DOI: http://dx.doi.org/ 10.22104/JIFT.2019.3632.1871

فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره۷ ، شماره ۳، صفحه ۴۰۲-۳۷۹، بهار۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی روابط بین آزمون‌های ظرفیت نگه‌داری حلال و محتوای ساختارهای دوم و آمینواسیدهای آرد چاودم (۳)

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

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

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

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

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

(تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۴/۲۰، تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۳۱)

چکیده

ظرفیت نگه‌داری حلال آرد solvent retention capacity، به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای اندازه‌گیری خواص عملکردی هر جزء پلیمری آرد توسط لوئیس اسلید، در اواخر سال ۱۹۸۰، معرفی شد و بعدها توسعه یافت. مقادیر SRC به‌طور معنی‌داری با ترکیبات شیمیایی آرد، پارامترهای فارینوگرام و پخت نان همبستگی دارند. هدف از این پژوهش، ارزیابی روابط بین پروفیل‌های SRC و محتوای ساختارهای دوم و اسیدهای آمینه آرد ۱۲ رقم چاودم یا تریتیکاله هگزاپلوئید و مقایسه آن‌ها با گندم نان، گندم دوروم و چاودار، به‌عنوان ارقام نزدیک بود. در این تحقیق، از ۴ حلال اصلی آب دیونیزه، محلول اسیدلاکتیک ۵٪، محلول کربنات سدیم ۵٪، محلول ساکارز ۵۰٪ و ۴ حلال کمکی محلول اتانول ۵۵٪، محلول دودسیل سولفات سدیم ۰/۷۵٪، محلول متابی سولفیت سدیم ۰/۰۰۶٪ و مخلوط محلول SDS و MBS آزمون SRC استفاده شد. طبق نتایج به‌دست آمده، ارقام چاودمی که از کیفیت دانه بهتری برخوردار بودند، آردهایی تولید کردند که به‌لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دارای کیفیت نانوایی بسیار بالاتری نسبت به سایر ارقام بودند. خمیر آرد این ارقام، دارای ویژگی‌های رئولوژیکی بهتری نسبت به سایر ارقام بودند و پارامترهای کیفی آلوئوگرافی بسیار بهتری داشتند. چنین آردهایی دارای پیوندهای دی‌سولفیدی SS بیشتر و گروه‌های سولفیدریل SH کمتری نسبت به سایر ارقام بودند. این آردها به‌لحاظ محتوای اسیدهای آمینه سازنده گلوتن نیز غنی‌تر هستند؛ همچنین حاوی ساختارهای بتا شیت β-sheet غیرموازی و بتا ترن β-turn بیشتر و از ساختارهای آلفا هلیکس α-helixe کمتری برخوردار بودند. آردهای مذکور، ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری انواع حلال‌های اصلی و کمکی SRC دارند و همبستگی بالایی با پارامترهای مولکولی آرد از خود نشان دادند؛ بنابراین آزمون SRC به تنهایی در تعیین و تشخیص ارقام باکیفیت نانوایی برتر و در نتیجه به‌دست‌آوردن فرآورده باکیفیت، قابل استفاده و در سطح مولکولی نیز توجیه‌پذیر است.

کلیدواژه‌ها: ظرفیت نگه‌داری حلال، خواص عملکردی، ساختارهای آلفا هلیکس، ساختارهای بتا شیت، ساختارهای بتا ترن، اسیدهای آمینه آرد

* نویسنده مسئول: kadivar@iut.ac.ir

۱. مقدمه

ارزش غذایی دانه چاودم *Triticosecale* Wittmack بالاست، به‌طوری که دانه آن ۷۵٪ به‌جای ذرت و تا ۱۰۰٪ به جای گندم در جیره غذایی طیور استفاده می‌شود. به‌طور متوسط در هر ۱۰۰ گرم دانه چاودم حدود ۱۳/۰۵ گرم پروتئین وجود دارد و در مقایسه با سایر غلات، از پتاسیم، فسفر و منیزیم بیشتری برخوردار است [۱]. سبوس چاودم حاوی درصد بالایی از عناصر کلسیم، سدیم، آهن، روی و مس است. قابلیت هضم نشاسته دانه آن حدود ۹۶ تا ۹۹٪ گزارش شده است [۱]. همچنین میزان اسیدآمینه‌های لیزین Lysine و میتونین Methionine چاودم از گندم بیشتر است. برخی از ژنوتیپ‌های چاودم دارای محتوای نسبتاً بالایی از لیزین هستند که یک اسیدآمینه محدودکننده Limiting amino acid در غلات محسوب می‌شود. مقدار اسیدآمینه محدودکننده، در مقایسه با مقدار مورد نیاز برای سنتز پروتئین، در حدی است که به‌عنوان عاملی محدودکننده عمل می‌کند. این مزیت گیاه چاودم، می‌تواند باعث ارزش غذایی بالاتر آن نسبت به گندم شود. بر این اساس، برای افزایش این اسیدهای آمینه در گندم نان، می‌توان تا ۵۰٪ آرد آن را با گندم مخلوط کرد و یا این‌که از آرد آن در تهیه انواع نان، بیسکویت، پاستا، کیک و سایر فرآورده‌ها استفاده نمود [۱].

مطالعات مختلف به محتوا و ترکیبات پروتئین دانه ارقام مختلف چاودم پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، محتوای پروتئین چاودم ۱۳۱ ژنوتیپ کشت‌شده در آفریقای جنوبی در بازه ۱۶/۲ - ۷/۵٪ بود [۲]. محتوای پروتئین چاودم ۱۱ ژنوتیپ در دامنه ۱۴/۶ - ۱۰/۵٪ در محدوده‌ای شبیه به گندم بود [۳]. محدوده محتوای پروتئین دانه‌های چاودم ۹ ژنوتیپ در مطالعه دیگری ۱۵/۲ - ۱۱/۸٪ گزارش است. پس از آسیاب، محتوای پروتئین آرد حاصل‌شده در بازه ۱۳/۹ - ۹/۸٪ بود [۴]. مقادیر پروتئین چاودم در ۴ ژنوتیپ تقریباً مشابه ۱۳ - ۱۲/۷٪ بود. تفاوت ناچیزی از لحاظ محتوای پروتئین بین ژنوتیپ‌های چاودم جایگزین، جایگزین‌شدن کروموزوم 2R چاودار توسط کروموزوم 2D گندم، و ژنوتیپ‌های چاودم کامل، دارای همه کروموزوم‌های R از چاودار، مشاهده شده است [۵]. پروتئین چاودم تا حد زیادی تحت‌تأثیر محیط-کشت قرار می‌گیرد [۶]. چاودم نسبت به گندم، دارای نسبت کمتری از پروتئین در آندوسپرم است [۷]. پروتئین چاودم دارای نسبت‌های بالاتری از آلبومین ۳۸ تا ۴۵/۴٪ و گلوبولین ۱۹/۷ تا ۳۰/۲٪، گلیادین مشابه ۱۱/۴ تا ۲۶/۱٪ و نسبت پایین‌تری از گلوتنین ۶/۸ تا ۹/۶٪ و قسمت‌های باقی‌مانده، در مقایسه با پروتئین‌های گندم و چاودار است [۵]. چاودم جایگزین، دارای نسبت بالاتری از گلوتنین ۹/۴٪، نسبت به چاودم کامل ۷/۱٪ است [۸]. زمان مخلوط‌کردن میکسوگراف ۲/۷ min و ارتفاع رسوب SDS ۳۵/۵ mm چاودم، شبیه به گندم نرم و کمتر از گندم سخت بوده است [۷]. تجزیه و تحلیل‌های مولکولی ارتباط پروتئین بین چاودم و اجداد خود T، یعنی گندم دوروم و چاودار پیشنهاد می‌کند که چاودم با قدرت گلوتن بالا را می‌توان با انتخاب پدر و مادر با آلل‌های گلوتنین مناسب، تولید کرد [۹].

پروتئین یکی از اجزاء شیمیایی مهم آرد است که کمیت و کیفیت آن، از فاکتورهای اصلی و اولیه برای ارزیابی توانایی آرد، جهت تولید نان مطلوب محسوب می‌شود. فیفلد و همکاران با بررسی ارقام گوناگون گندم تولیدشده در سال‌های زراعی مختلف، دریافتند که بین پروتئین و حجم نان در محدوده ۸/۵ تا ۱۸٪ پروتئین، رابطه خطی برقرار است. گلوتن مهم‌ترین پروتئین آرد است که حدود ۸۰٪ پروتئین‌های آرد را تشکیل می‌دهد. آرد گندم، به دلیل دارا بودن گلوتن، از آرد سایر غلات متمایز است و تنها از آرد گندم می‌توان نان خوب تهیه کرد [۱۰]. فرایند تهیه نان، نه تنها از اهمیت ظاهری فراوانی برخوردار است، بلکه ویژگی‌های پیچیده گندم نانوایی را نیز نشان می‌دهد [۱۱]. به‌طور متداول، حجم قرص نان مهم‌ترین معیار، برای نان‌های حجیم است [۱۲]. خصوصیات رئولوژیکی مطلوب خمیر سفتی، ویژگی‌های اختلاط و جذب آب با رنگ و ظاهر قرص نان، مهم هستند. تعادل و واکنش بین ترکیبات مختلف آرد، مثل پروتئین‌ها، نشاسته، چربی، آب، پنتوزان‌ها و سایر ترکیبات، برای کیفیت تهیه نان بسیار مهم هستند [۱۳].

توانایی تجزیه و تحلیل ظرفیت عملکردی اختصاصی هر جزء پلیمری آرد، کاربران نهایی را به پیش‌بینی بهتر عملکرد کلی

