تغییر شکل W، نسبت P/L و اندیس الاستیسیته l.e. می‌باشد. پارامتر P معادل بیشترین فشار موردنیاز برای ترکیدن حباب خمیر است که با بیشینه فشار حباب رابطه مستقیم دارد. این عدد شاخص سفتی خمیر بوده و نشان‌دهنده میزان مقاومت خمیر در برابر تغییر شکل است. نمونه‌های آرد با مقادیر بالاتر این پارامتر مناسب برای تهیه نان بوده و آن‌هایی که واجد مقدار پایین‌تری از این پارامتر هستند برای تهیه بیسکویت انتخاب می‌شوند. پارامتر L در منابع به دو صورت تعریف می‌گردد. در یکی از تعاریف برابر با مدت زمان مورد نیاز برای ترکیدن حباب خمیر است و در تعریف دیگر معادل بیشترین حجم هوایی است که حباب قادر به نگه‌داری آن می‌باشد. این پارامتر بر روی منحنی آلوئوگرام، مقدار طول منحنی در نقطه پارگی می‌باشد و بر حسب mm روی خط صفر اندازه‌گیری می‌شود. این فاکتور معیاری از قابلیت کشش و توسعه‌پذیری خمیر است. پارامتر G یا شاخص تورم، معادل مقدار ریشه‌ی دوم حجم هوای لازم برای متورم شدن حباب خمیر تا زمان ترکیدن بوده و بر حسب ml بیان می‌شود. این شاخص در ارتباط با اندازه‌ی حباب خمیر می‌باشد. پارامتر W معادل انرژی لازم برای ترکاندن حباب خمیر است که با محاسبه سطح زیر منحنی به‌دست می‌آید و بر حسب J بیان می‌شود. این شاخص معیاری از قوت آرد و نشانگر استقامت پخت خمیر می‌باشد. مقادیر بالای این پارامتر بیشتر از ۱۷۰ Joule در آردهای قوی مشاهده می‌گردد که مخصوص تهیه نان هستند. آردهایی که انرژی تغییر شکل آن‌ها به‌طور چشمگیری کم است محدوده ۸۰ تا ۱۲۰ J برای تهیه بیسکویت مناسب هستند. نسبت P/L برابر با نسبت ارتفاع منحنی به طول آن است که شکل یا ترکیب منحنی نامیده می‌شود. این پارامتر نشان‌دهنده تعادل ویژگی‌های الاستیک و ویسکوز در خمیر است. مقادیر پایین این نسبت به معنی خمیری با کشش‌پذیری بسیار زیاد و مقاومت محدود است. اندیس l.e. یا اندیس الاستیسیته برابر با حاصل تقسیم P200 به P می‌باشد، که در آن P200 معادل فشار در ۴ cm پس از شروع منحنی آلوئوگرام است. این اندیس شاخصی از وضعیت الاستیک خمیر است [۱].

آرد گندم عنصر اصلی فراورده‌های نانوایی است و کیفیت آرد عمدتا منجر به کیفیت فراورده نهایی می‌شود. کیفیت آرد به‌عنوان ترکیبی از عملکرد و انطباق، متاثر از چهار عامل عمده ژنتیک، کشاورزی، آسیابانی و نانوایی است. بنابراین ارزیابی کیفی آرد، یک امر ضروری برای کشاورزان، آسیابانان و نانوایان در انتخاب ارقام مختلف گندم، با کیفیت مناسب و عملکرد بهینه، با توجه به کشت، آسیابانی و نانوایی محسوب می‌شود [۳]. به‌منظور تجزیه و تحلیل رابطه‌ی بین کیفیت آرد و کیفیت فراورده‌های نانوایی، روش‌های سنجش رئولوژی خمیر (به‌عنوان مثال فارینو، میکسو، اکستنسو و آلوئوگرافی) و آزمون‌های پخت نان، کلوچه و کیک به‌صورت گسترده و سنتی استفاده شده است. اندازه‌گیری تجربی رئولوژی، به‌طور معمول برای ارزیابی کیفیت گلوتن و قابلیت‌های کلی آرد نانوایی استفاده می‌شود. فارینوگرافی و میکسوگرافی اغلب برای آرد نان گندم‌های سخت استفاده می‌شود، در حالی‌که آلوئوگرافی روش انتخابی برای آرد بیسکوییت گندم‌های نرم است [۴]. در میان روش‌های سنجش رئولوژی خمیر، فارینوگرافی و میکسوگرافی به‌طور معمول برای به‌دست آوردن اطلاعات رفتار جذب آب آرد و در زمان اختلاط خمیر، مربوط به گسترش گلوتن است [۴]. در این دو روش، برای رسیدن به پایداری ثابت خمیر، سطوح مختلف آب اضافه می‌شود. در مقابل، در اکستنسوگرافی و آلوئوگرافی متداول، مقدار ثابتی از آب، صرف‌نظر از جذب آب واقعی آرد، برای به‌دست آوردن اطلاعات در مورد ویژگی‌های تشکیل خمیر آرد و قدرت گلوتن، اضافه می‌شود [۴]. به‌طور معمول آزمون‌های پخت نان برای ارزیابی کیفیت آرد گندم‌های سخت، در حالی‌که آزمون‌های پخت کلوچه، کیک و کراکر برای ارزیابی کیفیت آرد گندم‌های نرم استفاده می‌شوند [۴]. به‌طور کلی، آرد بهینه برای تولید نان، آردی است که دارای جذب آب بالا، مقاومت مناسب

گلوتن، مقدار نسبتا بالای نشاسته آسیب‌دیده و آرابینوزایلان‌ها باشد، در حالی‌که آرد بهینه برای تولید کوکی، به جذب کم آب، مقاومت حداقلی گلوتن و مقدار کم نشاسته‌ی آسیب‌دیده و آرابینوزایلان‌ها نیاز دارد [۵].

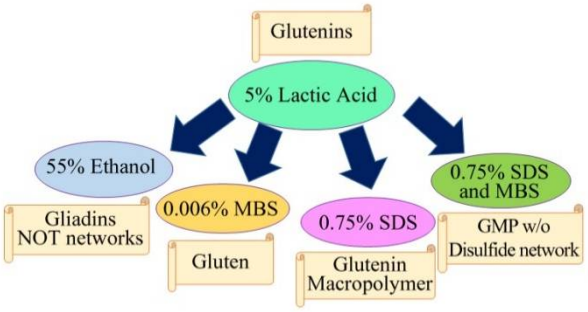
آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال solvent retention capacity test، سازگاری انواع خاصی از حلال برای سه جزء عملکردی پلیمری آرد، شامل گلوتنین، نشاسته آسیب‌دیده و پنتوزان‌ها را فراهم می‌کند که به نوبه خود امکان پیش‌بینی وضعیت عملکردی هر یک از این اجزاء در آرد را نشان می‌دهد و در نتیجه امکان پیش‌بینی کیفیت فراورده نهایی را امکان‌پذیر می‌سازد (شکل ۱) [۴].



شکل (۱) آزمودن کیفیت آرد [۴]

Fig. 1. Flour quality testing

مقادیر SRC به‌طور معنی‌داری با ترکیبات شیمیایی آرد پروتئین، گلوتن، نشاسته، مقدار نشاسته آسیب‌دیده و آرابینوزایلان‌ها، پارامترهای فارینوگرام مقاومت، جذب آب، زمان اوج و عدد کیفیت و با پارامترهای پخت نان جذب آب پخت، حجم قرص نان و قرینگی و بسیاری دیگر از پارامترها همبستگی دارد [۶]. گینز در سال ۲۰۰۰ به بررسی اثر انجام آزمون در آزمایشگاه‌های مختلف بر پروفیل‌های SRC پرداخت و نشان داد که به دلیل سهولت روش SRC، تغییر در مقادیر SRC آرد بین آزمایشگاه‌ها و بین اپراتورهای آزمایشگاه به‌طور معمول بسیار کمتر از تغییرات دیگر آزمون‌های کیفیت آرد، مانند آزمون‌های رئولوژیکی و پخت است [۷]. روکیا و همکاران با استفاده از ظرفیت نگه‌داری حلال به پیش‌بینی مشخصات کیفیت آردهای چاودم پرداختند. هدف آن‌ها ارزیابی ظرفیت آزمون SRC و میکرو SRC برای تعیین کیفیت بالقوه‌ی ۲۵ آرد چاودم و همچنین بررسی رابطه بین پارامترهای SRC و ترکیبات شیمیایی آرد بود. به‌طور خلاصه، با توجه به آزمون، شواهدی از سطح بالای ارتباط بین پارامترهای SRC و میکرو SRC با ترکیبات آرد و کیفیت آرد وجود داشت و در نتیجه پروفیل‌های SRC یا میکرو SRC می‌توانند برای تعیین کیفیت بالقوه‌ی آرد چاودم استفاده شوند [۸]. در ادامه، کوئن و همکاران در سال ۲۰۱۴ بیان کردند که با به‌کارگیری حلال‌هایی همچون اتانول، سدیم متابی سولفیت (NaMBS)، سدیم دودسیل سولفات (SDS) و مخلوط MBS و SDS هر کدام با درصد غلظت مشخص، می‌توان به‌ترتیب به وضعیت گلیادین، گلوتن، ماکروپلیمرهای گلوتنین و شبکه دی‌سولفیدی پی‌برد (شکل ۲) [۳]. هدف از این مطالعه، ارزیابی کاربرد روش ریز مقیاس آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال scaled down version طبق روش گازمن و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۹]، در تعیین ویژگی‌های آلوئوگرافی خمیر 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، آرد و خمیر آرد چاودم‌ها بود.



شکل (۲) محلول‌های تشخیصی کمکی SRC [۳]

Fig. 2. Supplemental diagnostic solvents of SRC

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، ظرفیت نگه‌داری حلال (SRC) و در نهایت آزمون آلوئوگرافی انجام شدند [۲].

۲.۲. آزمون‌های دانه و آرد

۱.۲.۲. آزمون‌های دانه

محتوای رطوبت دانه‌های انواع ارقام طبق روش مصوب AACC به شماره ۱۴-۴۴ A تعیین شد [۱۰]. چگالی ویژه دانه‌ها توسط روش جابه‌جایی حلال (تولوئن) و با استفاده از پیکنومتر [۱۱] و ویژگی‌های رنگی دانه‌های انواع ارقام شامل L^* (روشنی)، b^* (زردی)، a^* (قرمزی) توسط دستگاه هانترلب (مدل دیتا کالر، آمریکا) تعیین شد [۱۲]. ابعاد دانه طبق روش بایرام و همکاران به روش اندازه‌گیری ابعاد دانه توسط کولیس دیجیتال [۱۳] و وزن هزاردانه طبق روش ماریوتی و همکاران انجام شد [۱۴]. وزن هکتولیتر دانه‌های انواع ارقام با استفاده از دستگاه مخصوص هکتولیتر که دارای ظرف استوانه‌ای شکل به گنجایش یک لیتر است، اندازه‌گیری شد [۱۵]. سختی دانه با استفاده از دستگاه NIR ساخت کمپانی پرتن سوئد-آلمان کالیبره‌شده با روش‌های مرجع تعیین [۱۶] و درجه استحصال آرد براساس مقدار تولید آرد برحسب g از مقدار مشخصی دانه [۱۷] محاسبه گردید [۲].

