



## بررسی اثر فرآیند جوانه زنی و تخمیر به عنوان بهبود ارزش تغذیه ای دانه ماش

کتایون نبوی<sup>۱</sup>، محمد گلی<sup>۲\*</sup>، شریفه شاهی<sup>۳</sup>

۱-گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

۲-گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

۳-گروه مهندسی پزشکی، مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

#### تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹

#### کلمات کلیدی:

ارزش غذایی،

اسید فیتیک،

تخمیر،

جوانه زنی،

دانه ماش.

DOI: 10.48311/fsct.2026.83976.0

\* مسئول مکاتبات:

امروزه توجه به حبوبات زده در صنایع غذایی اهمیت فراوانی یافته است. در این پژوهش تاثیر فرایند جوانه زنی و فرآیند جوانه زنی و تخمیر توام با ساکارومایسز سروزیه بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کیفی و تغذیه ای ماش مورد بررسی قرار گرفت. رطوبت، پروتئین، چربی، خاکستر، نشاسته، قند، اسید فیتیک، فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی، محتوی ویتامین های محلول در آب و پروفایل اسیدهای آمینه نمونه های مختلف ماش اندازه گیری شد. نتایج نشان داد فرآیند تخمیر و جوانه زنی منجر به کاهش رطوبت (۶/۸۵٪) و نشاسته (۲۹/۸۴٪) و افزایش قند (۲/۲ میلی گرم بر میلی لیتر)، چربی (۲/۳۸٪) و خاکستر (۵/۲۷٪) شده است. میزان ترکیبات فنولی کل (۷۲/۰۱ میلی گرم اسید گالیک بر گرم خشک) و خاصیت آنتی اکسیدانی مهار رادیکال آزاد دی-پی پی اچش (۷۴/۳۲٪) با عملیات تخمیر افزایش یافت که به دلیل آزاد شدن فنول های باند شده در نتیجه فرآیند جوانه زنی و افزایش زیست دسترس پذیری آن ها در فرآیند تخمیر بود. تخمیر و جوانه زنی با استفاد از آنزیم های تجزیه کننده منجر به کاهش محتوی اسید فیتیک (۰/۶۴ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم) شد. میزان ویتامین های محلول در آب با اعمال فرآیند تخمیر و جوانه زنی افزایش یافت. فرآیند جوانه زنی و تخمیر منجر به افزایش میزان پروتئین (۲۹/۸۳٪) و همچنین افزایش اسیدهای آمینه شد که مرتبط با فعالیت مخمر می باشد. نتایج این تحقیق استفاده از فرآیند جوانه زنی و تخمیر را به منظور افزایش ارزش تغذیه ای ماش مثبت ارزیابی نمود.

## ۱- مقدمه

شرایط جوانه‌زنی متفاوت باشد [۵]. در طی جوانه‌زنی، دسترسی به مواد معدنی و ویتامین‌ها افزایش یافته و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش و فعالیت مواد غیرمغذی مانند فیتات کاهش می‌یابد. جوانه‌زنی یک فرآیند بیولوژیکی طبیعی در گیاهان است که طی آن دانه از حالت خواب خارج می‌شود [۶]. هر دو فرآیند جوانه‌زنی و تخمیر، آنزیم‌ها را فعال می‌کنند و بنابراین به افزایش قابلیت هضم دانه کمک می‌کنند. همچنین، در طول جوانه‌زنی و فرآیند تخمیر، دسترسی به قندهای کاهنده و اسیدهای آمینه آزاد، از جمله لیزین، افزایش می‌یابد. تیمارهای غذایی مانند تخمیر، جوانه‌زنی، پختن، خیساندن و برشته کردن بر ترکیب غذایی و مشخصات فیزیکوشیمیایی تأثیر می‌گذارند [۷]. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر جوانه‌زنی و تخمیر بر ماش به منظور افزایش ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی حاصل از آن‌ها در ماتریس مواد غذایی است.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مواد

ماده اولیه این تحقیق، ماش محلی فریدن بود که از بازار محلی اصفهان تهیه شد. مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش از شرکت مرک آلمان و دکتر مجلی در ایران خریداری گردید.