آرد و به‌دست آوردن فرآورده باکیفیت بهینه، از طریق درک بهتر مکانیسم‌ها برای مخلوط‌کردن خمیر و پختن، سوق می‌دهد [۱۴]. در اواخر سال ۱۹۸۰، روش ظرفیت نگه‌داری حلال Solvent Retention Capacity، به‌عنوان ابزاری ارزشمند جهت اندازه‌گیری خواص عملکردی هر جزء پلیمری آرد، برای کاربردهای گندم نرم، توسط لوئیس اسلید در نابیسکو شکل گرفت و بعدها توسعه یافت [۱۵]. مقادیر SRC به‌طور معنی‌داری با انواع ترکیبات شیمیایی آرد، پارامترهای فارینوگرام و سایر ابزار سنجش رئولوژی خمیر و پارامترهای پخت نان و سایر فرآورده‌های نانوایی همبستگی دارند [۱۶]. کار و همکاران طی یک بررسی مولکولی، ارتباطات ظرفیت نگه‌داری حلال آرد، ساختار دوم پروتئین و خواص رئولوژیکی با ویژگی‌های تولید کوکی Cookie ارقام گندم را مورد بررسی قرار دادند. کوکی یکی از انواع فرآورده‌های نانوایی bakery products است که به‌طور معمول کوچک، صاف و شیرین است و معمولاً حاوی آرد، قند و نوعی روغن یا چربی است. انواع کوکی‌ها ممکن است شامل مواد دیگری مانند کشمش، جو، شکلات و آجیل باشند. ارقام کوکی، دارای نسبت بالاتری از بتا شیت‌های درون‌مولکولی و بتا شیت‌های غیرموازی و آلفا هلیکس‌های α-helixe کمتر، قدرت گلوتن بیشتری داشتند. به‌طور کلی، ساختارهای آلفا هلیکس ساختارهای اصلی در گلوتن خالص و گلیادین‌ها هستند، در حالی که ساختارهای بتا شیت غیرموازی، ساختارهای اصلی در گلوتنین‌ها محسوب می‌شوند و در واقع گلوتنین‌ها عامل اصلی در قدرت گلوتن محسوب می‌شوند. وزن هزار دانه و قطر کوکی، به‌طور مثبتی با نسبت ذرات ریز و فاکتور پخش شوندگی کوکی و به‌طور منفی با سختی دانه و SRC کربنات سدیم ارتباط داشتند. با افزایش ذرات ریز آرد، فاکتور پخش شوندگی کوکی افزایش یافت، اما SRC سدیم‌کربنات و ثبات خمیر کاهش یافت. مقاومت در برابر شکستن کوکی‌ها به‌طور مثبت با SRC لاکتیک اسید، مقاومت خمیر، زمان اوج میکسوگراف، حجم رسوب SDS، G' مدول ذخیره Storage modulus و G'' مدول اتلاف Loss modulus در ارتباط بود. آزمون‌های نوسانی یکی از مناسب‌ترین آزمون‌ها، برای ارزیابی خصوصیات رئولوژیکی مواد ویسکوالاستیک مانند خمیر نان هستند. دو پارامتر G' و G'' از جمله خصوصیات رئولوژیکی بنیادی خمیر هستند و به این صورت ماهیت ماده ویسکوالاستیک ارزیابی می‌شود. خصوصیت الاستیک یا توانایی مواد برای ذخیره انرژی با مدول ذخیره G' و خصوصیت ویسکوز یا توانایی مواد برای ازبین‌بردن انرژی با مدول اتلاف G'' اندازه‌گیری می‌شوند. در ادامه، SRC کربنات سدیم و سختی دانه به‌شدت در ارتباط بودند. شاخص عملکرد گلوتن همبستگی مثبت قوی با مقدار رسوب، مقاومت خمیر، G' و G'' نشان داد. جذب آب دارای رابطه مثبت و معنی‌داری با SRC ساکارز و SRC لاکتیک اسید بود. ارقام سخت‌دانه‌تر، میزان بیشتری ذرات درشت در آرد تولید کردند که SRC کربنات سدیم بالاتر و فاکتور پخش‌شوندگی پایین‌تری برای کوکی ایجاد کردند [۱۷].

هدف از این مطالعه، ارزیابی روابط بین پروفیل‌های آزمون ریز مقیاس ظرفیت نگه‌داری حلال scaled down version و محتوای ساختارهای دوم و آمینواسیدهای آرد ۱۲ رقم چاودم هگزاپلوئید، به‌عنوان غله 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 شاهد بود. درنهایت، ضرایب همبستگی بین انواع ویژگی‌های دانه و آرد فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و مولکولی چاودم‌ها نیز تعیین شدند.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. تهیه انواع ارقام

ده رقم چاودم: لاسکو ۱، لاسکو ۲، پرگو ۱، پرگو ۲، آلاموس ۸۳، پرستو، مورنو، النور، زورو و شیراز، اهدائی احمد ارزانی، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه صنعتی اصفهان و ۲ رقم چاودم جوانیلو و سناباد، اهدایی محسن اسماعیل‌زاده مؤسسه 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، به منظور تولید آرد، براساس میزان

سختی، مشروط شدند. سپس نمونه‌ها توسط آسیاب والسی آزمایشگاهی، آسیاب شدند. آردهای حاصل‌شده از هر کدام از ارقام مذکور، به‌طور جداگانه درون پلاستیک‌های زیپ‌دار در یخچال تحت دمای C° ۴ نگه‌داری شدند؛ سپس بر روی نمونه‌آرد تمامی ارقام، آزمون‌های فیزیکی، شیمیایی، مولکولی، ظرفیت نگه‌داری حلال SRC و در نهایت آزمون آلوئوگرافی انجام شدند [۱۸].

کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش، شامل: تولوئن، دودسیل سولفات سدیم، اسیدلاکتیک، هیدرو کسیدپتاسیم، اسید کلریدریک، کریستال ید، یدید پتاسیم، آمیلوز خالص، اسید بوریک، تیوسولفات سدیم، آهن (۳) کلرید، اورسینول، اتانول، زایلوز خالص، سولفوریک اسید، آلفا آمیلازقارچی،استات سدیم، فرولیک اسید خالص،کربنات سدیم، متابی سولفیت سدیم، ساکارز، تریس، گلایسین، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید، اوره، گوانیدین هیدروکلراید، ۵ و ۵- دی تیوبیس ۲- نیتروبنزوئیک اسید، تری کلرواستیک اسید و کلرید پتاسیم، از شرکت مرک Merck آلمان خریداری شدند.

۲.۲. آزمون‌های دانه و آرد

۲.۲.۱. آزمون‌های دانه

محتوای رطوبت، چگالی‌ویژه، ویژگی‌های رنگی، ابعاد دانه، وزن هزاردانه، وزن هکتولیتر، سختی دانه و درجه استحصال آرد دانه‌های انواع ارقام، طبق روش‌های شرح داده شده در مقاله [۱۸] تعیین شدند.

۲.۲.۲. آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی آرد

محتوای رطوبت، اندازه ذرات، رنگ‌سنجی، عدد فالینگ، میزان پروتئین، رسوب زلنی و حجم نان، میزان خاکستر، گلوتن مرطوب، گلوتن خشک و شاخص گلوتن، جذب آب WAC و جذب روغن OAC، رسوب سدیم دودسیل سولفات SDS، میزان آمیلوز، محتوای نشاسته آسیب‌دیده، میزان پنتوزان‌های محلول در آب، میزان فرولیک اسید، میزان گروه‌های سولفیدریل و پیوندهای دی‌سولفیدی آرد انواع ارقام طبق روش‌های شرح داده شده در مقاله [۱۸] تعیین شدند.

۲.۲.۳. آزمون آلوئوگرافی

آزمون آلوئوگرافی آرد انواع ارقام با استفاده از دستگاه آلوئولب Alveolab ساخت شرکت شوپن فرانسه، طبق روش شرح داده شده در مقاله[۱۹]، انجام شد.

۲.۲.۴. آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال‌های اصلی و کمکی (SRC)

آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال آرد انواع ارقام طبق روش شرح داده شده در مقاله [۱۸] انجام شد. در این تحقیق، از حلال‌های 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 نشاسته آسیب‌دیده و محلول ساکارز ۵۰٪ همبسته با ویژگی‌های آرابینوزایلان‌ها، و حلال‌های کمکی آزمون SRC 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 به صورت مخلوط با یکدیگر همبسته با ویژگی‌های ماکروپلی‌مرهای گلوتنین‌ها و شبکه دی‌سولفیدی استفاده شد.

شاخص عملکرد گلوتن Gluten Performance Index که شاخص بهتری برای پیش‌بینی عملکرد کلی گلوتنین‌ها در آرد است، با استفاده از معادله ۱، محاسبه شد [۱۸، ۱۹].

$$GPI = LASRC / (SuSRC + SCSRC) \quad (1)$$

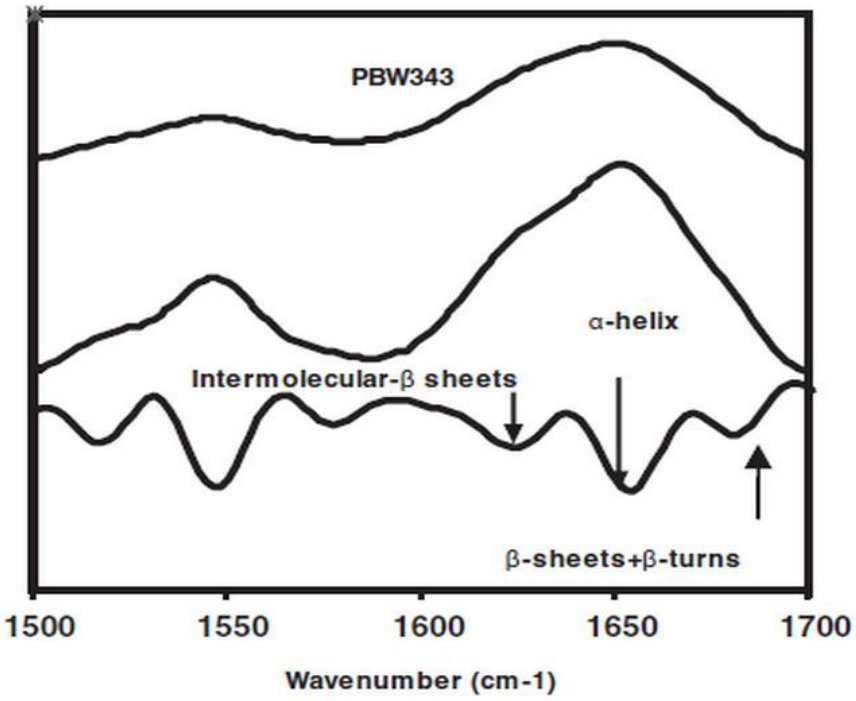
۲.۲.۵. طیف‌سنجی تبدیل فوری مادون قرمز (FTIR)

طیف‌سنجی تبدیل فوری مادون قرمز (FTIR) روشی است که محققان برای تعیین ساختار مولکول‌ها از آن استفاده می‌کنند. هر پیوند بین دو مولکول، در هر ترکیبی، دارای فرکانس ارتعاشی منحصربه‌فرد و طبیعی است و چون هر پیوند در یک ترکیب دارای محیط‌های متفاوتی است،

بنابراین دو مولکول با ساختار متفاوت، دارای جذب مادون قرمز متفاوتی خواهند بود؛ از این خاصیت می‌توان در جهت شناسایی ترکیبات استفاده کرد. محتوای ساختارهای ثانویه آردهای ارقام مختلف طبق روش کار و همکاران، با استفاده از دستگاه FTIR ساخت کشور کانادا بررسی شدند [۱۷].

طول موج 1600-1636 cm^{-1} برای Intermolecular-β-sheets+antiparallel-β-sheets، 1636-1667 cm^{-1} برای α-helix و 1667-1694 cm^{-1} برای β-turn+ β-sheet structure (شکل ۱).

از نرم‌افزارهای امنیک OMNIC و اکسل Excel برای محاسبه درصد هر یک از ساختارهای دوم استفاده شد. پس از آنالیز طیف‌های به‌دست آمده و پیداکردن محل پیک‌های موردنظر در هرنمونه، با استفاده از نرم‌افزارهای بیان‌شده، نتایج ازطریق به‌دست‌آوردن سطح زیر پیک‌ها به روش ذوزنقه‌ای در نرم‌افزار اکسل، به‌صورت کمّی در آمدند و به درصد گزارش شدند.