۲.۲.۲. آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی آرد

محتوای رطوبت آرد انواع ارقام طبق روش مصوب AACC به شماره ۱۶-۴۴ تعیین شد [۱۰]. اندازه ذرات آردها با استفاده از دستگاه الک‌شیکر مدل Retsch ساخت کشور آلمان تعیین شد [۱۰]. رنگ‌سنجی آرد انواع ارقام با استفاده از دستگاه هانترلب انجام گرفت [۱۱]. عدد فالینگ با استفاده از دستگاه فالینگ-نامبر [۱۰] و میزان پروتئین، رسوب زلنی و حجم نان با استفاده از دستگاه NIR ساخت کمپانی پرتن سوئد-آلمان کالیبره‌شده با روش‌های مرجع تعیین شد [۱۶]. میزان خاکستر طبق روش مصوب AACC به شماره ۰۱- ۰۸ [۱۰]، گلوتن مرطوب و گلوتن خشک طبق روش مصوب AACC به شماره ۱۰- ۳۸ و شاخص گلوتن طبق روش مصوب AACC به شماره ۱۲ A-۳۸ اندازه‌گیری شد [۱۰]. جذب آب (WAC) و جذب روغن (OAC) طبق روش دراکاس و همکاران [۱۸] و رسوب سدیم دودسیل سولفات (SDS) طبق روش کارتر و همکاران اندازه‌گیری شد [۱۹]. اندازه‌گیری میزان آمیلوز طبق روش ویلیامز و همکاران [۲۰] و محتوای نشاسته آسیب‌دیده با استفاده از دستگاه SDmatic تعیین شد [۱۰]. اندازه‌گیری میزان پنتوزان‌های محلول در آب (آرابینوزایلان‌ها) طبق روش هاشیموتو و همکاران [۲۱] و اندازه‌گیری میزان فرولیک اسید طبق روش پاساياناوین و وتزل انجام شد [۲۲]. اندازه‌گیری میزان گروه‌های سولفیدریل (SH) و پیوندهای دی‌سولفیدی (SS) آرد انواع ارقام طبق روش بوریدج و همکاران [۲۳] انجام شد [۲].

۳.۲.۲. آزمون آلوئوگرافی

آزمون آلوئوگرافی آرد انواع ارقام با استفاده از دستگاه آلوئولب ساخت شرکت شوپن فرانسه انجام شد. مقدار ۲۵۰ g آرد توزین شده و بر حسب درصد رطوبت آرد، آب‌نمک ۲/۵٪ افزوده گشته و در مخلوط‌کن دستگاه در دمای ۲۵ °C همزده می‌شود. سپس خمیر حاصله به ۵ قطعه گرد تقسیم شده و هر یک از قطعات به‌طور جداگانه در محفظه دستگاه قرار داده شده تا درون آن هوا دمیده شود. با روشن کردن دستگاه خمیر هوادهی می‌شود و مانومتر شروع به ثبت منحنی می‌کند و تا ترکیدن حباب خمیر، ثبت داده را ادامه می‌دهد. در نهایت ۵ منحنی آلوئوگرام حاصل می‌شود که انواع غیرنرمال حذف می‌گردد [۱۰].

۴.۲.۲. آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال (SRC) (حلال‌های کمکی)

آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال طبق روش گازمن و همکاران

انجام شـد. طبق این روش، ۰/۳ g از نمونه درون میکروتیوب ۲ ml که از قبل توزین‌شده بود، وزن گردید. سپس درون میکروتیوب، ۱/۵ ml 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 (۱۴۰۰ rpm، ۵ min ، ۲۵ °C) قرار داده شد. سپـس محتویات میکروتیوب سانـتریفیوژ (۴۰۰۰ g، ۲ min، ۲۵ °C) شد. پس از سانتریفیوژ، مایع فوقانی تخلیه و میکروتیوب به مدت ۱۰ min به‌صورت وارونه روی کاغذ صافی قرار داده شد. در نهایت میکروتیوب توزین شد و براساس فرمول SRC ٪ برپایه ۱۴٪ رطوبت محاسبه شد [۹].

٪ SRC = (۱)

۱۰۰ * [۱− (رطوبت آرد ٪- ۱۰۰) /۸۶) * وزن آرد/ وزن ژل]

شاخص عملکرد گلوتن (Gluten Performance Index) که شاخص بهتری برای پیشبینی عملکرد کلی گلوتنین‌ها در آرد است با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد [۴].

GPI = LASRC / (SuSRC + SCSRC) (۲)

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

۵.۲.۲. 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 (LDS) 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 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 ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد انواع ارقام چاودم

ویژگی‌های فیزیکی دانه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد انواع ارقام و همچنین ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد انواع ارقام چاودم در مقاله (۲) بررسی شده است. در اینجا به بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد انواع ارقام چاودم پرداخته می‌شود.

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۱)، شاخص رنگ L^* دانه با شاخص رنگ *b آرد (۰/۶۷۲*)، عدد فالینگ (۰/۶۶۰*)، اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (۰/۶۶۷*)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ µm تا ۴۲۵ µm (۰/۹۰۸**) و گروه‌های سولفیدریل (۰/۸۳۲**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود ولی با اندازه ذرات بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ µm (۰/۶۰۳*-) و اندازه ذرات بین ۱۰۶ µm تا ۱۲۵ µm (۰/۸۰۳**-) و کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (۰/۸۳۶**-)، نشاسته آسیب‌دیده (۰/۶۵۲*-)، رسوب زلنی (۰/۷۶۰**-)، رسوب SDS (۰/۶۹۵*-)، شاخص گلوتن (۰/۷۲۱**-)، جذب آب (۰/۶۷۷*-) جذب روغن (۰/۶۱۰*-) و پیوندهای دی‌سولفید (۰/۷۳۰**-) همبستگی منفی معنی‌دار داشت. بدین‌معنی که، آردهایی که از دانه‌های دارای رنگ روشن‌تر تهیه شدند مانند لاسکو ۲، مورنو و لاسکو ۱، شدت رنگ زرد بیشتری داشتند و عدد فالینگ آن‌ها نیز بالاتر بود. همچنین این آردها بیشتر حاوی اندازه ذرات درشت بودند و گروه‌های سولفیدریل زیادتری داشتند. این آردها از مقدار نشاسته آسیب‌دیده، رسوب زلنی، رسوب SDS، شاخص گلوتن، جذب آب، جذب روغن و پیوندهای دی‌سولفید کمتری برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی کمتری داشتند. شاخص رنگ a^* دانه با اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (۰/۵۹۶*-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ µm تا ۴۲۵ µm (۰/۶۹۶*-) و گروه‌های سولفیدریل (۰/۶۱۶* -) ارتباط معنی‌دار منفی داشت ولی با اندازه ذرات بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ µm (۰/۶۰۸*)، نشاسته آسیب‌دیده (۰/۶۵۳*) و پیوندهای دی‌سولفید (۰/۷۰۹**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که آردهای تولیدی

از دانه‌های دارای شدت رنگ قرمز بیشتر مانند پرگو ۱، زورو، پرستو و پرگو ۲ و پس از آن‌ها آلاموس ۸۳، پرستو، جوانیلو و النور، از ذرات کوچک‌تر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر و پیوندهای دی‌سولفید بیشتری برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بالاتری داشتند. وزن هزاردانه با عدد فالینگ (**۰/۷۲۶-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (*۰/۶۱۰-) و گروه‌های سولفیدریل (**۰/۷۴۸-) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود در صورتی که با اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (*۰/۵۸۷)، رسوب زلنی (**۰/۷۹۹)، رسوب SDS (**۰/۸۴۴)، شاخص گلوتن (**۰/۷۳۷)، پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۶۰۱)، RMT (*۰/۶۹۸) و گلوتن خشک (*۰/۶۳۳) ارتباط معنی‌داری داشت. در واقع ارقام دارای وزن هزاردانه بیشتر (مانند آلاموس ۸۳ و زورو) از کیفیت بالاتری برخوردار بودند و آردهای تولیدی از آن‌ها دارای اندازه ذرات کوچک‌تر، رسوب زلنی، رسوب SDS، شاخص گلوتن، RMT، گلوتن خشک و پیوندهای دی‌سولفید بیشتری بودند. همچنین، هکتولیتر با شاخص گلوتن (*۰/۵۸۶) و پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۶۱۰) ارتباط معنی‌داری داشت ولی با گروه‌های سولفیدریل (**۰/۷۴۱-) همبستگی منفی معنی‌دار داشت. در مطالعه هکتولیتر، در بین چاودم‌ها، آلاموس ۸۳ و پس از آن سناباد و جوانیلو و سپس زورو، پرگو ۱ و پرگو ۲ و نهایتا شیراز و النور به‌ترتیب دارای بیشترین و لاسکو ۲، پرستو، مورنو و لاسکو ۱ دارای کمترین وزن هکتولیتر بودند.

طول دانه با شاخص رنگ b^* آرد (*۰/۶۶۴-)، اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (*۰/۵۸۴-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (*۰/۶۰۰-) و گروه‌های سولفیدریل (*۰/۶۶۶-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (*۰/۵۸۴)، رسوب زلنی (**۰/۸۲۲)، رسوب SDS (**۰/۹۲۱)، شاخص گلوتن (*۰/۶۸۹)، RMT (**۰/۷۵۰)، گلوتن خشک (**۰/۸۰۲)، پروتئین (*۰/۶۷۱) و گلوتن مرطوب (**۰/۷۳۹) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که ارقامی که دارای طول دانه بیشتری بودند مانند النور، آلاموس ۸۳، زورو، پرستو، شیراز و جوانیلو، ارقام با کیفیت بالا بودند و آردهای تولیدی از آن‌ها دارای رنگ زرد کمتری بودند و با بسیاری از ویژگی‌های کیفی آرد که در بالا ذکر شدند، به‌صورت معنی‌داری همبستگی داشتند. ضخامت دانه با عدد فالینگ (**۰/۷۸۹-) و گروه‌های سولفیدریل (*۰/۶۴۲-) ارتباط منفی معنی‌داری داشت ولی با رسوب زلنی (*۰/۶۸۰-)، رسوب SDS (**۰/۷۶۱-) و شاخص گلوتن (*۰/۶۶۶) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. زورو، آلاموس ۸۳، پرستو، شیراز، جوانیلو و سناباد دارای بیشترین ضخامت (قطر) دانه بودند. همچنین، عرض دانه با عدد فالینگ (*۰/۷۰۱-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با رسوب زلنی (*۰/۶۳۲) و محتوای آمیلوز (*۰/۶۶۹) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که، ارقام دارای دانه‌های با عرض بیشتر (مانند زورو، آلاموس ۸۳ و سناباد) عدد فالینگ کمتر و رسوب زلنی و مقدار آمیلوز بیشتری داشتند. به‌طور کلی، ارقام چاودم دارای ابعاد دانه بزرگتر، ارقام با کیفیت‌تری بودند و آردهای تولیدی از آن‌ها نیز از شاخص‌های کیفی بهتری برخوردار بودند.

سختی دانه با عدد فالینگ (*۰/۵۸۵ -)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (**۰/۸۶۳-) و گروه‌های سولفیدریل (**۰/۸۶۹-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با اندازه ذرات بین ۱۰۶ تا ۱۲۵ µm (**۰/۸۶۲) و کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (**۰/۸۴۲)، نشاسته آسیب‌دیده (*۰/۶۲۲)، رسوب زلنی (**۰/۸۶۸)، رسوب SDS (*۰/۶۲۳)، شاخص گلوتن (*۰/۶۶۵)، جذب آب (*۰/۶۶۱)، پیوندهای دی‌سولفید (**۰/۷۶۲)، RMT (*۰/۶۰۸) و پروتئین (*۰/۵۷۹) ارتباط معنی‌داری داشت. در واقع، آردهای تهیه‌شده از دانه‌های با مقدار سختی بیشتر مانند زورو و آلاموس ۸۳، از شاخص‌های کیفی نانوایی بسیار بهتری برخوردار بودند. درجه استحصال آرد با اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (*۰/۶۳۳-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (*۰/۶۷۱-) و گروه‌های سولفیدریل (*۰/۶۷۱-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با اندازه ذرات بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ (*۰/۶۶۴)، رسوب زلنی (**۰/۷۸۴)، رسوب SDS (*۰/۵۹۲)، جذب آب (*۰/۶۰۳)، RMT (*۰/۵۸۷) و گلوتن خشک (*۰/۶۴۲) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. در واقع، آرد تولیدی از ارقام دارای درجه‌ی استحصال بالاتر مانند آلاموس ۸۳، سناباد و النور، از ویژگی‌های کیفی نانوایی بهتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که دانه‌های آن‌ها دارای ویژگی‌های کیفی فیزیکی بهتری بودند، آردهایی با ویژگی‌های کیفی فیزیکی و شیمیایی بهتری تولید کردند [۲].