## ۲-۲- روش‌ها

## ۲-۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌های ماش

در ابتدا، ماش خریداری شده با دقت تمیز شد و ضایعات آن به‌طور کامل جدا گردید. سپس با استفاده از آب لوله‌کشی شسته شد و به مدت ۳۰ دقیقه با محلول هیپوکلریت سدیم ۷ درصد ضدعفونی گردید. در مرحله بعد، نمونه‌های شسته‌شده به دو بخش تقسیم شدند: یک قسمت بدون جوانه‌زنی که در آن خشک گردید و قسمت دیگر که به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $25 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد در آب مقطر نگهداری شد. دانه‌های خیس‌انده شده سپس در دمای

حبوبات به عنوان منبعی از پروتئین شناخته می‌شوند، اما ارزش پروتئینی آن‌ها در مقایسه با گوشت کمتر است و این موضوع به دلیل کمبود اسیدهای آمینه گوگردار (مانند متیونین و سیستئین) در این گیاهان است. از سوی دیگر، حبوبات دارای عوامل ضد تغذیه‌ای نظیر مهارکننده‌های پروتئاز، مهارکننده‌های آلفا آمیلاز، تانن، اسید فیتیک، آلکالوئیدها و گلیکوزیدها هستند که کیفیت کلی تغذیه‌ای آن‌ها را کاهش می‌دهند [۱]. یکی از مزایای اصلی دانه ماش این است که نیازی به نیترژن برای کوددهی ندارد. اگرچه ماش به دلیل دارا بودن فیبر، مواد معدنی و پروتئین بالا به عنوان منبعی غنی از مواد غذایی شناخته می‌شود، بلکه به عنوان منبعی از سایر مواد فعال زیستی نیز در نظر گرفته می‌شود. ترکیباتی با اثرات فیزیولوژیکی بسیار مفید نظیر آنتی‌اکسیدان، ضد دیابت و اثر ضدسرطانی در کنترل و پیشگیری از بیماری‌های مختلف نشان داده شده است. ماش به عنوان منبع خوبی از پروتئین شناخته می‌شود [۲]. در طول فرآیند جوانه‌زنی، واکنش‌های فیزیکوشیمیایی و بیوشیمیایی پیچیده‌ای رخ می‌دهد که تغییرات وسیعی در ترکیب و یا مورفولوژی حبوبات ایجاد می‌کند. در این فرآیندها، تجزیه ترکیبات ذخیره‌ای دانه و سنتز پروتئین‌های ساختاری اتفاق می‌افتد. در سال‌های اخیر، جوانه‌زنی محصولات غلات به طور فعال برای تولید محصولات جدید با ارزش غذایی و بهبود جذب مواد مغذی مورد استفاده قرار گرفته است [۳]. محصولات حاصل از مواد اولیه جوانه‌زده معمولاً قوام نرم‌تر و طعم شیرین‌تری دارند. تقاضای روزافزون مصرف‌کنندگان برای مواد غذایی غلات کامل و محصولات با کیفیت بالا منجر به توسعه تحقیقات و فناوری‌های نوآورانه برای تولید مواد غذایی با طعم‌های طبیعی بهبود یافته، و کاهش استفاده از تقویت‌کننده‌های شیمیایی شده است [۴]. جوانه‌زنی تأثیر قابل توجهی بر کیفیت تغذیه‌ای غلات دارد. در طول جوانه‌زنی، تغییراتی در مقدار و نوع مواد مغذی در دانه‌ها رخ می‌دهد. این تغییرات می‌تواند بسته به نوع گیاه، نوع بذر و

۰/۰۵ انجام شد. همچنین، برای رسم کلیه نمودارها از نرم‌افزار اکسل بهره‌برداری شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی تأثیر جوانه‌زنی و تخمیر بر تجزیه

##### تقریبی ماش

نتایج مربوط به تجزیه تقریبی دانه‌های ماش پس از عملیات جوانه‌زنی و همچنین پس از اعمال تخمیر در جدول ۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که نمونه جوانه‌زده و تخمیرشده کمترین درصد رطوبت (۶۷/۸۵٪) را داشته و بیشترین درصد رطوبت (۱۰/۳۵٪) در نمونه جوانه‌زده مشاهده گردید. عملیات جوانه‌زنی منجر به افزایش رطوبت ماش جوانه‌زده می‌شود، اما عملیات تخمیر پس از جوانه‌زنی منجر به کاهش محتوی رطوبت ماش گردیده است. طالبی نجف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که با افزایش زمان جوانه‌زنی، مقدار رطوبت ماش نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد [۱۶]. با پیشرفت فرآیند جوانه‌زنی، جذب آب دانه از محیط اطراف به‌منظور شروع و ادامه فعالیت‌های بیولوژیک افزایش می‌یابد و همین امر باعث افزایش رطوبت دانه می‌شود [۱۷]. این نتایج با پژوهش اناثمنه و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. آن‌ها در بررسی میزان رطوبت در دانه‌های ذرت اعلام کردند که میزان رطوبت در دانه‌های جوانه‌زده و تخمیرشده کمتر از نمونه شاهد است [۱۴]. افزایش تعداد سلول‌ها در مسیر رشد را نیز می‌توان عاملی برای جذب بیشتر آب توسط دانه‌ها و در نتیجه افزایش رطوبت بعد از فرآیند جوانه‌زنی دانست [۱۸]. مگات-روسیدی و همکاران (۲۰۱۱)، خار و همکاران (۲۰۲۱) و اناثمنه و همکاران (۲۰۲۲) نیز نتایج مشابهی در مورد افزایش رطوبت ماش، بادام‌زمینی، سویا، برنج، بذر کتان و نخود پس از جوانه‌زنی گزارش کردند که همراستا با نتایج پژوهش حاضر است [۸، ۱۹، ۲۰]. واکیل و کاظم (۲۰۱۲) تأثیر تخمیر با استارتر یا تخمیر کنترل‌شده را بر خواص تغذیه‌ای و حسی مکمل سورگوم-لوبیا بررسی کردند و گزارش نمودند که رطوبت کاهش می‌یابد [۲۱].

۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت جوانه زدند. زمانی که بیش از ۹۰٪ دانه‌های ماش به‌طور یکنواخت جوانه زدند، آن‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آونی با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس با آسیاب آزمایشگاهی مجهز به مش فلزی ۰/۷ میلی‌متری الک گردیدند. نمونه‌های الک شده در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار ریخته شده و تا زمان انجام آزمایشات در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد (در یخچال) نگهداری شدند. برای تولید ماش جوانه‌زده تخمیری، حدود ۷ گرم ساکارومایسز سروزیه در ۶۵ میلی‌لیتر آب حل شد و پس از ۵ دقیقه (به‌عنوان زمان لازم برای فعال شدن مخمر) به ماش جوانه‌زده اضافه گردید. سپس به مدت ۱۲ ساعت زمان داده شد تا تخمیر انجام شود. در نهایت، نمونه‌های جوانه‌زده و تخمیر شده در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردیدند و با آسیاب آزمایشگاهی با مش ۰/۷ میلی‌متری الک شده و در پلاستیک‌های زیپ‌دار در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد (در یخچال) نگهداری شدند.

#### ۲-۲-۲- آزمون‌های ماش

مقادیر رطوبت [۸]، چربی [۹]، خاکستر [۸]، پروتئین [۱۰]، قند محلول و نشاسته [۱۱]، اسید فیتیک [۱۲]، فنول کل و خاصیت آنتی‌اکسیدانی [۱۳] در نمونه‌های ماش اندازه‌گیری شد. همچنین، ویتامین‌های محلول در آب [۱۴] و پروفیل اسیدهای آمینه [۱۵] با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (آجیلنت، ۱۲۶۰ اینفینیتی ال‌سی) به همراه ستون (آجیلنت، ای‌سی، سی‌۱۸) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

#### ۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. متغیرهای مستقل مورد بررسی شامل نمونه شاهد و نمونه جوانه‌زده در یک سطح و نمونه تخمیرشده در سطح دیگر بودند. متغیرهای مستقل آزمون شامل بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی ماش بود. آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار اسپ‌اس‌اس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال خطای

## ۳-۲- خاکستر

نتایج مربوط به میزان خاکستر نمونه‌های مختلف ماش در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، جوانه‌زنی باعث کاهش خاکستر شده و اختلاف معنی‌دار آماری بین نمونه‌ها ایجاد گردیده است. جوانه‌زنی و تخمیر خاکستر را افزایش داد و بیشترین خاکستر (۲۷/۵٪) در نمونه تخمیر شده مشاهده شد. به‌طور کلی، بین میزان مواد معدنی و خاکستر رابطه‌ای مستقیم وجود دارد و هرچه میزان ترکیبات معدنی ماده غذایی بیشتر باشد، خاکستر آن نیز افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط انائمنه و همکاران (۲۰۲۲) برای نخود و آیکوجنلولا و آدوروتویه (۲۰۱۴) برای لوبیای چشم بلبلی مطابقت دارد [۲۲، ۸].