شکل (۱) طیف FTIR آرد (۱۷۰۰-۱۵۰۰ cm^{-1})

Fig (1) FTIR spectra of flour (1500–1700 cm^{-1})

۲.۲.۶. مقدار و ترکیب اسیدهای آمینه

جهت اندازه‌گیری مقدار اسیدهای آمینه، مقدار ۰/۱ gr نمونه وزن و داخل فالکون ریخته شد. سپس با ۱۰ ml اسید هیدروکلریدریک ۶ N مخلوط یا ورتکس شد. سپس به‌مدت ۰/۵ h در فریزر قرار داده شد؛ سپس گاز ازت جهت خروج اکسیژن، به آن وارد شد. نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ h در داخل آون ۱۱۰ C° قرار داده شدند و پس از طی مدت مذکور، با استفاده از کاغذ صافی، چندبار صاف شدند و بعد با دستگاه تبخیرکننده دوّار، اسید آن تبخیر شد. در ادامه، ۲ ml بافر تهیه شده با HCl و KCl، pH = ۲/۲ به آن اضافه و رسوب در آن به خوبی حل شد. نمونه با استفاده از فیلتر سرنگی ۰/۲۲ µm کاملاً صاف شد. جهت اندازه‌گیری مقدار آمینواسیدها نیز از دستگاه اندازه‌گیری آمینواسید مدل A200، ساخت شرکت کناور آلمان استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا دستگاه با آمینو اسیدهای استاندارد کالیبره شد که اساس اندازه‌گیری روش مور و استین بود. با بهره از ستون کروماتوگرافی و

جداسازی بر روی ستون، با استفاده از pH، pH بافرها و دمای ستون انجام گرفت. بعد از خروج آمینواسیدها از ستون، با نایِن هیدرین در دمای C° ۱۰۰ تا ۱۳۰ واکنش داده، سپس در طول موج nm ۵۷۰ آنالیز شد. به کمک منحنی کالیبراسیون که توسط نمونه‌های استاندارد به‌دست آمده، مقدار اسیدهای آمینه نیز اندازه‌گیری شد [۲۰].

۲.۲.۷. تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق، تجزیه و تحلیل نتایج، در قالب طرح کاملاً 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 درصد استفاده شد. برای بررسی ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف، از ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲، در دو سطح احتمال ۱ و ۵ درصد 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 شد، تا شرایط برای تمامی نمونه‌ها یکسان باشد. کلیه آزمون‌ها به جز آزمون‌های مولکولی، با سه بار تکرار انجام شدند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. بررسی ویژگی‌های ترکیبات برخی از آمینواسیدهای آرد انواع ارقام

در این پژوهش، ۱۶ اسیدآمینه شناسایی شدند که به ترتیب شامل آسپارژین Asp، ترئونین Thr، سرین Ser، گلوتامین Glu، پرولین Pro، گلایسین Gly، آلانین Ala، والین Val، متیونین Met، ایزولوسین Ile، لوسین Leu، تیروزین Tyr، فنیل آلانین Phe، هیستیدین His، لایزین Lys و آرژینین Arg بودند. محتوای هر یک از اسیدهای آمینه در بین این ۱۶ اسید آمینه، در جدول (۱) ارائه‌شده است.

اسید آمینه‌های پرولین، گلایسین، آلانین، والین،متیونین ایزولوسین و لوسین در گروه اسیدآمینه‌های غیرقطبی non-polar amino acids قرار دارند. تیروزین و فنیل آلانین در گروه اسیدآمینه‌های دارای گروه جانبی، حلقه آروماتیک aromatic amino acids دارند. آسپارژین، ترئونین، سرین و گلوتامین در گروه اسیدآمینه‌های قطبی polar amino acids و هیستیدین، لیزین و آرژینین نیز در گروه اسیدآمینه‌های دارای گروه جانبی، با بار مثبت positively charged amino acids قرار دارند.

زیر واحدهای گلوتن با وزن مولکولی بالا high molecular weight subunits از زیرواحدهای با وزن مولکولی پایین low molecular weight subunits، به‌دلیل ترکیبات اسیدهای آمینه‌شان متفاوت‌اند، زیرا آن‌ها مقادیر بالاتری گلایسین و تیروزین و مقادیر کمتری اسیدهای آمینه سولفوره، والین، ایزولوسین، لوسین و فنیل آلانین دارند. اسیدهای آمینه سیستئین نقش مهمی در ساختار گلیادین و گلوتنین‌ها بازی می‌کنند، به‌طوری که در تشکیل پیوندهای دی‌سولفید یک پلی‌پپتید پیوندهای دی‌سولفید درون زنجیری یا ساختارهای بین پلی‌پپتیدهای مختلف، پیوندهای دی‌سولفید بین زنجیری دخالت دارند. میزان اسید آمینه‌های لیزین و میتونین چاودم از گندم بیشتر است. برخی از ژنوتیپ‌های چاودم، دارای مقدار نسبتاً بالایی از لیزین هستند که یک اسیدآمینه محدودکننده در غلات محسوب می‌شود [۸، ۲۱]. نتایج حاصل از این پژوهش، به‌خوبی مطالب بیان‌شده را تصدیق نمود و ارقامی که آرد و خمیر آن‌ها در مراحل قبلی از کیفیت بالای پروتئین‌های گلوتن برخوردار بودند، به‌لحاظ محتوای اسیدهای آمینه که نقش بسیار مهمی در کیفیت نانوایی آرد دارند، غنی‌تر بودند و بیشتر محتوی اسیدهای آمینه گلوتامین، تیروزین، گلایسین، ترئونین و سرین و کمتر حاوی اسیدهای آمینه فنیل آلانین، آلانین، ایزولوسین، لوسین، والین، پرولین، هیستیدین و آرژینین بودند. در این پژوهش، این آزمون به علت هزینه بسیار بالا، با یک تکرار انجام شد.

اکثر اسیدهای آمینه در پروتئین‌ها زنجیرهای جانبی غیرقطبی دارند. پروتئین‌های گلوتنی، برعکس پروتئین‌های غیرگلوتنی حلالیت بسیار کمی در آب یا محلول‌های نمکی رقیق نشان می‌دهند. این حلالیت پایین، به‌دلیل مقادیر زیاد اسیدهای آمینه غیرقطبی و گلوتامین و مقادیر پایین

اسیدهای آمینه باردار با زنجیره جانبی، قابل یونیزه است. ثابت شده که حل‌کردن کامل پروتئین‌های گلوتن، بدون ایجاد تغییر در ساختار ذاتی آن‌ها غیرممکن است. اوزان مولکولی این پروتئین‌ها از ۳۰۰۰۰ تا بیش از ۱۰ میلیون است. پلی‌پپتیدهای گلوتن به دلیل این‌که دارای مقدار فراوانی اسیدهای آمینه با زنجیرهای جانبی هیدروفوبیک هستند، از پتانسیل بالایی برای انجام واکنش‌های متقابل هیدروفوبی، برخوردارند. حضور مقادیر بالای گلوتامین و آسپاراژین نیز پتانسیل ایجاد ساختارهای هیدروژنی را فراهم می‌کنند، به ویژه که گروه‌های آمیدی زنجیرهای جانبی این دو اسیدآمینه، می‌توانند همزمان به‌عنوان الکترون‌دهنده و گیرنده عمل کنند [۲۱].

ارقام چاودم شامل آلاموس ۸۳، زورو، پرستو، شیراز و جوانیلو که از بالاترین کیفیت نانوایی برخوردار بودند و صفاتی نزدیک به رقم گندم سیروان داشتند از محتوای بالاتری از اسیدهای آمینه آسپارژین، گلوتامین، تیروزین، گلایسین، ترئونین و سرین برخوردار بودند. دو رقم چاودم سناباد و النور که از کیفیت نانوایی متوسطی برخوردار بودند و بیشتر رفتاری شبیه رقم گندم اوستا ـ گاتا داشتند و در نهایت ارقام چاودم، شامل: پرگو ۱، پرگو ۲، لاسکو ۲، مورنو و لاسکو ۱ که از پایین‌ترین کیفیت نانوایی برخوردار بودند و صفاتی نزدیک به رقم چاودار از خود نشان دادند از محتوای کمتری از اسیدهای آمینه سازنده گلوتن برخوردار بودند.

طبق نتایج به‌دست آمده، بین محتوای آسپارژین و فنیل آلانین همبستگی منفی معنی‌داری (*۰/۷۰۵-) وجود داشت. آردهایی که محتوای آسپارژین کمتری داشتند، دارای محتوای فنیل‌آلانین بیشتری بودند. محتوای ترئونین با محتوای گلایسین (*۰/۶۲۲)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود، ولی با محتوای آلانین (**۰/۷۷۵-)، والین (*۰/۶۶۸-) و لایزین (*۰/۵۹۱-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت. آردهای دارای محتوای ترئونین بالاتر، محتوای گلایسین بالاتری هم داشتند، ولی دارای محتواهای کمتری از آلانین، والین و لایزین بودند. محتوای سرین با محتوای پرولین (*۰/۶۴۳-)، هیستیدین (*۰/۵۸۹-) و آرژینین (**۰/۹۳۸-)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود. در واقع آردهای دارای محتوای سرین بیشتر، دارای محتوای پرولین، هیستیدین و آرژینین کمتری هم بودند. محتوای گلوتامین با فنیل‌آلانین (*۰/۶۴۱-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت در صورتی که با محتوای لوسین (*۰/۶۰۰)، ارتباط معنی‌داری داشت. آردهای دارای محتوای گلوتامین بالاتر، دارای محتوای فنیل آلانین کمتر و محتوای لوسین بیشتری هم بودند. محتوای پرولین با محتوای هیستیدین (**۰/۹۴۳)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود. آردهای دارای محتوای پرولین بیشتر، دارای محتوای هیستیدین بیشتری هم بودند. محتوای گلایسین با آلانین (**۰/۸۰۴-)، والین (**۰/۷۴۲-)، لوسین (*۰/۶۰۶-) و ایزولوسین (**۰/۷۹۱-)، ارتباط منفی معنی‌داری داشت. آردهای دارای محتوای گلایسین بیشتر، از محتوای آلانین، والین، لوسین و ایزولوسین کمتری نیز برخوردار بودند. همچنین، محتوای آلانین با والین (**۰/۸۰۳)، لوسین (**۰/۷۶۵) و ایزولوسین (**۰/۸۶۶)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود. آردهای دارای محتوای آلانین بیشتر، از محتوای والین، لوسین و ایزولوسین بیشتری نیز برخوردار بودند. محتوای والین با محتوای لوسین (**۰/۸۴۲) و ایزولوسین (**۰/۸۵۹)، ارتباط معنی‌داری داشت. آردهای دارای محتوای والین بیشتر، دارای محتوای لوسین و ایزولوسین بیشتری هم بودند. در نهایت، بین محتوای ایزولوسین و محتوای لوسین (**۰/۹۰۵)، همبستگی معنی‌داری وجود داشت. آردهای دارای محتوای ایزولوسین بیشتر، از محتوای لوسین بیشتری نیز برخوردار بودند. تمامی همبستگی‌های بیان‌شده، به‌علت ترکیب ذاتی آمینو اسیدی پروتئین‌های سازنده گلوتن آرد است که برخی از آن‌ها بیشتر در تشکیل گلیادین‌ها و برخی بیشتر در تشکیل گلوتنین‌ها دخالت دارند و نقش ایفا می‌کنند. نتایج ویژگی‌های ترکیبات برخی از آمینواسیدهای آرد در همه ارقام چاودم و خویشاوندان نزدیک با نتایج گزارش‌شده توسط زوبر و همکاران، سیموندز و همکاران همخوانی داشت [۲۲، ۲۳].