جدول (۱) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد ارقام چاودم.

Table 1 Pearson correlation coefficients between grain characteristics and flour physical and chemical characteristics of the triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	شاخص روشنایی L*-value	شاخص قرمزی a*-value	هزار دانه TKW	هکتولیتر Hectoliter	طول دانه Length	ضخامت دانه Diameter	عرض دانه Width	سختی دانه Hardness index	استحصال آرد Flour extraction rate
شاخص زردی b*-value	0.672*				- 0.664*				
عدد فالینگ Falling number	0.660*		- 0.726**			- 0.789**	- 0.701*	- 0.585*	
آسیب نشاسته Damaged starch	- 0.652*	0.653*						0.622*	
زلنی Zeleny-sedi	- 0.760**		0.799**		0.822**	0.680*	0.632*	0.868**	0.784**
رسوب SDS SDS-sedi	- 0.695*		0.844**		0.921**	0.761**		0.623*	0.592*
شاخص گلوتن Gluten Index	- 0.721**		0.737**	0.586*	0.689*	0.666*		0.665*	
جذب آب WAC	- 0.677*							0.661*	0.603*
جذب روغن OAC	- 0.610*								
گروه‌های سولفیدریل SH-groups	0.832**	- 0.616*	- 0.748**	- 0.741**	- 0.666*	- 0.642*		- 0.869**	- 0.671*
پیوندهای دی‌سولفیدی SS-bound	- 0.730**	0.709**	0.601*	0.610*				0.762**	
شاخص حجم نان RMT			0.698*		0.750**			0.608*	0.587*
گلوتن خشک Dry gluten			0.633*		0.802**				0.642*
پروتئین Protein					0.671*			0.579*	
گلوتن تر Wet Gluten					0.739**				
آمیلوز Amylose							0.669*		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**Significant at level of 0.01

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

*Significant at level of 0.05

۲.۳. بررسی ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی آرد (SRC) انواع ارقام

ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های اصلی (SRC) و شاخص عملکرد گلوتن (GPI) آرد انواع ارقام در مقاله [۲] بررسی شده است. در اینجا به بررسی ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی آرد (SRC) انواع ارقام پرداخته می‌شود. پی‌بردن به ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی توسط آرد ارقام مختلف، باعث فهم بهتر شرایط انواع پلیمرهای تشکیل‌دهنده گلوتن آرد می‌شود و در واقع می‌توان به خوبی و با دقت و با حساسیت بیشتری به وضعیت هر یک از این

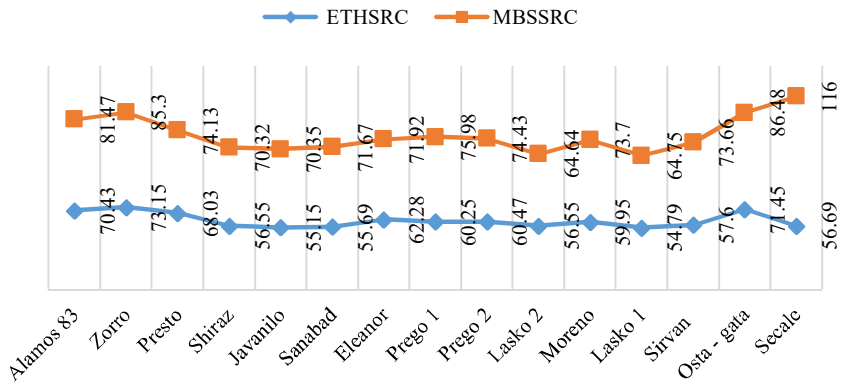
پلیمرها در گلوتن پی‌برد و اطلاعات ارزشمند بیشتری به‌دست آورد.

طبق نتایج ارائه‌شده در شکل‌های ۳ و ۴، در بین چاودم‌ها، زورو، آلاموس ۸۳ و پرستو به‌ترتیب با ۷۳/۱۵، ۷۰/۴۳ و ۶۸/۰۳٪ دارای بیشترین و لاسکو ۱، شیراز، جوانیلو، سناباد و لاسکو ۲ با ۵۴/۷۹، ۵۶/۵۵، ۵۵/۱۵، ۵۵/۶۹ و ۵۶/۵۵٪ دارای کمترین ETHSRC (حلال اتانول ۵۵٪ وزنی / وزنی) بودند. گندم دوروم (۷۱/۴۵٪) با آلاموس ۸۳ و زورو از نظر ETHSRC اختلاف معنی‌داری را از خود نشان نداد. ظرفیت نگه‌داری محلول اتانول با ویژگی‌های پلیمرهای گلیادین‌ها همبسته است و در نتیجه تحت‌تاثیر این نوع از پلیمرهای آرد قرار می‌گیرد. در واقع گلیادین‌ها به خوبی تحت‌تاثیر حلال اتانول بوده و توسط آن متورم می‌شوند و نهایتا حلال را به خوبی در خود حفظ می‌کنند. زورو و جوانیلو با ۸۳/۶۷ و ۸۱/۴۸٪ از بیشترین و لاسکو ۱ و لاسکو ۲ با ۶۱/۳۰ و ۶۳/۰۱٪ از کمترین SDSSRC (حلال سدیم دودسیل سولفات ۰/۷۵٪ وزنی / وزنی) برخوردار بودند. گندم سیروان با ۸۹/۶۰٪ دارای بیشترین مقدار SDSSRC در بین تمامی ارقام چاودم و گندم دوروم بود و در نهایت، چاودار با ۱۰۶/۹۲٪ دارای بیشترین مقدار SDSSRC در بین تمامی ارقام بود. ظرفیت نگه‌داری محلول سدیم دودسیل سولفات با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین‌ها همبسته است و در نتیجه تحت‌تاثیر این نوع از پلیمرهای آرد قرار می‌گیرد. در واقع محلول SDS یک محلول بسیار قوی بوده و به راحتی می‌تواند با ماکروپلی‌مرهای گلوتنین‌ها که اجزایی بسیار درشت مولکول در گلوتن آرد هستند وارد واکنش شود و آن‌ها را متورم کند و به همین دلیل این پلی‌مرها توسط محلول SDS به خوبی متورم می‌شوند و این حلال را در ساختار خود حفظ می‌کنند.

زورو و آلاموس ۸۳ به‌ترتیب با ۸۵/۳۰ و ۸۱/۴۷٪ دارای بیشترین و لاسکو ۲ و لاسکو ۱ با ۶۴/۶۴ و ۶۴/۷۵٪ دارای کمترین مقدار MBSSRC حلال سدیم متابی سولفیت ۰/۰۰۶٪ وزنی / وزنی بودند. بین گندم دوروم (۸۶/۴۸٪) و زورو اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در نهایت، چاودار با ۱۱۶/۰۰٪ دارای بیشترین مقدار MBSSRC در بین تمامی ارقام بود. ظرفیت نگه‌داری محلول سدیم متابی سولفیت با ویژگی‌های گلوتن به‌صورت کلی همبسته است و در نتیجه تحت‌تاثیر این نوع از پلیمرهای آرد قرار می‌گیرد. آرد ارقامی که دارای وضعیت گلوتنی مناسب به لحاظ کمیت و کیفیت بودند، ظرفیت بالایی برای نگه‌داری حلال MBS داشتند و در نتیجه از MBSSRC بالاتری برخوردار بودند. در مطالعه ظرفیت نگه‌داری آخرین حلال کمکی، زورو، جوانیلو، سناباد و پرگو ۱ با ۷۹/۲۲، ۷۸/۳۱، ۷۶/۶۲ و ۷۴/۴۶٪ از بیشترین و لاسکو ۲ و لاسکو ۱ با ۶۰/۲۳ و ۶۲/۳۹٪ از کمترین مقدار SRC (SDS + MBS) حلال مخلوط MBS و SDS بودند و بلاخره چاودار با ۹۹/۵۵٪ دارای بیشترین مقدار SRC (SDS + MBS) در بین تمامی ارقام بود. ظرفیت نگه‌داری محلول مخلوط سدیم دودسیل سولفات و سدیم متابی سولفیت به‌عنوان حلال با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین و شبکه دی‌سولفیدی همبسته است و تحت‌تاثیر آن‌ها قرار می‌گیرد. در واقع طبق نتایج، ارقامی که آرد آن‌ها از کیفیت نانوایی بالاتری برخوردار بود و آرد آن‌ها قدرت گلوتن بالایی داشت و از پیوندهای دی‌سولفیدی غنی‌تر بودند از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال مخلوط MBS و SDS برخوردار بودند و در نتیجه SRC (SDS + MBS) بالاتری داشتند. در مطالعه SRC حلال‌های کمکی ارقام نزدیک، آرد چاودار برای سدیم دودسیل سولفات، سدیم متابی سولفیت و مخلوط این دو حلال، دارای بیشترین مقدار ظرفیت نگه‌داری بود، که علت آن می‌تواند بالا بودن ظرفیت جذب آب (WAC) آرد چاودار به علت بالا بودن محتوای آرابینوزایلان‌ها، محتوای فرولیک اسید، محتوای خاکستر و محتوای 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[۲].

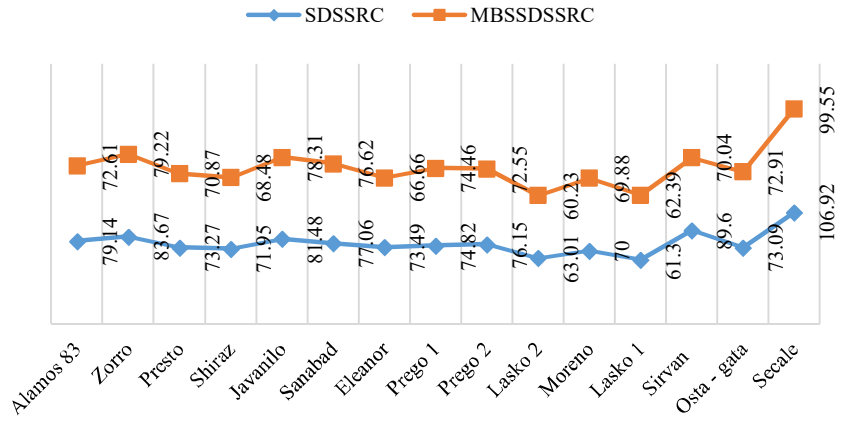
۳،۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ظرفیت نگه‌داری حلال‌های اصلی و کمکی (SRC) آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۲)، ظرفیت نگه‌داری آب دیونیزه (WSRC) با ظرفیت نگه‌داری حلال لاکتیک اسید (LASRC) (۰/۹۰۶**)، ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم کربنات (SCSRC) (۰/۹۲۱**)، ظرفیت نگه‌داری حلال ساکارز (SUSRC) (۰/۸۹۹**)، ظرفیت نگه‌داری حلال اتانول (۰/۸۶۳**) و ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم متابی سولفیت (۰/۸۶۷**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. همچنین، LASRC با SCSRC (۰/۷۳۶**)، SUSRC (۰/۷۶۲**)، ETHSRC



شکل (۳) میانگین ظرفیت نگه‌داری اتانول و ظرفیت نگه‌داری محلول متابی سولفیت سدیم آرد انواع ارقام

Fig. 3. Average ETH – SRC and MBS – SRC of flour cultivars



شکل (۴) میانگین ظرفیت نگه‌داری محلول سدیم دودسیل سولفات و ظرفیت نگه‌داری مخلوط محلول SDS و MBS آرد انواع ارقام

Fig. 4. Average SDS – SRC and SDS+MBS – SRC of flour cultivars

(**۰/۸۴۲)، MBSSRC (**۰/۸۸۳)، SDSSRC (ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم دودسیل سولفات) (**۰/۷۴۱) و SRC (SDSMBS) (ظرفیت نگه‌داری حلال مخلوط دو حلال سدیم دودسیل سولفات و سدیم متابی سولفیت) (*۰/۶۳۹) ارتباط معنی‌داری داشت. در ادامه بررسی روابط، SCSRC با SUSRC (**۰/۹۵۴)، ETHSRC (*۰/۶۹۹) و MBSSRC (**۰/۷۲۴) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. همچنین، SUSRC با ETHSRC (*۰/۶۷۴) و MBSSRC (*۰/۶۶۲) همبستگی معنی‌داری داشت. شاخص عملکرد گلوتن (GPI) با SDSSRC (*۰/۶۸۵) و SRC (SDSMBS) (*۰/۶۲۵) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بین ETHSRC و MBSSRC (**۰/۸۶۶) نیز همبستگی معنی‌داری وجود داشت. در ادامه، SDSSRC با MBSSRC (**۰/۷۸۴) و SRC (SDSMBS) (**۰/۹۲۹) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بین MBSSRC و SRC (SDSMBS) (*۰/۷۰۱) نیز همبستگی معنی‌داری وجود داشت. در واقع تمامی موارد گفته شده کاملا بدیهی است و پروفیل‌های مختلف SRCبه خوبی یکدیگر را تایید کردند که در واقع علت آن تشکیل بخش عمده تمامی حلال‌ها از آب بود[۲].

۴.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی (SRC) آرد انواع ارقام چاودم

ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های اصلی (SRC) آرد انواع ارقام چاودم در مقاله شماره [۲] بررسی شده است. در اینجا به بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری

حلال‌های کمکی (SRC) آرد انواع ارقام چاودم پرداخته می‌شود.

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۳)، شاخص رنگ L* دانه، با ETHSRC (-۰/۷۵۶**)، SDSSRC (-۰/۸۴۹**)، MBSSRC (-۰/۸۰۲**) و SRC (SDSMBS) (-۰/۶۷۵*) همبستگی منفی معنی‌دار داشت. بدین‌معنی که ارقام دارای دانه‌های با رنگ تیره‌تر، از کیفیت بالاتری برخوردار بودند و آردهای تولید شده از آن‌ها ظرفیت نگه‌داری بیشتری برای حلال‌های اتانول، سدیمدودسیل سولفات، سدیم متابی سولفیت و مخلوط سدیم دودسیل سولفات و سدیم متابی سولفیت داشتند. شاخص رنگ a* دانه با ETHSRC (۰/۵۸۶*)، SDSSRC (۰/۷۰۲*)، MBSSRC (۰/۷۰۵*) و SRC (SDSMBS) (۰/۶۵۳*) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که ارقام دارای دانه‌های قرمزتر، از کیفیت بالاتری برخوردار بودند و آردهای تولید شده از آن‌ها ظرفیت نگه‌داری بیشتری برای حلال‌های کمکی شامل اتانول، سدیم دودسیل سولفات، سدیم متابی سولفیت و مخلوط سدیم دودسیل سولفات و سدیم متابی سولفیت داشتند.

جدول (۲) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های ظرفیت نگهداری حلال آرد ارقام چاودم.

Table 2 Pearson correlation coefficients between flour solvent retention capacity characteristics of triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	نگه‌داری آب دیونیزه WSRC	نگه‌داری محلول لاکتیک اسید LASRC	محلول سدیم کربنات SCSRC	محلول ساکارز SUSRC	شاخص عملکرد گلوتن GPI	نگه‌داری اتانول ETHSRC	نگه‌داری محلول سدیم دودسیل سولفات SDSSRC	نگه‌داری محلول متابی سولفیت سدیم MBSSRC
نگه‌داری محلول لاکتیک اسید LASRC	0.906**							
محلول سدیم کربنات SCSRC	0.921 **	0.736**						
محلول ساکارز SUSRC	0.899**	0.762**	0.954**					
نگه‌داری اتانول ETHSRC	0.863**	0.842**	0.699*	0.674*				
نگهداری محلول متابی سولفیت سدیم MBSSRC	0.867**	0.883**	0.724**	0.662*		0.866**	0.784**	
نگه‌داری محلول سدیم دودسیل سولفات SDSSRC		0.741**			0.685*			
نگه‌داری مخلوط محلول SDS و MBS SDSMBSSRC		0.639*			0.625*		0.929**	0.701*

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**Significant at level of 0.01

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

*Significant at level of 0.05

جدول (۳) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال آرد ارقام چاودم.

Table 3 Pearson correlation coefficients between grain characteristics and flour solvent retention capacity characteristics of the triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	شاخص روشنایی L^*-value	شاخص قرمزی a^*-value	هزار دانه TKW	هکتولیتر Hectoliter	طول Length	ضخامت Diameter	سختی دانه Hardness index	استحصال آرد Flour extraction rate
نگه‌داری اتانول ETHSRC	-0.756**	0.586*					0.752**	
نگه‌داری سدیم دودسیل سولفات SDSSRC	-0.849**	0.702*	0.712**	0.814**	0.664*	0.640*	0.748**	0.682*
محلول متابی سولفیت سدیم MBSSRC	-0.802**	0.705*					0.818**	0.599*
نگه‌داری مخلوط محلول SDS و MBS SDSMBSSRC	-0.675*	0.653*		0.744**			0.593*	

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

وزن هزاردانه با SDSSRC (۰/۷۱۲**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که ارقام دارای وزن هزاردانه بیشتر، ظرفیت نگه‌داری بیشتری برای حلال سدیم دودسیل سولفات داشتند. هکتولیتر با SDSSRC (۰/۸۱۴**) و SRC (SDSMBS) (۰/۷۴۴**) ارتباط معنی‌داری داشت. همچنین، طول دانه با SDSSRC (۰/۶۶۴*) ارتباط معنی‌داری داشت. بین ضخامت دانه با SDSSRC (۰/۶۴۰*) ارتباط معنی‌داری وجود داشت. سختی دانه با ETHSRC (۰/۷۵۲**)، SDSSRC (۰/۷۴۸**)، MBSSRC (۰/۸۱۸**) و SRC (SDSMBS) (۰/۵۹۳*) از همبستگی معنی‌داری برخوردار بود. درجه استحصال آرد با SDSSRC (۰/۶۸۲*) و MBSSRC (۰/۵۹۹*) ارتباط معنی‌داری داشت. در واقع ارقام چاودم دارای روشنایی کمتر، وزن هزاردانه، هکتولیتر، طول، ضخامت و سختی دانه بیشتر، به‌طور معنی‌داری، شاخص عملکرد گلوتن بالاتری داشتند. همچنین تمامی ویژگی‌های کیفی دانه که ذکر شدند، با ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم دودسیل سولفات، به‌طور معنی‌داری، همبسته بودند. 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 از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال‌های اصلی و کمکی برخوردار بودند و همچنین شاخص عملکرد گلوتن بالاتری داشتند [۲].

۵.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی (SRC) آرد انواع ارقام چاودم

ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های اصلی (SRC) آرد انواع ارقام چاودم در مقاله شماره [۲] بررسی شده است. در اینجا به بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی (SRC) آرد انواع ارقام چاودم پرداخته می‌شود.

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۴)، ETHSRC با شاخص رنگ L^* آرد (۰/۷۸۱** -)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (۰/۸۸۲**-) و گروه‌های سولفیدریل (۰/۶۴۰*-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت و با شاخص رنگ a^* آرد (۰/۶۸۳*)، اندازه ذرات بین ۱۰۶ تا ۱۲۵ µm (۰/۸۱۷**)، اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۶ µm (۰/۸۶۳**)، نشاسته آسیب‌دیده (۰/۷۹۴**)، فرولیک اسید (۰/۵۹۴*)، رسوب زلنی (۰/۶۸۲*)، جذب آب (۰/۷۹۹**) و جذب روغن (۰/۷۶۵**) و پیوندهای دی‌سولفید (۰/۶۵۸*) ارتباط معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که، آردهای دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، اندازه ذرات کوچکتر، نشاسته آسیب‌دیده، فرولیک اسید، رسوب زلنی، جذب آب و جذب روغن بیشتر و پیوندهای دی‌سولفید بیشتر و گروه‌های سولفیدریل کمتر، از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال

اتانول برخوردار بودند و ETHSRC بالاتری داشتند. در بین چاودم‌ها، زورو، آلاموس ۸۳ و پرستو به‌ترتیب دارای بیشترین و لاسکو ۱، شیراز، جوانیلو، سناباد و لاسکو ۲ دارای کمترین ETHSRC (حلال اتانول ۵۵٪ وزنی / وزنی) بودند. ظرفیت نگه‌داری حلال اتانول با ویژگی‌های گلیادین همراه است و در این پژوهش نیز آردهای دارای رسوب زلنی و پیوندهای دی‌سولفید بالاتر، SRC اتانول بالاتری داشتند که بیانی از گلیادین‌های موجود در آرد بود. در مورد SDSSRC با اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (**۰/۷۹۴-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (**۰/۷۴۰-) و گروه‌های سولفیدریل (**۰/۹۴۹-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت و با اندازه ذرات بین ۱۰۶ تا ۱۲۵ µm (*۰/۶۶۹)، اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (*۰/۶۶۸)، نشاسته آسیب‌دیده (*۰/۶۵۰)، رسوب زلنی (*۰/۶۲۸)، جذب آب (*۰/۶۶۳)، پیوندهای دی‌سولفید (**۰/۸۰۵)، اندازه ذرات بین ۱۲۵ تا ۱۸۰ µm (*۰/۶۵۴)، رسوب SDS (**۰/۷۲۳) و شاخص گلوتن (**۰/۸۱۴) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که، آردهای دارای اندازه ذرات کوچک‌تر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، رسوب زلنی، جذب آب، پیوندهای دی‌سولفید، رسوب SDS و شاخص گلوتن بیشتر و گروه‌های سولفیدریل کمتر، از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال سدیم دودسیل سولفات برخوردار بودند و SDSSRC بالاتری داشتند. زورو و جوانیلو از بیشترین و لاسکو ۱ و لاسکو ۲ از کمترین SDSSRC (حلال سدیم دودسیل سولفات ۰/۷۵٪ وزنی / وزنی) برخوردار بودند. ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم دودسیل سولفات با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین همراه است و در این پژوهش نیز آردهای دارای رسوب زلنی، رسوب SDS، شاخص گلوتن و پیوندهای دی‌سولفید بیشتر، از SRC سدیم دودسیل سولفات بالاتری برخوردار بودند، که بیانی از ماکروپلیمرهای گلوتنین بود.

در مورد MBSSRC با شاخص رنگ L^* آرد (*۰/۶۷۰-)، اندازه ذرات بزرگتر از ۴۲۵ µm (*۰/۶۷۴-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (**۰/۹۰۴-) و گروه‌های سولفیدریل (**۰/۸۸۰-) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود ولی با شاخص رنگ a^* آرد (**۰/۷۶۰)، اندازه ذرات بین ۱۰۶ تا ۱۲۵ µm (**۰/۸۶۱)، اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (**۰/۸۴۵)، نشاسته آسیب‌دیده (**۰/۹۰۴)، رسوب زلنی (*۰/۶۲۹)، جذب آب (**۰/۸۹۹)، جذب روغن (**۰/۶۵۳)، پیوندهای دی‌سولفید (**۰/۸۷۴) و شاخص گلوتن (*۰/۶۳۷) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. زورو و آلاموس ۸۳ به‌ترتیب دارای بیشترین و لاسکو ۲ و لاسکو ۱ دارای کمترین مقدار MBSSRC حلال سدیم متابی سولفیت ۰/۰۰۶٪ وزنی / وزنی بودند. ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم متابی سولفیت با ویژگی‌های کلی گلوتن موجود در آرد همراه است و نتایج نیز با این موضوع همخوانی داشتند. در ادامه مطالعه، SRC (SDSMBS) با اندازه ذرات بزرگتر از ۴۲۵ µm (**۰/۷۶۸-) و گروه‌های سولفیدریل (**۰/۸۸۲-) همبستگی منفی معنی‌داری داشت در صورتی که با پیوندهای دی‌سولفید (**۰/۸۱۲)، رسوب SDS (*۰/۵۸۷) و شاخص گلوتن (**۰/۷۹۱) ارتباط معنی‌داری داشت. زورو، جوانیلو، سناباد و پرگو ۱ از بیشترین و لاسکو ۲ و لاسکو ۱ از کمترین مقدار SRC (SDS + MBS) (حلال مخلوط MBS و SDS) بودند. ظرفیت نگه‌داری مخلوط دو حلال MBS و SDS، با وضعیت ماکروپلی‌مرهای گلوتنین و شبکه دی سولفیدی همراه است که نتایج به‌دست آمده نیز با این موضوع مطابقت داشت. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آردهایی با ویژگی‌های کیفی بهتری (فیزیکی، شیمیایی و مولکولی) داشتند، از ظرفیت نگه‌داری حلال (اصلی و کمکی) بیشتری برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت کلی بهتری نسبت به سایر ارقام داشتند [۲].