جدول (۱) نتایج ویژگی‌های ترکیبات برخی از آمینواسیدهای آرد انواع ارقام چاودم به‌همراه یک رقم از هر کدام گندم نان، گندم دوروم و چاودار (شاهد)

Table (1) Results of flour amino acids compound characteristics of the triticale cultivars with one cultivar of wheat, durum wheat and rye (control)

رقم Cultivar	گندم سیروان Sirvan wheat	آلاموس ۸۳ Alamos 83	زورو Zorro	پرستو Presto	شیراز Shiraz	جوانیلو Javanilo	گندم دوروم Osta - gata	سناباد Sanabad	النور Eleanor	پرگو ۱ Prego 1	پرگو ۲ Prego 2	لاسکو ۲ Lasko 2	مورنو Moreno	لاسکو ۱ Lasko 1	چاودار Rye
آسپارژین Asp	5.57	7.52	7.01	7.44	8.21	7.30	7.77	6.71	7.22	8.35	7.71	7.22	7.35	8.20	8.36
ترئونین Thr	1.06	1.35	1.07	1.79	1.10	1.16	1.68	1.02	1.84	1.91	1.19	1.05	1.44	1.00	1.61
سرین Ser	0.85	1.00	0.86	1.09	0.94	0.94	1.06	0.80	1.03	۰	0.86	0.79	0.86	0.81	1.00
گلوتامین Glu	42.84	42.24	36.93	36.37	40.52	39.09	38.97	36.76	38.98	37.74	38.08	36.53	37.62	38.27	36.18
پرولین Pro	0.28	0.52	0.45	0.68	0.44	0.34	0.39	0.53	0.55	1.55	1.58	0.84	0.69	0.49	0.64
گلایسین Gly	8.08	8.13	8.56	9.15	8.06	7.99	8.01	8.17	8.28	8.62	7.40	8.06	8.34	7.64	8.35
آلانین Ala	2.75	3.50	3.12	3.07	3.60	3.74	3.85	3.51	2.96	2.98	3.70	3.46	3.41	3.87	3.78
والین Val	6.63	6.67	6.49	6.06	7.02	6.93	6.54	6.51	6.30	6.19	6.80	6.34	6.07	7.11	6.06
متیونین Met	1.83	1.89	1.65	1.69	1.76	1.93	1.84	1.73	1.93	2.02	1.60	1.74	1.71	1.81	1.82
ایزولوسین Ile	1.59	1.73	1.45	1.48	1.76	1.89	1.70	1.66	1.54	1.45	1.84	1.57	1.50	1.76	1.60
لوسین Leu	6.59	6.68	6.13	6.13	6.95	6.91	6.55	6.47	6.17	5.64	6.72	5.99	6.09	6.57	5.82
تیروزین Tyr	2.60	2.69	2.60	2.75	2.73	2.58	2.69	2.53	2.67	2.54	2.39	2.28	2.57	2.51	2.19
فنیل آلانین Phe	9.66	5.98	10.26	11.71	6.02	8.06	7.48	12.05	10.33	5.02	5.17	13.18	12.07	8.54	11.78
هیستیدین His	2.74	2.39	2.92	2.82	2.47	2.43	2.65	2.71	2.94	5.85	6.53	2.53	2.61	2.47	2.51
لایزین Lys	2.72	3.19	5.63	3.34	3.65	3.79	4.10	3.69	3.03	3.02	3.94	3.34	3.41	4.39	3.94
آرژینین Arg	4.19	4.50	4.87	4.44	4.77	4.91	4.71	5.15	4.23	7.13	4.50	5.08	4.28	4.57	4.38

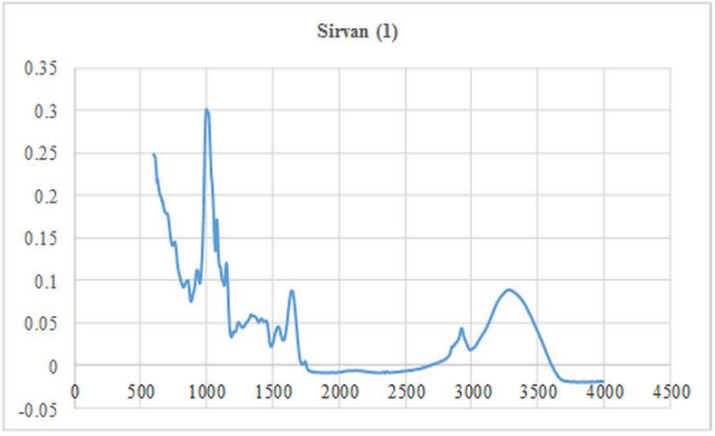
۳.۲. بررسی ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام

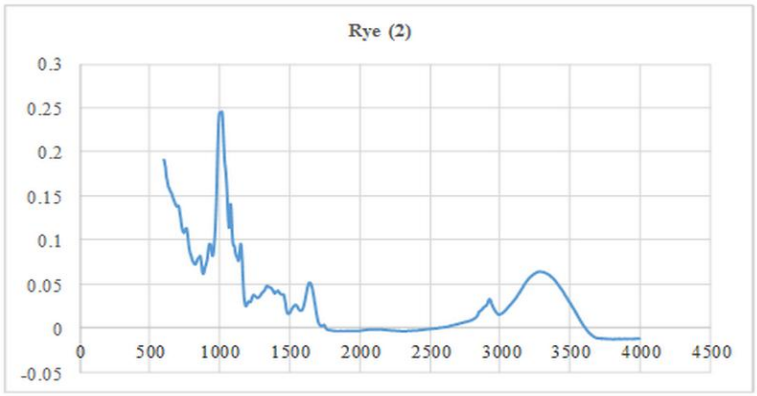
طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، آرد ارقام مختلف دارای نسبت بالاتری از ساختارهای بتا شیت غیرموازی و نسبت پایین‌تری از ساختارهای آلفا هلیکس، از قدرت گلوتن بیشتری برخوردار بودند و در نتیجه کیفیت نانوایی بهتری داشتند؛ زیرا ساختارهای آلفا هلیکس، ساختارهای اصلی در گلوتن خالص و گلیادین‌ها هستند، در حالی که ساختارهای بتا شیت غیرموازی، ساختارهای اصلی در گلوتنین‌ها محسوب می‌شوند و در واقع گلوتنین‌ها عامل اصلی در قدرت گلوتن آرد محسوب می‌شوند (شکل ۲ و جدول ۲). دامنه‌های مربوط به ساختارهای دوم پروتئین آرد در جدول (۲) ارائه شده است. در این پژوهش، این آزمون به علت هزینه بالا، در یک تکرار انجام شد.

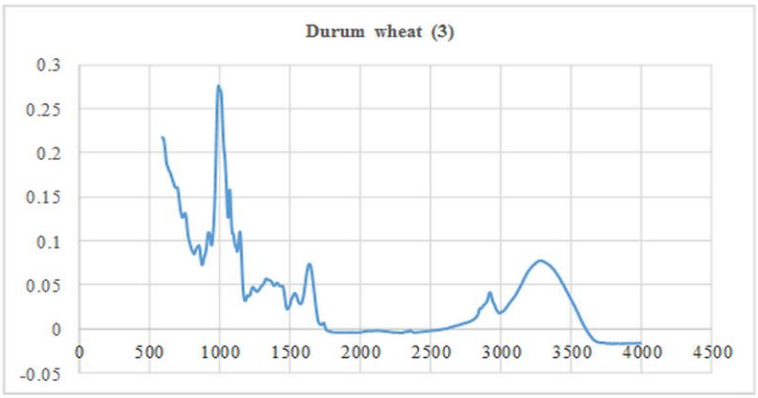
ارقام چاودم شامل آلاموس ۸۳، زورو، پرستو، شیراز و جوانیلو که از بالاترین کیفیت نانوایی برخوردار بودند و صفاتی نزدیک به رقم گندم سیروان داشتند، حاوی ساختارهای بتا شیت غیرموازی و بتا ترن بیشتر و از ساختارهای آلفا هلیکس کمتری برخوردار بودند. دو رقم چاودم سناباد و النور نیز از کیفیت نانوایی متوسطی برخوردار بودند و بیشتر رفتاری شبیه رقم گندم اوستا - گاتا داشتند؛ و در نهایت ارقام چاودم شامل پرگو ۱، پرگو ۲، لاسکو ۲، مورنو و لاسکو ۱ که از پایین‌ترین کیفیت نانوایی برخوردار بودند و صفاتی نزدیک به رقم چاودار از خود نشان دادند، از ساختارهای بتا شیت غیرموازی و بتا ترن کمتر، ولی حاوی ساختارهای آلفا هلیکس بیشتری بودند.

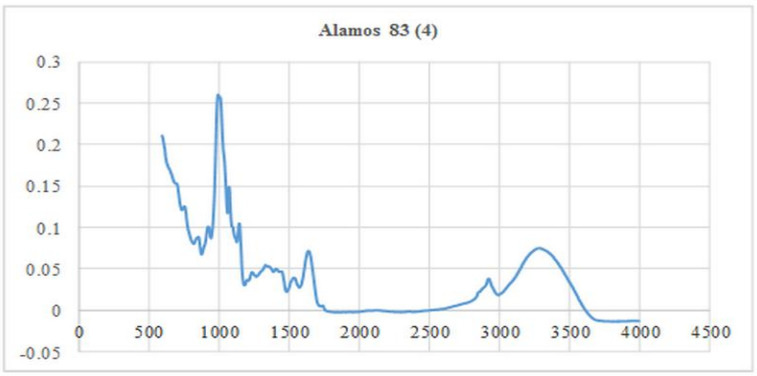
طبق نتایج به‌دست آمده، بین ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم، محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس، همبستگی منفی معنی‌داری (**۰/۹۹۲-) داشتند. آرد ارقام چاودم دارای محتوای بالاتری از ساختارهای بتا شیت غیرموازی، محتوای ساختارهای آلفا هلیکس کمتری داشتند، زیرا همان‌طور که بیان شد، هر کدام از این دو نوع ساختار در پلیمرهای پروتئینی جداگانه‌ای نقش ایفا می‌کنند به‌طوری که ساختارهای بتا شیت غیرموازی در پلیمرهای گلوتنین‌ها و ساختارهای آلفا هلیکس در گلیادین‌ها نقش دارند؛ در واقع پلیمرهای گلوتنین‌ها نقش اصلی و عمده را در کیفیت نانوایی گلوتن آرد ایفا می‌کنند.