میانگین نتایج ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ظرفیت نگه‌داری حلال آرد دانه‌های انواع ارقام در این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط بسیاری از محققین از جمله لئون و همکاران [۲۴]، سرنا - سالدیور و همکاران [۲۵]، روکیا و همکاران [۸]، آیگنی و همکاران [۲۶]، لئون و همکاران [۲۷]، اولیت و همکاران [۲۸]، ژونالا و همکاران [۲۹]، نایک و همکاران [۳۰]، راخا و همکاران [۳۱]، ناوارو - کونترراس و همکاران [۳۲]، فراس و همکاران [۳۳]، آپرادو و بانو [۳۴] هماهنگی داشت.

۶.۳. بررسی میانگین ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد انواع ارقام

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۵، آلاموس ۸۳ و زورو با ۱۱۳ mmH_2O و ۱۰۹ دارای بیشترین و لاسکو ۱ و لاسکو ۲ با

جدول (۴) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال آرد انواع ارقام چاودم.

Table 4 Pearson correlation coefficients between flour physical and chemical characteristics and flour solvent retention capacity characteristics of the triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	نگه‌داری اتانول ETHSRC	نگه‌داری محلول سدیم دودسیل سولفات SDSSRC	نگه‌داری محلول متابی سولفیت سدیم MBSSRC	SDS + MBS SRC مخلوط محلول SDS و MBS
شاخص روشنایی L*-value	-0.781**		-0.670*	
شاخص قرمزی a*-value	0.683*		0.760**	
اندازه ذرات 425 < Particles size		-0.794**	-0.674*	-0.768**
اندازه ذرات 180 – 425 Particles size	-0.882**	-0.740**	-0.904**	
اندازه ذرات 106 –125 Particles size	0.817**	0.669*	0.861**	
اندازه ذرات 106 > Particles size	0.863**	0.668*	0.845**	
آسیب نشاسته Damaged starch	0.794**	0.650*	0.904**	
فرولیک اسید Ferulic acid	0.594*			
رسوب زلنی Zeleny-sedi	0.682*	0.628*	0.629*	
جذب آب WAC	0.799**	0.663*	0.899**	
جذب روغن OAC	0.765**		0.653**	
گروه‌های سولفیدریل SH-groups	-0.640*	-0.949**	-0.880**	-0.882**
پیوندهای دی‌سولفید SS-bounds	0.658*	0.805**	0.874**	0.812**
اندازه ذرات 125 -180 Particles size		0.654*		
رسوب SDS SDS-sedi		0.723**		0.587*
شاخص حجم نان RMT				
شاخص گلوتن Gluten Index		0.814**	0.637*	0.791**

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**Significant at level of 0.01

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

Significant at level of 0.05

۴۱ mmH2O و ۴۲ دارای کمترین مقدار P یا همان حداکثر فشار یا بیشترین فشار مورد نیاز برای ترکیدن حباب خمیر بودند. گندم سیروان با ۱۲۵ mmH_2O دارای بیشترین مقدار P در بین ارقام بود. دامنه مقدار P در ارقام مورد مطالعه بین

۴۱ تا ۱۲۵ mmH_2O متغیر بود. از نظر مقدار L یا مدت زمان مورد نیاز برای ترکیدن حباب خمیر و یا بیشترین حجم هوایی که حباب قادر به نگه‌داری آن می‌باشد، زورو، پرستو و پرگو ۲ با ۸۲، ۷۷ و ۷۴ mm دارای بیشترین و لاسکو ۲ و جوانیلو با ۲۸ و ۳۴ mm دارای کمترین مقدار بودند و در نهایت، چاودار با ۱۶ mm دارای کمترین مقدار L در بین تمامی ارقام بود. دامنه مقدار L در ارقام مورد مطالعه بین ۱۶ تا ۸۲ mm متغیر بود. در بین چاودم‌ها، زورو، پرستو و پرگو ۲ با ۲۰/۱، ۱۹/۵ و ۱۹/۱ از بیشترین و لاسکو ۲ و جوانیلو با ۱۱/۷ و ۱۲/۹ از کمترین مقدار G یا همان اندیس بادکردگی یا شاخص تورم برخوردار بودند و در نهایت، چاودار با ۸/۸ دارای کمترین مقدار G در بین تمامی ارقام بود. دامنه مقدار G در ارقام مورد مطالعه بین ۸/۸ تا ۲۰/۱ متغیر بود. در بین چاودم‌ها، زورو و آلاموس ۸۳ با 10-4J ۱۳۴ و ۱۲۸ و پس از آن‌ها شیراز و پرستو با 10-4J ۹۴ و ۹۱ دارای بیشترین و لاسکو ۲ و لاسکو ۱ با 10-4J ۲۷ و ۳۰ دارای کمترین مقدار W یعنی انرژی تغییر شکل یا معادل انرژی لازم برای ترکاندن حباب خمیر، بودند. همچنین، گندم سیروان با 10-4J ۲۱۲ دارای بیشترین مقدار W در بین تمامی ارقام بود. دامنه مقدار W در ارقام مورد مطالعه بین 10-4J ۲۷ تا ۲۱۲ متغیر بود.

جوانیلو، آلاموس ۸۳ و شیراز با ۱/۹۸، ۱/۷۳ و ۱/۷۰ از بیشترین و لاسکو ۱، پرستو، سناباد، النور، پرگو ۱ و پرگو ۲ با ۰/۸۷، ۱/۹۹، ۰/۸۹، ۱/۰۲، ۱/۹۹ و ۱/۹۰ از کمترین مقدار P/L برخوردار بودند. گندم سیروان با ۲/۶۷ دارای بیشترین مقدار P/L در بین تمامی ارقام چاودم و گندم دوروم بود و در نهایت، چاودار با ۴/۹۷ دارای بیشترین مقدار این صفت در بین تمامی ارقام بود. دامنه مقدار P/L در ارقام مورد مطالعه بین ۰/۸۷تا ۲/۶۷ متغیر بود. شیراز با ۱۸/۵٪ دارای بیشترین و جوانیلو، لاسکو ۲ و چاودار دارای کمترین مقدار Ie (صفر) که در واقع اندیس کشش‌پذیری که شاخصی از وضعیت الاستیک خمیر است، بودند. گندم سیروان با ۳۷٪ دارای بیشترین مقدار Ie در بین تمامی ارقام بود. دامنه Ie در ارقام مورد مطالعه بین ۰ تا ۳۷% متغیر بود. در بررسی پارامترهای به‌دست آمده از منحنی‌های تنش - کرنش نمونه‌های خمیر آردهای انواع ارقام، از نظر مقدار D_{MIN} یا همان شروع منحنی تنش-کرنش، زورو و آلاموس ۸۳ با ۸/۳۷ - و ۸/۱۰- دارای بیشترین و لاسکو ۱ و لاسکو ۲ با ۴/۴۳ - و ۴/۴۵ - و پس از آن‌ها سناباد و جوانیلو با ۵/۵۲- و ۵/۷۴ - دارای کمترین مقدار بودند. دامنه D_{MIN} در ارقام مورد مطالعه بین ۴/۴۳- تا ۸/۱۷- متغیر بود. از نظر مقدار D_{MAX} یا همان نقطه تسلیم در منحنی تنش - کرنش، زورو و آلاموس ۸۳، به‌ترتیب با ۹/۷۹ و ۸/۵۵ از بیشترین و سناباد، شیراز، جوانیلو و لاسکو ۱ با ۳/۸۷، ۴/۱۸، ۴/۰۱ و ۳/۹۶ از کمترین مقدار برخوردار بودند و در نهایت، چاودار با ۲/۱۰ دارای کمترین مقدار D_{MAX} در بین ارقام بود. دامنه D_{MAX} در ارقام مورد مطالعه بین ۲/۱۰ تا ۹/۷۹ متغیر بود.

در واقع کیفیت تمامی پارامترهای آلوئوگرافی که در بالا مطالعه شدند، به‌طور عمده، مربوط به کمیت و کیفیت پروتئین‌های گلوتن در آرد تمامی ارقام مورد مطالعه می‌باشند. بدیهی است که تمامی ارقامی که تاکنون از کیفیت دانه به‌عنوان مثال، رنگ تیره، ابعاد بزرگ، وزن هزاردانه، هکتولیتر، سختی و درجه استحصال آرد مناسب و بالا و همچنین کیفیت آرد مطلوب و مناسبی به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی برخوردار بودند و در مراحل قبلی به‌عنوان مثال از محتوای پروتئین، گلوتن مرطوب، گلوتن خشک، شاخص گلوتن، رسوب زلنی، رسوب SDS و حجم RMT بالاتری برخوردار بودند و همچنین از سایر پارامترهای دارای اهمیت برای کیفیت نانوایی مانند محتوای نشاسته‌ی آسیب‌دیده و محتوای پنتوزان‌های محلول در آب مطلوب و مناسبی برخوردار بودند، در نهایت منجر به تولید خمیرهایی شدند که دارای ویژگی‌های کیفی رئولوژیکی آلوئوگرافی بسیار مطلوب‌تری نسبت به سایر ارقام بودند. در بررسی ویژگی‌های آلوئوگراف خویشاوندان نزدیک، خمیر آرد گندم سیروان دارای بیشترین مقدار P، W و Ie، در بین تمامی ارقام بود و در ادامه، دارای بیشترین مقدار P/L، در بین تمامی ارقام چاودم و گندم دوروم بود، که علت آن کیفیت بسیار بالای پروتئین‌های گلوتن آرد گندم نان و در نتیجه کیفیت بالای خمیر تهیه شده از آن می‌باشد. همچنین، خمیر آرد چاودار از نظر مقدار P، با ارقام چاودمی که مقدار P تقریبا بالایی داشتند، اختلاف معنی‌داری نداشت ولی بیشتر از گندم دوروم بود که در واقع به دلیل برتر بودن کیفیت پروتئین گلوتنین چاودار نسبت به پروتئین گلیادین در کمپلکس گلوتن موجود در آرد آن می‌باشد و همچنین دارای کمترین مقدار L، G، Ie و D_{MAX}، در بین تمامی ارقام بود و نیز دارای بیشترین

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

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

رقم Cultivar	عدد بیشینه فشار P (mmH_2O)	میانگین طول در نقطه پارگی L (mm)	شاخص تورم G	انرژی تغییر شکل W (10-4J)	نسبت فشار به طول P/L	اندیس الاستیسیته Ie (%)	نقطه تسلیم خمیر D_{MAX}	نقطه شروع بادکردگی خمیر D_{MIN}
گندم سیروان	125 ± 5.32	48 ± 6.50	15.3 ± 1.04	212 ± 13.87	2.67 ± 0.42	37 ± 2.29	5.12 ± 0.36	- 8.12 ± 0.24
آلاموس ۸۳	113 ± 0.58	66 ± 6.56	18 ± 0.87	128 ± 8.30	1.73 ± 0.16	4.7 ± 1.08	8.55 ± 1.06	- 8.10 ± 0.16
زورو	109 ± 6.43	82 ± 9.50	20.1 ± 1.16	134 ± 14.75	1.34 ± 0.18	8.4 ± 1.01	9.79 ± 0.36	- 8.37 ± 0.27
پرستو	75 ± 2.36	77 ± 8.42	19.5 ± 1.06	91 ± 5.07	0.99 ± 0.12	7.5 ± 1.29	4.70 ± 0.11	- 6.39 ± 0.19
شیراز	74 ± 1.73	44 ± 3.51	14.6 ± 0.60	94 ± 1.53	1.70 ± 0.18	18.5 ± 2.48	4.18 ± 0.16	- 6.26 ± 0.14
جوانیلو	66 ± 0	34 ± 2.12	12.9 ± 0.35	73 ± 0.71	1.98 ± 0.12	0 ± 0	4.01 ± 0.25	- 5.74 ± 0.06
گندم دوروم	71 ± 1.26	62 ± 7.18	17.4 ± 0.98	66 ± 3.40	1.16 ± 0.13	5.4 ± 0.68	7.19 ± 0.14	- 6.23 ± 0.15
سناباد	61 ± 0.82	69 ± 6.55	18.5 ± 0.90	71 ± 3.50	0.89 ± 0.07	7.2 ± 1.56	3.87 ± 0.15	- 5.52 ± 0.26
النور	71 ± 1.87	71 ± 9.19	18.7 ± 1.20	81 ± 2.55	1.02 ± 0.16	5.4 ± 1.38	4.58 ± 0.10	- 6.19 ± 0.10
پرگو ۱	65 ± 2.05	66 ± 5.24	18 ± 0.72	64 ± 3.29	0.99 ± 0.05	8.7 ± 1.04	7.25 ± 0.18	- 6.37 ± 0.23
پرگو ۲	66 ± 0.58	74 ± 7.37	19.1 ± 1.00	72 ± 2.65	0.90 ± 0.10	9.3 ± 0.46	6.91 ± 0.19	- 6.14 ± 0.09
لاسکو ۲	42 ± 1.22	28 ± 3.36	11.7 ± 0.72	27 ± 2.61	1.54 ± 0.17	0 ± 0	5.00 ± 0.33	- 4.45 ± 0.18
مورنو	76 ± 1.73	54 ± 6.81	16.2 ± 1.01	74 ± 5.12	1.44 ± 0.15	3.4 ± 0.90	5.50 ± 0.14	- 6.39 ± 0.14
لاسکو ۱	41 ± 2.16	48 ± 7.27	15.4 ± 1.17	30 ± 1.91	0.87 ± 0.15	3.9 ± 1.24	3.96 ± 0.30	- 4.43 ± 0.24
چاودار	77 ± 4.69	16 ± 0.58	8.8 ± 0.17	62 ± 4.92	4.97 ± 0.27	0 ± 0	2.10 ± 0.12	- 8.17 ± 0.34
LSD ($p < 0.05$)	4.20	9.25	1.78	9.75	0.27	1.83	0.50	0.40

- 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.

مقدار P/L در بین تمامی ارقام بود، که علت آن کمیت و کیفیت بسیار کم پروتئین‌های گلوتن در آرد چاودار و در نتیجه کیفیت بسیار پایین خمیر تهیه شده از آن بود. خمیر آرد دو رقم چاودم جوانیلو و لاسکو ۲ و خمیر آرد چاودار، از کمترین مقدار Ie (صفر) برخوردار بودند، که به علت کیفیت پایین پروتئین‌های گلیادین آن‌ها در کمپلکس گلوتن می‌باشد. همچنین، خمیر آرد چاودار از لحاظ D_{MIN}، با ارقام چاودمی که دارای بالاترین مقدار D_{MIN} بودند، تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد که به ویژگی-های ذاتی گلوتن چاودار و کم بودن کمیت و کیفیت آن مرتبط می‌شود.

۷.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۶)، P بیشترین فشار مورد نیاز برای ترکیدن حباب خمیر یا مقاومت و سفتی خمیر، با W انرژی لازم برای ترکاندن حباب خمیر یا قدرت پخت خمیر (۰/۹۷۲**) و D_{MAX} حداکثر توانایی خمیر برای جلوگیری از پاره شدن (۰/۷۴۰**) به‌طور معنی‌داری همبستگی مثبت و با D_{MIN} حداقل توانایی خمیر برای جلوگیری از پاره شدن (-۰/۹۸۲**) به‌طور معنی‌داری همبستگی منفی داشت. پارامتر L مدت زمان مورد نیاز برای ترکیدن حباب خمیر یا کشش خمیر با W (۰/۵۹۳*) و G شاخص تورم یا شاخص کشش (۰/۹۹۸**) به‌طور معنی‌داری همبستگی مثبت و با D_{MIN} (-۰/۶۳۱*) و P/L ویژگی‌های الاستیک و ویسکوز در خمیر یا نسبت مقاومت به تغییر شکل و کشش (-۰/۵۸۱*) به‌طور معنی‌داری همبستگی منفی داشت. همچنین G با W (۰/۵۸۲*) به‌طور معنی‌داری همبستگی مثبت و با D_{MIN} (-۰/۶۱۹*) و P/L (-۰/۵۹۶*) به‌طور معنی‌داری همبستگی منفی داشت. در ادامه، W با D_{MAX} (۰/۶۳۶*) به‌طور معنی‌داری همبستگی مثبت و با D_{MIN} (-۰/۹۵۸**) به‌طور معنی‌داری همبستگی منفی داشت. پارامترهای D_{MIN} و D_{MAX} به‌طور معنی‌داری (-۰/۷۹۹**) همبستگی منفی داشتند. در واقع تمامی موارد گفته شده کاملا بدیهی است و پارامترهای کیفی رئولوژیکی مختلف به خوبی یکدیگر را تایید کردند. نتایج به‌دست آمده برای آزمون آلوئوگرافی در همه ارقام با نتایج گزارش‌شده توسط سرنا - سالدیور و همکاران [۲۵]، گازمن و همکاران [۹]، دایوجونک و همکاران [۳۵]، گاتیری و همکاران [۳۶] و هروسکووا و همکاران [۳۷] همخوانی داشت.

۸.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۷)، رطوبت دانه و D_{MAX} (-۰/۶۴۹*) همبستگی منفی معنی‌داری داشتند. بدین‌معنی که ارقام دارای رطوبت دانه کمتر، ارقام با کیفیت‌تری بودند و در آلوئوگراف D_{MAX} بالاتری داشتند. شاخص رنگ L^* دانه با D_{MAX} (-۰/۶۰۳*)، P (-۰/۷۶۴**)، L (-۰/۶۵۸*)، G (-۰/۶۳۴*)، W

جدول (۶) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد ارقام چاودم

Table (6) Pearson correlation coefficients between flour dough alveograph characteristics of triticale cultivars

ویژگی‌ها Characteristics	بیشینه فشار P	میانگین طول در نقطه پارگی L	شاخص تورم G	انرژی تغییر شکل W	نقطه شروع بادکردگی D_{MIN}
انرژی تغییر شکل W	0.972**	0.593*	0.582*		
نقطه شروع بادکردگی D_{MIN}	- 0.982**	- 0.631*	- 0.619*	- 0.958**	
نقطه تسلیم D_{MAX}	0.740**			0.636*	- 0.799**
شاخص تورم G		0.998**			
نسبت فشار به طول P/L		- 0.581*	- 0.596*		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**Significant at level of 0.01

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

Significant at level of 0.05

جدول (۷) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد انواع ارقام چاودم.

Table 7 Pearson correlation coefficients between grain characteristics and flour dough alveograph characteristics of the triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	رطوبت Moisture	شاخص روشنایی L^*-value	شاخص قرمزی a^*-value	شاخص زردی b^*-value	هزار دانه TKW	طول Length	ضخامت Diameter	سختی دانه Hardness index	استحصال آرد Flour extraction rate
نقطه تسلیم D_{MAX}	-0.649*	-0.603*	0.640*	0.583*				0.603*	
بیشینه فشار P		-0.764**			0.673*	0.650*		0.897**	0.635*
میانگین طول در نقطه پارگی L		-0.658*	0.669*						
شاخص تورم G		-0.634*	0.647*						
انرژی تغییر شکل W		-0.827**			0.780**	0.749**	0.616*	0.932**	0.652*
نقطه شروع بادکردگی D_{MIN}		0.801**	-0.612*		-0.606*	-0.604*		-0.865**	-0.631*

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**Significant at level of 0.01

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

Significant at level of 0.05

(-۰/۸۲۷**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با D_{MIN} (۰/۸۰۱**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که، ارقامی که دارای رنگ دانه با مقدار روشنی کمتری بودند، خمیر آن‌ها در آلوئوگراف از شاخص‌های کیفی بهتر و بالاتری برخوردار بود و دارای D_{MIN} کمتری بودند. شاخص رنگ a^* دانه با D_{MAX} (۰/۶۴۰*)، L (۰/۶۶۹*) و G (۰/۶۴۷*) ارتباط معنی‌داری داشت در حالی که با D_{MIN} (-۰/۶۱۲*) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که ارقام دارای دانه‌های قرمزتر، در آلوئوگراف از شاخص های L، G و D_{MAX} بالاتری برخوردار بودند و دارای D_{MIN} کمتری بودند. بین شاخص رنگ b^* دانه و D_{MAX} (۰/۵۸۳*) همبستگی معنی‌داری وجود داشت. در واقع ارقام دارای دانه‌های با رنگ زرد بیشتر، D_{MAX} بالاتری داشتند. وزن هزار دانه با P (۰/۶۷۳*) و W (۰/۷۸۰**) ارتباط معنی‌داری داشت ولی با D_{MIN} (-۰/۶۰۶*) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود. طول دانه با P (۰/۶۵۰*) و W (۰/۷۴۹**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود ولی با D_{MIN} (-۰/۶۰۴*) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. ضخامت دانه و W (۰/۶۱۶*) به‌طور معنی‌داری همبسته بودند. سختی دانه با D_{MAX} (۰/۶۰۳*)، P (۰/۸۹۷**) و W (۰/۹۳۲**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود ولی با D_{MIN} (-۰/۸۶۵**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. درجه استحصال آرد با P (۰/۶۳۵*) و W (۰/۶۵۲*) ارتباط معنی‌داری داشت در صورتی که با D_{MIN} (-۰/۶۳۱*) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که، ارقام با طول و ضخامت دانه بیشتر، سختی دانه و درجه استحصال آرد بالاتر، به‌طور معنی‌داری با شاخص‌های کیفی آلوئوگراف همبسته بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که دانه‌های آن‌ها دارای ویژگی‌های کیفی فیزیکی بهتری بودند، آردهایی با ویژگی‌های کیفی فیزیکی و شیمیایی بهتری تولید کردند که خمیر تهیه شده از آن‌ها از نظر ویژگی‌های رئولوژیکی مانند ویژگی‌های کیفی آلوئوگراف در شرایط بهتری بودند و کیفیت بالاتری داشتند [۲].

۹.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد و ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه شده در جدول (۸)، شاخص P آلوئوگراف، با

جدول (۸) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد و ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد انواع ارقام چاودم.