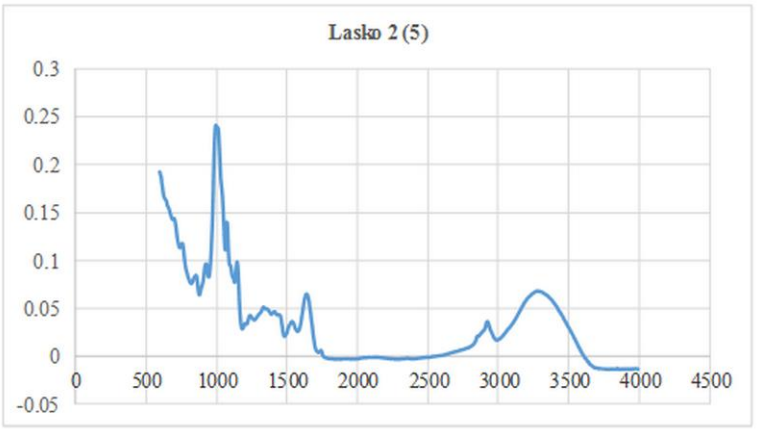
طیف FTIR مربوط به ۶ نوع از انواع آرد مورد مطالعه ارائه شد (شکل ۲). نتایج به‌دست آمده ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین در آرد انواع ارقام با نتایج گزارش-شده توسط کار و همکاران، میزرا و همکاران، وانگ و همکاران و کوآ و همکاران، هماهنگی داشتند [۱۷، ۲۴، ۲۵ و ۲۶].

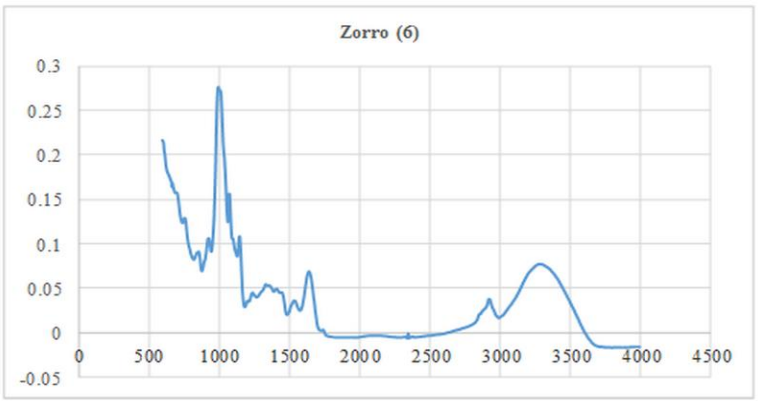



Rye (2)
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500


Durum wheat (3)
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500


Alamos 83 (4)
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500


Lasko 2 (5)
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500



شکل (۲) طیف FTIR مربوط به ۶ نوع از انواع آرد مورد مطالعه (cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰)

Fig (2) FTIR spectra for 6 types of flour studied (400-4000 cm-1)

جدول (۲) نتایج ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم به‌همراه یک رقم از هرکدام گندم نان، گندم دوروم و چاودار (شاهد)

Table (2) Results of flour protein secondary structures of the triticale cultivars with one cultivar of wheat, durum wheat and rye (control)

رقم Cultivar	ساختارهای بتا شیت غیرموازی (٪) Anti-parallel β-sheets	ساختارهای آلفا هلیکس (٪) α-helixes	ساختارهای بتا ترن (٪) β-turns
گندم سیروان	33.97	49.32	16.71
آلاموس ۸۳	34.75	49.82	15.43
زورو	35.07	50.04	14.89
پرستو	35.47	50.51	14.02
شیراز	34.98	50.02	14.99
جوانیلو	34.80	50.59	14.61
گندم دوروم	29.38	56.27	14.35
سناباد	29.65	56.91	13.43
النور	35.91	50.18	13.91
پرگو ۱	29.29	55.98	14.73
پرگو ۲	29.28	56.11	14.60
لاسکو ۲	23.80	62.12	14.08
مورنو	29.49	56.49	14.02
لاسکو ۱	29.47	56.36	14.16
چاودار	24.11	62.85	13.04

۳.۳. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ترکیبات آمینواسیدهای آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، بین رطوبت دانه و محتوای آسپارژین (*۰/۵۹۰-)، همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. دانه‌های ارقام چاودم دارای رطوبت کمتر که دارای کیفیت بالاتری بودند، محتوای آسپارژین بالاتری داشتند. بین شاخص رنگ a* دانه و محتوای هیستیدین (*۰/۶۶۱)، ارتباط معنی‌داری وجود داشت. دانه‌های ارقام چاودم دارای رنگ قرمز بیشتر که دارای کیفیت بالاتری بودند، محتوای هیستیدین بالاتری داشتند. شاخص رنگ b* دانه با محتوای هیستیدین (**۰/۸۸۶) و پرولین (**۰/۸۷۲)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود. دانه‌های ارقام چاودم دارای رنگ زرد بیشتر که دارای کیفیت بالاتری بودند، محتوای هیستیدین و پرولین بالاتری داشتند.

همچنین، وزن هزاردانه و محتوای تیروزین (*۰/۶۹۶)، طول دانه و محتوای تیروزین (**۰/۷۱۵)، ضخامت دانه و محتوای تیروزین (*۰/۶۳۱) و سختی دانه و محتوای تیروزین (*۰/۶۰۱)، به‌طور معنی‌داری همبسته بودند. دانه‌های ارقام چاودم دارای وزن هزاردانه، طول دانه، ضخامت دانه و سختی دانه بیشتر و البته باکیفیت‌تر بودند، اسیدآمینه تیروزین بیشتری داشتند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که دانه‌های آن‌ها دارای ویژگی‌های کیفی فیزیکی بهتری بودند، آردهایی با ویژگی‌های کیفی فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی بهتری تولید کردند که از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال‌های اصلی و کمکی برخوردار بودند و همچنین شاخص عملکرد گلوتن بالاتری داشتند و از نظر ترکیبات آمینواسیدهای مهم در کیفیت آرد غنی‌تر بودند.

جدول (۳) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ترکیبات آمینواسیدهای آرد انواع ارقام چاودم

Table (3) Pearson correlation coefficients between grain characteristics and flour amino acids compound of the triticale cultivar

ویژگی‌ها Characteristics	رطوبت Moisture	شاخص قرمزی a^*-value	شاخص زردی b^*-value	وزن هزاردانه Thousand kernel weight	طول دانه Length	ضخامت دانه Diameter	سختی دانه Hardness index
آسپارژین Asp	-0.590*						
هیستیدین His		0.661*	0.886**				
پرولین Pro			0.872**				
تیروزین Tyr				0.696*	0.715**	0.631*	0.601*

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

۳.۴. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۴، رطوبت دانه و محتوای ساختارهای بتا ترن (**۰/۷۱۰-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشتند. دانه‌های ارقام چاودم که رطوبت کمتری داشتند و دارای کیفیت بهتری بودند، محتوای ساختارهای بتا ترن بیشتری داشتند. بین شاخص رنگ L^* دانه با محتوای

ساختارهای بتا شیت غیرموازی (**۰/۷۴۱-)، همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت، ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (**۰/۷۶۵)، ارتباط معنی‌داری مشهود بود. دانه‌های ارقام چاودم که رنگ روشن‌تر و کیفیت کمتری داشتند، دارای محتوای پایین‌تری از ساختارهای بتا شیت غیرموازی و محتوای بالاتری از ساختارهای آلفا هلیکس بودند.

وزن هزار دانه، طول دانه، ضخامت دانه و سختی دانه با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (**۰/۸۰۳، **۰/۸۴۵، **۰/۷۲۲ و **۰/۷۰۱)، ارتباط معنی‌داری داشتند، در صورتی که با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (**۰/۸۰۶-، **۰/۸۳۳-، **۰/۷۲۰- و **۰/۷۳۳-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشتند. دانه‌های ارقام چاودم که دارای وزن هزاردانه، طول دانه، ضخامت دانه و سختی دانه بیشتری بودند و کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای بالاتری از ساختارهای بتا شیت غیرموازی و محتوای پایین‌تری از ساختارهای آلفا هلیکس بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که دانه‌های آن‌ها ویژگی‌های کیفی فیزیکی بهتری داشتند، آردهایی با ویژگی‌های کیفی فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی بهتری تولید کردند که از ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال‌های اصلی و کمکی برخوردار بودند و همچنین شاخص عملکرد گلوتن بالاتری داشتند و از نظر ترکیبات آمینواسیدهای مهم در کیفیت آرد غنی‌تر بودند و از ساختارهای بتا شیت غیرموازی بیشتر و ساختارهای آلفا هلیکس کمتری برخوردار بودند.

جدول (۴) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های دانه و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

Table (4) Pearson correlation coefficients between grain characteristics and flour protein secondary structures characteristics of the triticale cultivar

ویژگی‌ها Characteristics	رطوبت Moisture	شاخص روشنایی L^*-value	هزاردانه Thousand kernel weight	طول Length	ضخامت Diameter	سختی دانه Hardness index
بتا ترن β-turns	-0.710**					
بتا شیت Anti-parallel β-sheets		-0.741**	0.803**	0.845**	0.722**	0.701**
آلفا هلیکس α-helixes		0.765**	-0.806**	-0.833**	-0.720**	-0.733**

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

۳.۵. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ترکیبات آمینواسیدهای آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۵، شاخص رنگ L^* آرد با محتوای گلایسین (*۰/۶۳۸-)، همبستگی منفی معنی‌داری، ولی با محتوای آلانین (*۰/۵۸۴)، والین (*۰/۶۸۱) و ایزولوسین (**۰/۷۲۸)، ارتباط معنی‌داری داشت. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای رنگ تیره‌تر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای گلایسین بیشتر و محتوای آلانین، والین و ایزولوسین کمتری بودند. بین شاخص رنگ a^* آرد و محتوای ایزولوسین (*۰/۵۸۹-)، همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. در واقع، آردهای ارقام مختلف چاودم دارای رنگ قرمزتر، که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای ایزولوسین کمتری بودند.

همچنین، بین اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm و محتوای تیروزین (*۰/۶۷۰-)، همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. آردهای ارقام مختلف چاودم، ذراتی بزرگ‌تر داشتند که از کیفیت کمتر و محتوای تیروزین پایین‌تری برخوردار بودند. همچنین، اندازه ذارت بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ با محتوای ترئونین (*۰/۶۵۱) و تیروزین (*۰/۶۱۹)، ارتباط معنی‌داری داشت. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای اندازه ذرات کوچک‌تر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای ترئونین و تیروزین بیشتری بودند. اندازه ذرات بین ۱۲۵ µm تا ۱۰۶ و محتوای لایزین (*۰/۵۹۶) به‌طور معنی‌داری همبسته بودند. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای اندازه ذرات بسیار کوچک نیز که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای لایزین بیشتری بودند.

بین محتوای پروتئین و محتوای پرولین (*۰/۵۸۸-)، همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. آردهای ارقام مختلف چاودمف دارای مقدار پروتئین بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای پرولین کمتری بودند. محتوای نشاسته آسیب‌دیده با محتوای آلانین (*۰/۶۹۰-)، والین (*۰/۵۸۶-) و ایزولوسین (*۰/۵۸۸-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای محتوای نشاسته آسیب‌دیده بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای آلانین، والین و ایزولوسین کمتری بودند. رسوب زلنی با محتوای تیروزین (*۰/۵۹۳) و رسوب SDS با محتوای تیروزین (**۰/۷۵۷)، از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بودند. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای مقدار رسوب زلنی و رسوب SDS بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای تیروزین بیشتری بودند.