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

ویژگی‌ها Characteristics	بیشینه فشار P	میانگین طول در نقطه پارگی L	شاخص تورم G	انرژی تغییر شکل W	نقطه شروع بادکردگی D_{MIN}	نقطه تسلیم D_{MAX}
شاخص روشنایی L*-value	-0.674*				0.666*	-0.601*
شاخص قرمزی a*-value	0.686*			0.586*	-0.721**	0.681*
اندازه ذرات 425 < Particles size	-0.650*	-0.625*	-0.637*	-0.731**	0.699*	
آسیب نشاسته Damaged starch	0.783**	0.710**	0.689*	0.744**	-0.857**	0.786**
زلنی Zeleny-sedi	0.794**			0.802**	-0.725**	
شاخص حجم نان RMT	0.588*			0.590*		
شاخص گلوتن Gluten Index	0.661*			0.780**	-0.684*	
جذب آب WAC	0.829**	0.712**	0.695*	0.785**	-0.879**	0.758**
جذب روغن OAC	0.617*	0.632*	0.627*	0.593*	-0.646*	
گروه‌های سولفیدریل SH-groups	-0.875**			-0.910*	0.883**	-0.606*
پیوندهای دی‌سولفید SS-bounds	0.801**	0.664*	0.660*	0.835**	-0.836**	0.666*
اندازه ذرات 125 – 180 Particles size			0.579*	0.578*		
رسوب SDS SDS-sedi				0.670*		
گلوتن خشک Dry gluten				0.602*		
آرابینوزایلان Arabinoxylan						0.628*

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

شاخص رنگ L* آرد (*۰/۶۷۴-)، اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (*۰/۶۵۰-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (**۰/۸۹۶-) و گروه‌های سولفیدریل (**۰/۸۷۵-) همبستگی منفی معنی‌دار داشت ولی با شاخص رنگ a* آرد (*۰/۶۸۶)، اندازه ذرات بین ۱۰۶ تا ۱۲۵ µm (**۰/۸۵۱)، اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (**۰/۸۵۷)، نشاسته آسیب‌دیده (**۰/۷۸۳)، رسوب زلنی (**۰/۷۹۴)، RMT (*۰/۵۸۸)، شاخص گلوتن (*۰/۶۶۱)، جذب آب (**۰/۸۲۹)، جذب روغن

(*۰/۶۱۷) و پیوندهای دی‌سولفید (**۰/۸۰۱) ارتباط معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که، آردهایی که دارای شاخص P آلوئوگراف بیشتری بودند، از کیفیت بالاتری برخوردار بودند و از لحاظ ویژگی‌های کیفی فیزیکی و شیمیایی در شرایط بهتری قرار داشتند. این آردها دارای رنگ تیره‌تر، قرمزتر، اندازه ذرات کوچکتر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، رسوب زلنی، شاخص حجم نان (RMT)، شاخص گلوتن، جذب آب، جذب روغن و پیوندهای دی‌سولفید بیشتر و گروه‌های سولفیدریل کمتری بودند. شاخص L آلوئوگراف، با اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (*۰/۶۲۵-) و اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (*۰/۶۳۴-) همبستگی منفی معنی‌دار داشت در حالی که با اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۶ µm (*۰/۵۸۵)، نشاسته آسیب‌دیده (**۰/۷۱۰)، جذب آب (**۰/۷۱۲)، جذب روغن (*۰/۶۳۲) و پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۶۶۴) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که، آردهایی که دارای شاخص L آلوئوگراف بیشتری بودند، بیشتر حاوی ذرات کوچک بودند و نشاسته آسیب‌دیده، جذب آب، جذب روغن و پیوندهای دی‌سولفید بیشتری داشتند. شاخص G آلوئوگراف، با اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (*۰/۶۳۷-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (*۰/۶۱۲-) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود ولی با نشاسته‌ی آسیب‌دیده (*۰/۶۸۹)، جذب آب (*۰/۶۹۵)، جذب روغن (*۰/۶۲۷)، پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۶۶۰) و اندازه ذرات بین ۱۲۵ تا ۱۸۰ µm (*۰/۵۷۹) به‌طور معنی‌داری همبسته بود.

شاخص W آلوئوگراف، با اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (**۰/۷۳۱-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (**۰/۸۷۷-) و گروه‌های سولفیدریل (*۰/۹۱۰-) ارتباط منفی معنی‌دار داشت ولی با شاخص رنگ a^* آرد (*۰/۵۸۶)، اندازه ذرات بین ۱۲۵ تا ۱۰۶ µm (**۰/۸۲۸)، اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (**۰/۸۴۷)، نشاسته آسیب‌دیده (**۰/۷۴۴)، رسوب زلنی (**۰/۸۰۲)، RMT (*۰/۵۹۰)، شاخص گلوتن (**۰/۷۸۰)، جذب آب (**۰/۷۸۵)، جذب روغن (*۰/۵۹۳)، پیوندهای دی‌سولفید (**۰/۸۳۵)، اندازه ذرات بین ۱۲۵ تا ۱۸۰ µm (*۰/۵۷۸)، رسوب SDS (*۰/۶۷۰) و گلوتن خشک (*۰/۶۰۲) دارای ارتباط معنی‌داری بود. بدین‌معنی که، آردهایی که دارای شاخص W آلوئوگراف بیشتری بودند، حاوی ذرات کوچک‌تری بودند و رنگ قرمز بیشتری داشتند. این آردها، نشاسته آسیب‌دیده بیشتری داشتند و همچنین دارای رسوب زلنی، رسوب SDS، RMT، شاخص گلوتن، گلوتن خشک و پیوندهای دی‌سولفید بیشتر و گروه‌های سولفیدریل کمتری بودند. این آردها جذب آب و جذب روغن بیشتری نیز داشتند و در نتیجه از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

در ادامه، D_{MIN}، با شاخص رنگ L^* آرد (*۰/۶۶۶)، اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm (*۰/۶۹۹)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (**۰/۹۱۵) و گروه‌های سولفیدریل (**۰/۸۸۳) ارتباط معنی‌دار داشت ولی با شاخص رنگ a^* آرد (**۰/۷۲۱-)، اندازه ذرات بین ۱۰۶ تا ۱۲۵ µm (**۰/۸۶۰-)، اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (**۰/۸۵۸-)، نشاسته آسیب‌دیده (**۰/۸۵۷-)، رسوب زلنی (**۰/۷۲۵-)، شاخص گلوتن (*۰/۶۸۴-)، جذب آب (**۰/۸۷۹-)، جذب روغن (*۰/۶۴۶-) وپیوندهای دی‌سولفید (**۰/۸۳۶-) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود. در واقع، آردهایی که دارای مقدار شاخص D_{MIN} کمتری بودند، آردهای با کیفیت بهتری بودند و دارای شاخص‌های کیفی فیزیکی و شیمیایی بهتری بودند. همچنین، D_{MAX}، با شاخص رنگ L^* آرد (*۰/۶۰۱-)، اندازه ذرات بین ۱۸۰ تا ۴۲۵ µm (*۰/۸۲۷-) و گروه‌های سولفیدریل (*۰/۶۰۶-) همبستگی منفی معنی‌دار داشت در حالی‌که با شاخص رنگ a^* آرد (*۰/۶۸۱)، اندازه ذرات بین ۱۲۵ تا ۱۰۶ µm (**۰/۸۴۲)، اندازه ذرات کوچک‌تر از ۱۰۶ µm (**۰/۷۷۶)، نشاسته آسیب‌دیده (**۰/۷۸۶)، جذب آب (**۰/۷۵۸)، پیوندهای دی‌سولفید (*۰/۶۶۶) و آرابینوزایلان‌ها (*۰/۶۲۸) به‌طور معنی‌داری همبسته بود. بدین‌معنی که، آردهای دارای مقدار شاخص D_{MAX} بالاتر، آردهای تیره‌تر، قرمزتر، دارای اندازه ذرات کوچکتر، نشاسته آسیب‌دیده بیشتر، جذب آب بیشتر، پنتوزان‌های بیشتر، پیوندهای دی‌سولفید بیشتر و گروه‌های سولفیدریل کمتری بودند و در نتیجه ارقام با کیفیت‌تری بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آردهایی با ویژگی‌های کیفی بهتری (فیزیکی و شیمیایی) داشتند، خمیرهای تولید شده از آن‌ها از ویژگی‌های رئولوژیکی بهتری برخوردار بودند و دارای شاخص‌های آلوئوگراف مطلوب‌تری بودند[۲].

۱۰.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال‌های اصلی و کمکی آرد (SRC) انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول (۹)، WSRC که با همه ترکیبات پلیمری آرد همبسته بود با شاخص‌های آلوئوگراف P (۰/۸۱۰**)، L (۰/۷۰۳*)، G (۰/۶۸۸*)، W (۰/۷۵۳**) و D_{MAX} (۰/۷۳۱**) ارتباط معنی‌دار داشت ولی با D_{MIN} (۰/۸۶۵-**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که آردهای ارقام چاودمی که دارای ظرفیت نگه‌داری آب دیونیزه بیشتری بودند، در آلوئوگراف از شاخص‌های P، L، G، W و D_{MAX} بالاتر و D_{MIN} پایین‌تری برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت بهتری داشتند. LASRC که با ویژگی‌های پلیمرهای گلوتنین‌ها همبسته بود با P (۰/۸۹۳**)، L (۰/۶۰۰*)، G (۰/۵۸۴*)، W (۰/۸۷۷*) و D_{MAX} (۰/۶۲۸*) ارتباط معنی‌دار داشت ولی با D_{MIN} (۰/۹۱۰-**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. بدین‌معنی که آردهای ارقام چاودمی که دارای ظرفیت نگه‌داری حلال لاکتیک اسید بیشتری بودند، در آلوئوگراف از شاخص‌های P، L، G، W و D_{MAX} بالاتر و D_{MIN} پایین‌تری برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت بهتری داشتند. SCSRC که با محتوای نشاسته آسیب‌دیده همبسته بود با P (۰/۶۱۱*) ، L (۰/۶۰۱*)، G (۰/۵۸۸*) و D_{MAX} (۰/۶۸۵*) به‌طور معنی‌داری همبسته بود ولی با D_{MIN} (۰/۶۵۸-*) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود. همچنین، SUSRC که با ویژگی‌های آرابینوزایلان‌ها همبسته بود با P (۰/۶۳۷*) و D_{MAX} (۰/۵۸۷*) ارتباط معنی‌داری داشت در صورتی که با D_{MIN} (۰/۶۷۶-*) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود.

در میان حلال‌های کمکی، ETHSRC که با ویژگی‌های پلیمرهای گلیادین‌ها همبسته بود با P (۰/۸۵۲**)، L (۰/۷۰۱*)، G (۰/۶۷۶*)، W (۰/۸۱۰**) و D_{MAX} (۰/۷۸۵**) ارتباط معنی‌داری داشت در حالی که با D_{MIN} (۰/۸۶۵-**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. SDSSRC که با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین‌ها همبسته بود با P (۰/۷۳۳**) و W (۰/۷۸۷**) به‌طور معنی‌داری همبسته بود ولی با D_{MIN} (۰/۷۵۹-**) همبستگی منفی معنی‌داری داشت. MBSSRC که با ویژگی‌های گلوتن همبسته بود با P (۰/۹۲۳**)، L (۰/۷۲۴**)، G (۰/۷۰۹**)، W (۰/۸۹۲**) و D_{MAX} (۰/۸۶۴**) ارتباط معنی‌داری داشت در صورتی که با D_{MIN} (۰/۹۶۸-**) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود. در نهایت، SRC (SDSMBS) که با ماکروپلی‌مرهای گلوتنین و شبکه دی‌سولفیدی همبسته بود با P (۰/۵۷۷*) و W (۰/۶۳۲*) ارتباط معنی‌داری داشت ولی با D_{MIN} (۰/۶۲۴-*) از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود.

بنابراین طبق نتایج مشخص شد که آردهای مربوط به ارقام با کیفیت نانوایی بالاتر، حاوی پلیمرهای گلوتنین بیشتری در ساختار گلوتن خود بودند که این پلیمرهای با کیفیت که توانستند به خوبی و به میزان زیادی تحت‌تاثیر حلال‌های اصلی و کمکی SRC قرار گیرند و در واکنش با آن‌ها به خوبی متورم شوند و پس از تورم توانستند به میزان مناسب و زیادی این حلال‌ها را در خود نگه‌داری کنند و در نهایت نیز همین آردها که به علت پلیمرهای با کیفیت توانستند پروفیل‌های SRC بالایی داشته باشند در نهایت خمیری را حاصل کردند که از نظر پارامترهای رئولوژیکی آلوئوگرافی نسبت به سایر ارقام برتری داشتند و در نتیجه کیفیت نانوایی بسیار بهتری داشتند [2].