شاخص حجم نان RMT با محتوای تیروزین (*۰/۶۹۷)، ارتباط معنی‌داری داشت در حالی که با محتوای پرولین (*۰/۵۹۴-) و هیستیدین (*۰/۵۸۰-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای مقدار RMT بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای تیروزین بیشتر و پرولین و هیستیدین کمتری بودند. محتوای گلوتن مرطوب با محتوای پرولین (*۰/۶۳۵-)، هیستیدین (*۰/۵۹۴-) و آرژنین (*۰/۶۲۴-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت، ولی با محتوای سرین (**۰/۷۱۵)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای محتوای گلوتن مرطوب بیشتر، که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای پرولین، هیستیدین و آرژنین کمتر و محتوای سرین بیشتری بودند. همچنین، محتوای گلوتن خشک با محتوای تیروزین (**۰/۷۲۱) و سرین (*۰/۶۳۱)، ارتباط معنی‌داری داشت. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای مقدار گلوتن خشک بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای تیروزین و سرین بیشتری بودند. شاخص گلوتن و محتوای تیروزین (**۰/۷۶۱)، به‌طور معنی‌داری همبسته بودند. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای مقدار شاخص گلوتن بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای تیروزین بیشتری بودند.

بین جذب آب و محتوای آلانین (*۰/۶۱۴-) نیز همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای جذب آب بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای آلانین کمتری بودند. همچنین جذب روغن با محتوای گلایسین (**۰/۷۵۸)، ترئونین (*۰/۶۶۸) و تیروزین (*۰/۶۴۵)، ارتباط معنی‌داری داشت؛ درصورتی‌که با محتوای آلانین (*۰/۶۶۱-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت. آردهای ارقام مختلف چاودم دارای جذب روغن بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای گلایسین، ترئونین و تیروزین بیشتر و محتوای آلانین کمتری بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آردهایی با ویژگی‌های کیفی بهتری فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و ظرفیت نگه‌داری حلال داشتند، دارای محتوای بالاتری از آمینواسیدهای مهم برای تعیین کیفیت آرد بودند، در نتیجه از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

جدول (۵) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ترکیبات آمینو اسیدهای آرد انواع ارقام چاودم

Table (5) Pearson correlation coefficients between flour physical and chemical characteristics and flour amino acids compound of the triticale cultivar

ویژگی‌ها Characteristics	شاخص روشنایی L^*-value	شاخص قرمزی a^*-value	ذرات > ۴۲۵ Particles size	ذرات ۱۸۰ – ۱۲۵ Particles Size	ذرات ۱۲۵ – ۱۰۶ Particles size	پروتئین Protein	آسیب نشاسته Damaged starch	زلنی Zeleny sedimentation	رسوب SDS sodium dodecyl sulfate sedimentation	شاخص حجم نان RMT	گلوتن مرطوب Wet gluten	گلوتن خشک Dry gluten	شاخص گلوتن Gluten index	جذب آب Water absorption capacity	جذب روغن Oil absorption capacity
گلایسین Gly	0.638*														0.758**
آلانین Ala	0.584*						- 0.690*							- 0.614*	- 0.661*
والین Val	0.681*						- 0.586*								
ایزولوسین Ile	0.728**	0.589* -					- 0.588*								
ترئونین Thr				0.651*											0.668*
تیروزین Tyr			- 0.670*	0.619*				0.593*	0.757**	0.697*		0.721**	0.761**		0.645*
لایزین Lys					0.596*										
پرولین Pro						0.588* -				0.594* -	0.635* -				
هیستیدین His										0.580* -	0.594* -				
سرین Ser											0.715**	0.631*			
آرژینین Arg											0.624* -				

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

۳.۶. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۶، شاخص رنگ b^* آرد با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (**۰/۷۵۲-)، همبستگی منفی معنی‌دار داشت، ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (**۰/۷۶۷)، همبستگی معنی‌داری داشت. آرد ارقام چاودم دارای رنگ زرد بیشتر که کیفیت کمتری داشتند، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی کمتر و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس بیشتری بودند. اندازه ذرات آرد بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (*۰/۷۰۸-)، همبستگی منفی معنی‌دار داشت، ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (*۰/۷۰۳)، همبستگی معنی‌داری داشت. آرد ارقام چاودم دارای اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۴۲۵ µm زیاد که کیفیت کمتری داشتند، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی کمتر و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس بیشتری بودند. همچنین، اندازه ذرات آرد بین ۱۸۰µm تا ۴۲۵ با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (*۰/۶۰۸-) و محتوای ساختارهای بتا ترن (*۰/۶۲۹-)، همبستگی منفی معنی‌دار داشت در صورتی که با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (*۰/۶۶۰)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود؛ بنابراین آرد ارقام چاودم دارای محتوای بالاتری از ذرات درشت، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی کمتر و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس بیشتری بودند و در نتیجه کیفیت کمتری داشتند.

اندازه ذرات آرد بین ۱۲۵ µm تا ۱۸۰ و کوچکتر از ۱۰۶ µm نیز با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (*۰/۶۱۷ و *۰/۵۹۵)، ارتباط معنی‌داری داشتند، درحالی‌که با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (*۰/۶۱۱- و ۰/۶۳۳-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشتند. آرد ارقام چاودم دارای محتوای بیشتری از ذرات ریز، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی بیشتر و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس کمتری بودند و در نتیجه کیفیت بهتری داشتند. در نهایت، بین اندازه ذرات آرد بین ۱۲۵ µm تا ۱۰۶ و ساختارهای بتا ترن (*۰/۶۱۷)، ارتباط معنی‌داری وجود داشت. آرد ارقام چاودم دارای محتوای بیشتری از ذرات ریز، دارای محتوای ساختارهای بتا ترن بیشتری بودند؛ در نتیجه از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

محتوای پروتئین، رسوب زلنی، رسوب SDS، RMT، گلوتن خشک، گلوتن ایندکس و جذب روغن، با محتوای ساختارهای بتا شیت ارتباط معنی‌داری داشتند (*۰/۶۰۲، **۰/۷۳۸، **۰/۸۷۲، *۰/۶۷۰، **۰/۷۵۳، **۰/۸۱۴ و*۰/۶۱۴) ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس همبستگی منفی معنی‌داری (*۰/۵۸۵-، *۰/۷۵۰-، **۰/۸۳۸-، *۰/۶۴۱-، **۰/۷۱۱-، **۰/۸۱۲- و *۰/۵۹۷-) داشتند. آرد ارقام چاودم دارای پروتئین، رسوب زلنی، رسوب SDS، RMT، گلوتن خشک، گلوتن ایندکس و جذب روغن بیشتر، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت بیشتر و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس کمتری بودند، در نتیجه کیفیت بهتری داشتند. همچنین بین گلوتن مرطوب و محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (*۰/۵۸۹)، همبستگی معنی‌داری وجود داشت.

گروه‌های سولفیدریل با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (*۰/۶۷۵-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (*۰/۷۰۵)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود. آرد ارقام چاودم که دارای محتوای گروه‌های سولفیدریل بیشتری بودند و کیفیت کمتری داشتند، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی کمتر و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس بیشتری بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آردهایی با ویژگی‌های کیفی بهتری فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و ظرفیت نگه‌داری حلال داشتند، دارای نسبت بالاتری از آمینواسیدهای مهم برای تعیین کیفیت آرد بودند و همچنین محتوای بالاتری از ساختارهای بتا شیت غیرموازی و محتوای پایین‌تری از ساختارهای آلفا هلیکس را داشتند؛ در نتیجه از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

جدول (۶) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروئئین آرد انواع ارقام چاودم

Table (6) Pearson correlation coefficients between flour physical and chemical characteristics and flour protein secondary structures characteristics of the triticale cultivar

ویژگی‌ها Characteristics	شاخص زردی b^*-value	ذرات > ۴۲۵ Particles size	ذرات ۴۲۵ – ۱۸۰ Particles size	ذرات ۱۸۰ – ۱۲۵ Particles size	ذرات ۱۲۵ – ۱۰۶ Particles Size	ذرات < ۱۰۶ Particles size	پروتئین Protein	رسوب زلنی Zeleny sedimentation	رسوب SDS sodium dodecyl sulfate sedimentation	شاخص حجم نان RMT	گلوتن مرطوب Wet gluten	گلوتن خشک Dry gluten	گلوتن ایندکس Gluten index	جذب روغن Oil absorption capacity	سولفیدریل Sulfhydryl groups
بتا شیت Anti-parallel β-sheets	0.752**	-0.708*	-0.608*	0.617*		0.595*	0.602*	0.738**	0.872**	0.670*	0.589*	0.753**	0.814**	0.614*	-0.675*
آلفا هلیکس α-helixes	0.767**	0.703*	0.660*	-0.611*		-0.633	0.585*	-0.750*	-0.838**	0.641*		0.711**	0.812**	-0.597*	0.705*
بتا ترن β-turns			-0.629*		0.617*										

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

۳.۷. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های آلوئوگرافی خمیر آرد و ترکیبات آمینواسیدهای آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج به‌دست آمده، شاخص آلوئوگراف P با محتوای تیروزین (۰/۵۸۹*) و شاخص آلوئوگراف w با محتوای تیروزین (۰/۶۷۷*)، ارتباط معنی‌داری داشتند. آرد ارقام مختلف چاودم دارای شاخص‌های آلوئوگراف P و W بیشتر که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای اسیدآمینه تیروزین بیشتری بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آرد آن‌ها دارای شاخص‌های کیفی آلوئوگراف بالاتری بود، از آمینو اسیدهای بیشتری برخوردار بودند؛ در نتیجه کیفیت بهتری نیز داشتند.

۳.۸. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۷، شاخص آلوئوگراف P با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (۰/۶۵۳*) و محتوای ساختارهای بتا ترن (۰/۶۱۳*)، ارتباط معنی‌داری داشت، ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (۰/۷۰۰-*)، از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود. آردهای ارقام چاودم دارای شاخص آلوئوگراف P بالاتر، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی و محتوای ساختارهای بتا ترن بیشتری بودند، ولی محتوای ساختارهای آلفا هلیکس کمتری داشتند؛ درنتیجه کیفیت نانوایی بالاتری داشتند. بین شاخص آلوئوگراف W و محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (۰/۷۵۷**)، ارتباط معنی‌داری وجود داشت در حالی که با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (۰/۷۹۱-**)، از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود. آردهای ارقام چاودم دارای شاخص آلوئوگراف W بالاتر، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی بیشتر و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس کمتری بودند؛ از این رو کیفیت نانوایی بالاتری داشتند. DMIN با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (۰/۶۲۶-*) و محتوای ساختارهای بتا ترن (۰/۶۱۸-*)، همبستگی منفی معنی‌داری، داشت ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (۰/۶۷۵*)، به‌طور معنی‌داری همبسته بود. آردهای ارقام چاودم دارای DMIN بالاتر، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی و محتوای ساختارهای بتا ترن کمتری بودند و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس بیشتری داشتند؛ بنابراین کیفیت کمتری داشتند. نهایتاً، بین DMAX و محتوای ساختارهای بتا ترن (۰/۶۴۲*)، ارتباط معنی‌داری وجود داشت. آرد ارقام چاودم دارای DMAX بالاتر، ساختارهای بتا ترن بیشتری داشتند؛ بر این اساس کیفیت بهتری داشتند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آردهای آن‌ها دارای شاخص‌های کیفی آلوئوگراف بالاتری بودند، محتوای بالاتری از ساختارهای بتا شیت غیرموزای و محتوای کمتری از ساختارهای آلفا هلیکس را داشتند؛ در نتیجه از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