به‌صورت کلی نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط بسیاری از محققین از جمله گینز [۷]، گاتیری و همکاران [۳۶]، بتجی و همکاران [۳۸]، رام و همکاران [۳۹]، گینز [۴۰]، رام و همکاران [۴۱]، گینز و همکاران [۴۲]، زائو و همکاران [۴۳]، باررا و همکاران [۴۴]، نیشیو و همکاران [۴۵]، نیشیو و همکاران [۴۶]، دایوجونک و همکاران [۳۵]، هروسکووا و همکاران [۳۷]، کار و همکاران [۴۷]، آل - دمور و همکاران [۴۸]، علی و همکاران [۴۹]، حامد و همکاران [۶]، کائو و همکاران [۵۰] و ماریوتی و همکاران [۵۱] هماهنگ بود.

۴. نتیجه‌گیری

همان‌طور که در مقاله شماره ۱ بیان شد، طبق نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان داشت که از ارقام چاودمی که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی دانه، دارای کیفیت نانوایی بالاتری بودند آلاموس ۸۳ (Alamos 83)، زورو (Zorro)، پرستو (Presto)، شیراز (Shiraz)، جوانیلو (Javanilo)، سناباد (Sanabad) و النور (Eleanor)، پس از آسیابانی آردهایی به‌دست آمد که به لحاظ

جدول (۹) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد و ویژگی‌های ظرفیت نگه‌داری حلال آرد انواع ارقام چاودم.

Table 9 Pearson correlation coefficients between flour dough alveograph characteristics and flour solvent retention capacity characteristics of the triticale cultivars.

ویژگی‌ها Characteristics	نگه‌داری آب دیونیزه WSRC	نگه‌داری محلول لاکتیک اسید LASRC	نگه‌داری محلول سدیم کربنات SCSRC	نگه‌داری محلول ساکارز SUSRC	نگه‌داری اتانول ETHSRC	نگه‌داری محلول سدیم دودسیل سولفات SDSSRC	نگه‌داری محلول متابی سولفیت سدیم MBSSRC	SDS + MBS SRC نگه‌داری مخلوط محلول SDS و MBS
بیشینه فشار P	0.810**	0.893**	0.611*	0.637*	0.852**	0.733**	0.923**	0.577*
میانگین طول در نقطه پارگی L	0.703*	0.600*	0.601*		0.701*		0.724**	
شاخص تورم G	0.688*	0.584*	0.588*		0.676*		0.709**	
انرژی تغییر شکل W	0.753**	0.877*			0.810**	0.787**	0.892**	0.632*
نقطه شروع بادکردگی D_{MIN}	- 0.865**	- 0.910**	- 0.685*	- 0.676*	- 0.865**	- 0.759**	- 0.968**	- 0.624*
نقطه تسلیم D_{MAX}	0.731**	0.628*	0.685*	0.587*	0.785**		0.864**	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

**Significant at level of 0.01

* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

*Significant at level of 0.05

ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مولکولی، از کیفیت نانوایی بسیار بهتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند. در ادامه، در مطالعه ظرفیت نگه‌داری حلال (SRC)، چنین آردهایی به علت بالا بودن کیفیت اجزاء پلیمری خود، دارای ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری انواع حلال‌های اصلی SRC بودند و پروفیل‌های SRC مطلوب‌تر و بالاتری داشتند [2]. طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، خمیری که از آردهای ارقام با کیفیت نانوایی برتر حاصل شد، به علت بالا بودن کیفیت اجزاء پلیمری مخصوصا پلیمرهای گلوتن گلیادین‌ها و گلوتنین‌ها، از ویژگی‌های رئولوژیکی بسیار بهتر و بالاتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند و به‌طور کلی دارای شاخص‌های آلوئوگرافی P حداکثر فشار یا بیشترین فشار موردنیاز برای ترکیدن حباب خمیر، L مدت زمان مورد نیاز برای ترکیدن حباب خمیر و یا بیشترین حجم هوایی که حباب قادر به نگه‌داری آن می‌باشد، G اندیس بادکردگی یا شاخص تورم، W انرژی تغییر شکل یا معادل انرژی لازم برای ترکاندن حباب خمیر، P/L و D_{MAX} نقطه تسلیم در منحنی تنش - کرنش بالاتر و D_{MIN} شروع منحنی تنش - کرنش پایین‌تری بودند و همبستگی‌های بسیار قوی بین پارامترهای آلوئوگرافی با پارامترهای سایر روش‌های تعیین‌کننده‌ی کیفیت گلوتن دانه و آرد مشاهده شد. در نهایت در مطالعه ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی SRC، چنین آردهایی، آرد ارقام با کیفیت نانوایی برتر، دارای ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری انواع حلال‌های کمکی 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، ETHSRC با ویژگی‌های پلیمرهای گلیادین‌ها، SDSSRC با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین‌ها، MBSSRC با ویژگی‌های گلوتن، SRC (SDS + MBS) با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین و شبکه دی‌سولفیدی همبسته بودند و تماما با پارامترهای آلوئوگرافی، پروفیل‌های SRC انواع حلال‌های اصلی و مخصوصا GPI و انواع شاخص‌های تعیین کیفیت گلوتن و در نهایت کیفیت نانوایی دانه و آرد انواع ارقام دارای ارتباط معنی‌دار بودند. به‌صورت کلی، پی‌بردن به ظرفیت نگه‌داری حلال‌های کمکی توسط آرد ارقام مختلف، باعث فهم بهتر شرایط انواع پلیمرهای تشکیل‌دهنده‌ی گلوتن آرد می‌شود و در واقع می‌توان به خوبی و با دقت و با حساسیت بیشتری به وضعیت هر یک از این پلیمرها در گلوتن پی‌برد و اطلاعات ارزشمند بیشتری به‌دست آورد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، از آزمون ریز مقیاس ظرفیت نگه‌داری حلال‌های اصلی و کمکی به دلیل همبستگی‌های معنی‌دار و بسیار قوی پروفیل‌های آن با پارامترهای سایر روش‌های تعیین‌کننده‌ی کیفیت دانه و آرد و خمیر 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 مطالعات دیگر به ارتباط بین محتوای اسیدهای آمینه و محتوای ساختارهای دوم پروتئین ۱۵ رقم ذکر شده، با پروفیل‌های SRC انواع حلال‌های اصلی و کمکی پرداخته خواهد شد.

منابع

[۱] تیموری، ش. (۱۳۹۵) *تکنولوژی‌های نوین در اندازه‌گیری خواص رئولوژی آرد و خمیر. چاپ اول*، مرکز نشر جهش.

[۲] چاووشی، م.، کدیور، م.، ارزانی، ا.، سبزعلیان، م. ر. (۱۳۹۸) ارزیابی کاربرد روش ظرفیت نگه‌داری حلال در تعیین ویژگی‌های آرد و کیفیت نانوایی چاودم (۱). *مجله فناوری‌های نوین غذایی*.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] Hammed, A.M., Ozsisli, B., Ohm, J., Simsek, S. (2015). Relationship between solvent retention capacity

Pentosans in wheat and milled wheat products. *Cereal Chem.*, 64, 30-34.
[22] 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.
[23] 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.
[24] Leon, A.E., Rubiolo, A., Anon, M.C. (1996). Use of triticale flours in cookies: Quality factors. *Cereal Chem*., 73, 779- 784.
[25] 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.
[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] 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.
[29] 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.
[30] 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.
[31] 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.
[32] Navarro-Contreras, A.L., Chaires-González, C.F., Rosas-Burgos, E.C., Borboa-Flores, J., Wong-Corral, F. 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.
[33] 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.
[34] Aprodu, I., Banu, I. (2016). Comparative analyses of physicochemical and technological properties of triticale, rye and wheat. *Food Technol*., 40, 31-39.
[35] 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 – and protein molecular weight distribushion, quality characteristics, and breadmaking functionality of hard red spring wheat flour. *Cereal Chem*., 92, 466-474.
[7] Gaines, C.S. (2000). Collaborative study of methods for solvent retention capacity profiles (AACC method 56-11). *Cereal Foods World*., 45, 303-306.
[8] 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.
[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] AACC International. (2010). Approved Methods of the AACC. St. Paul, Minnesota, USA.
[11] Mohsenin, N.N. (1987). Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. Nahrung., 31, 700-702.
[12] 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.
[13] 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.
[14] 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.
[15] 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.
[16] Sissons, M.J., Osborne, B., Sissons, S. (2006). Application of near infrared reflectance spectroscopy to a durum wheat breeding programme. *JNIRS*., 14, 17-25.
[17] Bass, E.J. (1988). Wheat flour milling. in: Pomeranz, Y. (Ed.), Wheat Chemistry and Technology, St. Paul, Minnesota, USA, AACC, pp 1-68.
[18] Drakos, A., Malindretou, K., Mandala, I., Evageliou, V. (2017). Protein isolation from jet milled rye flours differing in particle size. FBP., 104, 13-18.
[19] 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.
[20] 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.
[21] Hashimoto, S., Shogren, M., Pomeranz, Y. (1987). Cereal pentosans: Estimation and significance. I.

Food Sci. Technol., 47, 56-63.
[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] 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.
[38] 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.
[39] Ram, S., Singh, R.P. (2004). Solvent retention capacities of Indian wheats and their relationship with cookie-making quality. *Cereal Chem*., 81, 128-133.
[40] 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.
[41] 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.
[42] 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.
[43] 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.
[44] Barrera, G.N., Perez, G.T., Ribotta, P.D., Leon, A.E. (2007). Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality. *Eur. Food Res. Technol*., 225, 1-7.
[45] 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.
[46] 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.
[47] 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.
[48] Al-Dmoor, H.M., Galali, Y. (2014). Prediction of wheat functionality by assessing dough and bread characteristics. *J. Agric. Environ. Sci*., 14, 104-109.
[49] Ali, R., Khan, M.Ch., 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.
[50] 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.
[51] 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.

Research Article

Evaluation of alveograph parameters and gluten proteins of triticale by using solvent retention capacity method (II)

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

1. Master student, Department of Food Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
2. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
3. Professor, Department of Food Science, 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) is the weight of solvent held by flour after centrifugation that expressed as percent of flour weight, on a 14% moisture basis. The combined pattern of the four SRC values establishes a practical flour quality and functionality profile. The SRC test is a relatively simple, economical and user-friendly method. SRC technology is based on energetics, not kinetics. Dough rheological tests, in contrast, are based on kinetics of dough development, use limited amounts of solvent, and give information on rates of network development. The purpose of this study was to evaluate the application of the SRC test in determining flour dough alveograph parameters 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 and flour dough characteristics of triticale. In this study, four supplemental diagnostic solvents of the SRC test, which have a better understanding of the quality of gluten polymers, including 55% ethanol solution (ETHSRC correlated with gliadin properties), 0.75% sodium dodecyl sulfate solution (SDS) (SDSSRC, correlated with glutenin macro polymers properties), 0.006% sodium metabisulfite solution (MBS) (correlated with gluten properties), as well as combination of SDS and MBS solutions (correlated with glutenin macro polymers and disulfide networks properties) were used. The results showed, triticale cultivars with superior physical grain quality produced flours with much superior physical, chemical and molecular properties than those triticale cultivars with poor grain quality. In the following, such flours, which due to their high quality polymers, could have higher SRC values for SRC solvents, ultimately produced a dough that was superior in terms of alveograph parameters than those triticale cultivars and as a result had better bakery quality.

Keywords: : **Quality of gluten polymers, Dough alveograph parameters, Supplemental diagnostic solvents, Solvent retention capacity.**

* Corresponding author: kadivar@iut.ac.ir