جدول (۷) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های آلوئوگراف خمیر آرد و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

Table (7) Pearson correlation coefficients between flour dough alveograph characteristics and flour protein secondary structures characteristics of the triticale cultivar

ویژگی‌ها Characteristics	حداکثر فشار P	انرژی تغییر شکل W	شروع منحنی تنش – کرنش D_{MIN}	نقطه تسلیم در منحنی تنش – کرنش D_{MAX}
بتا شیت Anti-parallel β-sheets	0.653*	0.757**	- 0.626*	
آلفا هلیکس α-helixes	- 0.700*	- 0.791**	0.675*	
بتا ترن β-turns	0.613*		- 0.618*	0.642*

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

۳.۹. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های SRC و ترکیبات آمینواسیدهای آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۸، WSRC با محتوای آلانین (**۰/۷۲۲-) و ایزولوسین (*۰/۶۲۱-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت. آرد ارقام مختلف چاودم دارای ظرفیت نگه‌داری آب دیونیزه بیشتر که کیفیت نانوایی بهتری داشتند، دارای محتوای آلانین و ایزولوسین کمتری بودند. LASRC با محتوای گلایسین (*۰/۶۱۵) و تیروزین (*۰/۶۳۴)، ارتباط معنی‌داری داشت. آرد ارقام مختلف چاودم دارای ظرفیت نگه‌داری حلال لاکتیک اسید بیشتر، که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای گلایسین و تیروزین بیشتری بودند. SCSRC با محتوای آلانین (*۰/۶۹۵-)، ایزولوسین (**۰/۷۵۴)، والین (*۰/۶۵۷-) و لوسین (*۰/۶۱۳-)، همبستگی منفی معنی‌داری داشت. آرد ارقام مختلف چاودم دارای ظرفیت نگه‌داری حلال سدیم‌کربنات بیشتر، که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای آلانین، ایزولوسین، والین و لوسین کمتری بودند.

همچنین، SUSRC با محتوای آلانین (*۰/۵۹۵-)، ایزولوسین (*۰/۶۷۵-) و والین (*۰/۶۳۰-)، از همبستگی منفی معنی‌داری برخوردار بود. آرد ارقام مختلف چاودم دارای ظرفیت نگه‌داری حلال ساکارز بیشتر، که کیفیت بهتری داشتند، دارای محتوای آلانین، ایزولوسین و والین کمتری بودند. بین شاخص عملکرد گلوتن GPI و محتوای تیروزین (*۰/۵۸۹)، ارتباط معنی‌داری وجود داشت. آرد ارقام مختلف چاودم دارای GPI بیشتر، که از کیفیت نانوایی بسیار بهتری برخوردار بودند، دارای محتوای تیروزین بیشتری بودند که کاملاً این دو صفت مؤید هم بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آردهای آن‌ها دارای ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال‌های اصلی SRC بودند، محتوای بالاتری از آمینواسیدهای مهم در کیفیت نانوایی آرد را داشتند؛ در نتیجه از کیفیت نانوایی بهتری برخوردار بودند.

در واقع علت تمامی موارد بالا به ماهیت آب‌دوست و آب گریزبودن اسیدهای آمینه مختلف سازنده گلوتن مربوط می‌شود که قبلاً توضیح داده شد. چنان‌که مشخص شد، اسیدهای آمینه گلایسین و تیروزین در تشکیل پلیمرهای گلوتنین‌ها در ساختار گلوتن، نقش بسزایی دارند؛

جدول (۸) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های SRC و ترکیبات آمینو اسیدهای انواع ارقام چاودم

Table (8) Pearson correlation coefficients between flour solvent retention capacity characteristics and flour amino acids compound of the triticale cultivar

ویژگی‌ها Characteristics	ظرفیت نگه‌داری آب دیونیزه WSRC	ظرفیت نگه‌داری محلول لاکتیک اسید LASRC	ظرفیت نگه‌داری محلول سدیم کربنات SCSRC	ظرفیت نگه‌داری محلول ساکارز SUSRC	شاخص عملکرد گلوتن GPI
آلانین Ala	-0.722**		-0.695*	-0.595*	
ایزولوسین Ile	-0.621*		-0.754**	-0.675*	
گلایسین Gly		0.615*			
تیروزین Tyr		0.634*			0.589*
والین Val			-0.657*	-0.630*	
لوسین Leu			-0.613*		

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

بنابراین هر چقدر آردی از این‌گونه اسیدهای آمینه غنی‌تر باشد، در واقع در ساختار گلوتن خود، حاوی مقادیر بیشتری از پلیمرهای گلوتنین‌هاست. از این رو، پروتئین‌های باکیفیت نیز ظرفیت بسیار بالایی برای نگه‌داری حلال‌های SRC دارند؛ چنان‌که در این پژوهش نیز مشخص شد، بین این دو صفت، یعنی ویژگی‌های SRC و ترکیبات آمینو اسیدها، همبستگی بالایی برقرار است.

۳.۱۰. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های SRC و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۹، LASRC (۰/۷۰۰*)، GPI (۰/۷۴۴**) و SDSSRC (۰/۶۰۶*)، با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی، دارای ارتباطی معنی‌دار، ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس، به‌ترتیب در سطح (۰/۷۱۳-**)، (۰/۷۴۳-**) و (۰/۶۲۷-*)، همبستگی منفی معنی‌دار داشتند. آرد ارقام چاودم، دارای LASRC، GPI و SDSSRC بالاتر، که کیفیت نانوایی بسیار بالایی نسبت به سایر ارقام داشتند، دارای محتوای بالاتری از ساختارهای بتا شیت غیرموازی و محتوای کمتری از ساختارهای آلفا هلیکس بودند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آردهای آن‌ها دارای ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری حلال‌های لاکتیک اسید و سدیم دو دسیل سولفات بودند، محتوای بالاتری از ساختارهای بتا شیت غیرموازی و محتوای پایین‌تری از ساختارهای آلفا هلیکس را داشتند؛ در نتیجه از کیفیت نانوایی بسیار بهتری برخوردار بودند. این پدیده مربوط به کیفیت پلیمرهای سازنده گلوتن موجود در این گونه آردها است که آردهای دارای کیفیت نانوایی بالا، در واقع حاوی میزان بیشتری از پلیمرهای گلوتنین‌ها در ساختار گلوتن خود هستند. این پروتئین‌ها که دارای ساختارهای نوع دوم بسیار محکم و قوی هستند، خوبی می‌توانند تحت‌تأثیر این دو حلال مربوط به آزمون SRC، متورم شوند و بخش قابل توجهی از آن‌ها را در خود نگه‌دارند.

جدول (۹) ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های SRC و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

Table (9) Pearson correlation coefficients between flour solvent retention capacity characteristics and flour protein secondary structures characteristics of the triticale cultivar

ویژگی‌ها Characteristics	ظرفیت نگه‌داری محلول لاکتیک اسید LASRC	شاخص عملکرد گلوتن GPI	ظرفیت نگه‌داری محلول سدیم دودسیل سولفات SDSSRC
بتا شیت Anti-parallel β-sheets	0.700*	0.744**	0.606*
آلفا هلیکس α-helixes	- 0.713**	- 0.743**	- 0.627*

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

۳.۱۱. بررسی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های ترکیبات آمینواسیدها و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۱۰، محتوای گلوتامین، با محتوای ساختارهای بتا ترن (۰/۶۸۳*)، ارتباط معنی‌داری داشت. آرد ارقام مختلف چاودم دارای محتوای گلوتامین بالاتر که اسیدآمینه‌ای بسیار حیاتی برای کیفیت نانوایی گلوتن آرد است، دارای محتوای ساختارهای بتا ترن بالاتری بودند؛ در نتیجه کیفیت نانوایی بسیار بهتری داشتند. محتوای تیروزین با محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی (۰/۸۹۳**)، ارتباط معنی‌داری داشت، ولی با محتوای ساختارهای آلفا هلیکس (۰/۸۷۷**)، همبستگی منفی

معنی‌داری داشت. آرد ارقام چاودم دارای محتوای تیروزین بالاتر، دارای محتوای ساختارهای بتا شیت غیرموازی بالاتر و محتوای ساختارهای آلفا هلیکس کمتری بودند، در نتیجه از کیفیت نانوایی بسیار بهتری برخوردار بودند.

بین محتوای فنیل‌آلانین و محتوای ساختارهای بتا ترن (**۰/۷۴۱-)، همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت. آرد ارقام چاودم دارای محتوای فنیل آلانین بالاتر، دارای محتوای ساختارهای بتا ترن کمتری بودند و کیفیت کمتری داشتند. به‌طور کلی، ارقام چاودمی که آردهای آن‌ها دارای محتوای بالاتری از آمینو اسیدهای حیاتی در کیفیت نانوایی آرد مانند محتوای گلوتامین و محتوای تیروزین بودند، محتوای بالاتری از ساختارهای بتا شیت غیرموازی و ساختارهای بتا ترن و محتوای پایین‌تری از ساختارهای آلفا هلیکس را داشتند؛ در نتیجه از کیفیت نانوایی بسیار بهتری نسبت به سایرین برخوردارند. علت تمامی این موارد، آن است که چنین آمینواسیدها خودشان به علت ساختار ویژه‌ای که دارند، باعث ایجاد ساختارهایی بسیار قوی و محکم، مانند ساختارهای بتا شیت غیرموازی و ساختارهای بتا ترن در بین پروتئین‌های تشکیل‌دهنده گلوتن می‌شوند؛ زیرا این نوع اسیدهای آمینه و ساختارها، هر دو در تشکیل پروتئین‌های گلوتنین‌ها که در کیفیت نانوایی آرد مؤثرند، نقش بسزایی ایفا می‌کنند؛ در حالی‌که ساختارهای آلفا هلیکس مربوط به گلیادین‌های موجود در گلوتن می‌شوند که در واقع نقش کمتری را در کیفیت نانوایی آرد نسبت به گلوتنین‌ها ایفا می‌کنند و همان طور که مشخص شد، طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، ارتباط بسیار بالایی بین محتوای اسیدهای آمینه و ساختارهای دوم پروتئین آرد وجود داشت و مؤید یکدیگر بودند.

جدول (۱۰) ضرایب همبستگی بین ترکیبات آمینواسیدها و ویژگی‌های ساختارهای دوم پروتئین آرد انواع ارقام چاودم

Table (10) Pearson correlation coefficients between flour amino acids compound and flour protein secondary structures characteristics of the triticale cultiva

ویژگی‌ها Characteristics	گلوتامین Glu	تیروزین Tyr	فنیل آلانین Phe
بتا ترن β-turns	0.683*		- 0.741**
بتا شیت Anti-parallel β-sheets		0.893**	
آلفا هلیکس α-helixes		- 0.877**	

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

۴. نتیجه گیری

ارقام چاودم شامل آلاموس ۸۳، زورو، پرستو، شیراز و جوانیلو، از بالاترین کیفیت نانوایی برخوردار بودند و صفاتی نزدیک به رقم گندم سیروان (گندم نان) از خود نشان دادند. دو رقم چاودم سناباد و النور نیز از کیفیت نانوایی متوسطی برخوردار بودند و بیشتر رفتاری شبیه رقم گندم اوستا ـ گاتا گندم دوروم داشتند. در نهایت، ارقام چاودم شامل: پرگو ۱، پرگو ۲، لاسکو ۲، مورنو و لاسکو ۱، از پایین‌ترین کیفیت نانوایی برخوردار بودند و صفاتی نزدیک به رقم چاودار از خود نشان دادند.

به طور کلی، طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان بیان داشت که ارقام چاودمی که دانه‌های آن‌ها از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی رطوبت، رنگ‌سنجی، طول، عرض و ضخامت دانه، وزن هزاردانه، هکتولیتر، چگالی ویژه، سختی دانه و درجه استحصال آرد، دارای کیفیت نانوایی بالاتری بودند، از دانه‌های این ارقام آردهایی به‌دست آمد که از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی اندازه ذرات، رنگ‌سنجی و عدد فالینگ،

شیمیایی پروتئین، رسوب زلنی، حجم نان RMT، خاکستر، گلوتن مرطوب، گلوتن خشک و شاخص گلوتن، جذب آب، جذب روغن، رسوب سدیم دودسیل سولفات SDS، آمیلوز، نشاسته آسیب‌دیده، پنتوزان‌های محلول در آب و فرولیک اسید و مولکولی پیوندهای دی‌سولفیدی SS و گروه‌های سولفیدریل SH، ترکیب و محتوای برخی از آمینو اسیدها و ساختارهای دوم پروتئین آرد، دارای کیفیت نانوایی بسیار بهتری نسبت به سایر ارقام چاودم بودند. چنین آردهایی، دارای ظرفیت بیشتری برای نگه‌داری انواع حلال‌های اصلی و کمکی SRC بودند و در نهایت خمیری که از چنین آردهایی حاصل شد، از ویژگی‌های رئولوژیکی آلوئوگرافی بسیار بهتر و بالاتری برخوردار بودند؛ در نتیجه کیفیت نانوایی بالاتری داشتند.

در بحث مولکولی نیز به این نکته پی‌برده شد که در واقع مهم‌ترین عامل در بحث کیفیت نانوایی آرد کیفیت پروتئین-های تشکیل‌دهنده گلوتن موجود در آن است. آردهای دارای کیفیت نانوایی بالاتر، کیفیت گلوتنی بهتری دارند که علت آن، محتوای بالاتری از اسیدهای آمینه باکیفیت بالا آسپارژین، گلوتامین، تیروزین، گلایسین، ترئونین و سرین در آن‌ها است که نقش عمده‌ای در تشکیل پلیمرهای گلوتنین-ها، در کمپلکس گلوتن موجود در آرد را برعهده دارند. در ادامه این اسیدهای آمینه، باعث تشکیل ساختارهای دوم بسیار قوی و محکم شامل ساختارهای بتا شیت غیرموازی و بتا ترن فراوان در پلیمرهای گلوتنین‌ها و بین دیگر پروتئین-های تشکیل‌دهنده گلوتن می‌شوند؛ بر این اساس، پدیده پلیمریزاسیون را درون گلوتن افزایش می‌دهند و باعث بهبود کیفیت نانوایی گلوتن آرد می‌شوند. در بحث مولکولی پیوندهای دی‌سولفیدی و گروه‌های سولفیدریل نیز اندازه-گیری شدند که همبستگی بسیار بالایی با سایر ویژگی‌های کیفی نانوایی از خود نشان دادند که علت آن نیز همان کیفیت پلیمرهای گلوتنین‌ها در گلوتن موجود در آرد، به لحاظ محتوای آمینواسیدی و ساختارهای نوع دوم بود. طبق نتایج مشخص شد که آردهای باکیفیت نانوایی بالا، حاوی پلیمرهای گلوتنین‌های فراوانی در ساختار گلوتن خود بودند که این پلیمرهای باکیفیت که دارای ساختارهای دوم محکم و فراوانی نیز بودند، توانستند به‌خوبی و به‌میزان زیادی تحت‌تأثیر 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 به‌علت پلیمرهای باکیفیت توانستند SRCهای بالایی داشته باشند، در نهایت خمیری حاصل شد که از نظر پارامترهای رئولوژیکی آلوئوگرافی نسبت به سایر ارقام برتری داشتند؛ در نتیجه کیفیت نانوایی بسیار بهتری داشتند.

همچنین در این پژوهش توسط سایر حلال‌های اصلی SRC و سایر آزمایشات کیفیت سایر پلیمرهای آرد مانند نشاسته آسیب‌دیده، آرابینوزایلان‌ها، فرولیک اسید و دیگر موارد سنجیده شدند و بدین‌لحاظ، کیفیت آردها به‌لحاظ کیفیت نانوایی نیز بررسی شدند که دقیقاً مؤید سایر آزمون-های کیفی بودند. در نتیجه می‌توان بیان داشت، از نسخه کوچک آزمون ظرفیت نگه‌داری حلال، به‌دلیل همبستگی معنی‌دار و بسیار قوی پروفیل‌های آن با پارامترهای سایر روش‌های تعیین کیفیت دانه و آرد، به تنهایی و به سهولت می‌توان در تعیین و تشخیص ارقام با کیفیت نانوایی برتر و درنتیجه به‌دست آوردن فرآورده مرغوب استفاده کرد.

مراجع

[1] Khajehpour, M. R. (2014). *Cereals Crops*(4nd ed.). Jihad Danshgahi, Isfahan University of Technology, I.R. Iran. [In Persian]

[2] Manley, M., McGoverin, C. M., Snyders, F., Muller, N, Botes, W. C., Fox, G. P. (2013). Prediction of triticale grain quality properties, based on both chemical and indirectly measured reference methods, using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chem*., 90, 540-545.

[3] Dennett, A. L., Trethowan, R. M. (2013). Milling

efficiency of triticale grain for commercial flour production. *J. Cereal Sci*., 57, 527-530.
[4] 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.
[5] 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.
[6] Pattison, A. L., Trethowan, R. M. (2013). Characteristics of modern triticale quality: commercially significant flour traits and cookie quality. *Crop Pasture. Sci*., 64, 874-880.
[7] Pattison, A. L., Appelbee, M., Trethowan, R. M. (2014). Characteristics of 641 modern triticale quality: Glutenin and secalin subunit composition and mixograph properties. *J. Agric. Food Chem*., 62, 4924-4931.
[8] Zhu, F. (2017). Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chem*., 241, 468-479.
[9] Dennett, A. L., Cooper, K. V., Trethowan, R. M. (2013). The genotypic and phenotypic interaction of wheat and rye storage proteins in primary triticale. *Euphytica*., 194, 235-242.
[10] Shahedi, M., Kabir, Gh. H., Bahrami, M. (2005). Determination of flour quality criteria and rheological properties of dough for the production of Taftoon bread from Iranian wheat. *JIJAS*., 12, 7-88.
[11] Macritchie, F. (1985). Studies of the methodology for fractionation and reconstitution of wheat flours. *J. Cereal Sci*., 3, 221-230.
[12] Macritchie, F. (1984). Baking quality of wheat flours. *Adv. Food Nutr. Res*., 29, 201-277.
[13] Finney, K. F., Yamazaki, W. T., Youngs, V. L., Rubenthaler, G. L. (1987). quality of hard, soft and durum wheats. in: *Wheat and Wheat Improvement*, Agronomy Monograph, ASA-CSSA-SSSA, Madison, pp 677-748.
[14] Slade, L., Levine, H. (1994). Structure-function relationships of cookie and cracker ingredients. in: *The Science of Cookie and Cracker Production*, Faridi, H. (Ed.), Chapman and Hall, New York, pp 23-141.
[15] 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.
[16] 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.
[17] 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.
[18] Chavoushi, M. Kadivar, M. Arzani, A., Sabzalian. M. R. (2019). Evaluation of solvent retention capacity method application in specify the features of triticale flour and bread making quality (I). *JIFT*., 7, 116-147. [In Persian]
[19] Chavoushi, M. Arzani, A. Kadivar, M., Sabzalian. M. R. (2019). Evaluation of alveograph parameters and gluten proteins of triticale by using solvent retention capacity method (II). *JIFT*., 7, 164-187. [In Persian]
[20] Moore, S., Stein W. H. (1979). *J. Chromatogr. Libr*., 17, 297-308.
[21] Pomeranz. Y. (1987). *Modern Cerael Science and Technology*. VCH Publishers, Inc.
[22] Zuber, T., Maurer, H. P., Möhring, J., Nautscher, N., Siegert, W., Rosenfelder P., Rodehutscord, M. (2016). Variability in amino acid digestibility of triticale grain from diverse genotypes as studied in cecectomized laying hens. *Poult. Sci*., 95, 2861-2870.
[23] Simmonds, D. H. (1962). Variations in the amino acid composition of Australian wheats and flours. *Cereal Chem*., 39, 445-455.
[24] Misra, N. N., Kaur, S., Tiwari, B. K., Kaur, A., Singh, A., Cullena, P. J. (2015). Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. *Food Hydrocoll*., 44, 115-121.
[25] Wang, P., Xu, L., Nikoo, M., Ocen, D., Wu, F., Yang, N., Jin, Z., Xu, X. (2014). Effect of frozen storage on the conformational, thermal and microscopic properties of gluten: Comparative studies on gluten-, glutenin- and gliadin-rich fractions. *Food Hydrocoll*., 35, 238-246.
[26] 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.

Research Article

Evaluation of relationship between solvent retention capacity tests, secondary structures of proteins and amino acid content of triticale flour (III)

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

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

Abstract

Solvent retention capacity (SRC) as a valuable tool for measuring functional properties of each polymeric component of flour was introduced and developed by Louise Slade in the late 1980s. The SRC values were significantly correlate with flour chemical components, farinograph parameters and breadmaking parameters. The purpose of this research was to evaluate the relationships between SRC profiles and flour secondary structures and amino acids content of 12 cultivars of hexaploid triticale and comparing them with bread wheat, durum wheat and rye as close cultivars. In this study, four main solvents (deionized water, 5% lactic acid solution, 5% sodium carbonate solution and 50% sucrose solution) and four supplemental solvents (55% ethanol solution, 0.75% sodium dodecyl sulfate solution, 0.006.0% sodium metabisulfite solution, as well as combination of SDS and MBS solutions of the SRC test were used. According to the results, triticale cultivars with superior grain quality produced flours with much superior physical and chemical properties than other triticale cultivars. Flour dough of those cultivars had better rheological properties than other cultivars, and had much better alveograph quality parameters. Such flours had more disulfide bonds (SS) and lower sulfhydryl groups (SH) than other cultivars. Such flours were rich in gluten producing amino acid content. Also such flours had a higher Intermolecular-β-sheets and β-turn, and had less α-helix content. Such flours had more capacity for retention the main and supplemental solvents of SRC and showed high correlation with molecular parameters of flour. Therefore, the SRC test singly in determine and identifies cultivars with superior bread quality and thus to obtain the product with the best quality can be used, and is also justifiable at the molecular level.

Keywords: Solvent retention capacity, Functional properties, α-helix structures, β-sheet structures, β-turn structures, Flour amino acids

* Corresponding Author: kadivar@iut.ac.ir