کاهش محتوای خاکستر در ماش پس از جوانه‌زنی به چند دلیل اصلی انجام می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها شامل افزایش فعالیت آنزیمی، انتقال مواد مغذی به جوانه‌ها، شستشو و خروج مواد معدنی و رشد و تقسیم سلولی است. جوانه‌زنی فرآیندی است که در آن آنزیم‌های متعددی فعال می‌شوند. این آنزیم‌ها ممکن است به تجزیه ترکیبات معدنی (که بخشی از خاکستر را تشکیل می‌دهند) کمک کرده و باعث کاهش محتوای خاکستر شوند. در طی جوانه‌زنی، برخی از مواد مغذی و معدنی از ذخیره‌گاه اصلی (دانه) به جوانه‌های در حال رشد منتقل می‌شوند. این انتقال می‌تواند باعث کاهش مقدار کل مواد معدنی باقی‌مانده در دانه‌های ماش شود که به نوبه خود محتوای خاکستر را کاهش می‌دهد. خیساندن ماش نیز می‌تواند منجر به خروج برخی از مواد معدنی محلول از دانه‌ها به آب شود، که در نتیجه محتوای خاکستر کاهش می‌یابد. با رشد و تقسیم سلولی در طی جوانه‌زنی، توزیع مواد معدنی تغییر کرده و ممکن است در بافت‌های جدید جوانه‌ها نسبت به دانه اصلی کاهش یابد. این تغییرات می‌تواند به کاهش محتوای خاکستر در دانه‌های جوانه‌زده منجر شود [۲۳-۲۵]. افزایش محتوای خاکستر در ماش پس از جوانه‌زنی و تخمیر با ساکارومایسز سروزیه به این دلیل است که در طی فرآیند تخمیر، ممکن است بخشی از مواد آلی و کربوهیدرات‌های موجود در دانه‌ها تجزیه و به ترکیبات

ساده‌تری تبدیل شوند یا حتی به‌طور جزئی مصرف گردند. این فرآیند می‌تواند باعث افزایش نسبت مواد معدنی به مواد آلی شود که به صورت افزایش محتوای خاکستر ظاهر می‌شود. همچنین در طی جوانه‌زنی و تخمیر، تغییراتی در ساختار سلولی دانه‌ها رخ می‌دهد که می‌تواند منجر به آزاد شدن و تجمع مواد معدنی شود. به‌ویژه تخمیر با ساکارومایسز سروزیه می‌تواند منجر به تغییراتی در ساختار دیواره سلولی و رهاسازی مواد معدنی شود که در نهایت باعث افزایش محتوای خاکستر می‌گردد. ساکارومایسز سروزیه به‌عنوان یک مخمر می‌تواند آنزیم‌هایی ترشح کند که باعث تجزیه مواد آلی و افزایش دسترسی به مواد معدنی شود. این فرآیند می‌تواند محتوای معدنی قابل اندازه‌گیری را افزایش دهد. فرآیند تخمیر و جوانه‌زنی می‌تواند منجر به کاهش مواد ضد تغذیه‌ای مانند فیتات‌ها شود. این مواد معمولاً با مواد معدنی پیوند برقرار می‌کنند و دسترسی آن‌ها را کاهش می‌دهند. با تجزیه این مواد ضد تغذیه‌ای در طی تخمیر، مواد معدنی آزاد شده و مقدار آن‌ها در نمونه افزایش می‌یابد که به‌عنوان خاکستر اندازه‌گیری می‌شود [۲۳-۲۵]. زو و همکاران (۲۰۱۹)، فواد و رهاب (۲۰۱۵) و اوس کایباس و املک و همکاران (۲۰۲۱) نتایج مشابهی را در مورد خاکستر نخود فرنگی، نخود زرد و عدس گزارش کردند [۲۶-۲۸].

## ۳-۳- پروتئین

نتایج مربوط به میزان پروتئین نمونه‌های مختلف ماش در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کمترین میزان پروتئین (۲۷/۵۲٪) مربوط به نمونه شاهد و بیشترین میزان پروتئین (۲۸/۸۳٪) مربوط به نمونه جوانه‌زده و تخمیر شده بود. هر دو فرآیند جوانه‌زنی و تخمیر منجر به افزایش میزان پروتئین در دانه ماش می‌شوند. در طی فرآیند جوانه‌زنی و تخمیر، کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها ممکن است به‌عنوان منبع انرژی توسط جوانه‌ها و میکروارگانیسم‌های تخمیرکننده مصرف شوند. این مصرف می‌تواند منجر به کاهش این اجزا در دانه شود و در نتیجه نسبت پروتئین به کل مواد مغذی افزایش یابد. جوانه‌زنی یک فرآیند بیولوژیکی

فعال است که در طی آن دانه‌ها شروع به تولید آنزیم‌ها و پروتئین‌های جدید برای رشد و توسعه می‌کنند. این پروتئین‌ها ممکن است شامل آنزیم‌ها و دیگر پروتئین‌های ساختاری و عملکردی باشند که در نتیجه فرآیند جوانه‌زنی در دانه‌ها سنتز می‌شوند. تخمیر نیز می‌تواند به افزایش محتوای پروتئین کمک کند. این مخمر به‌طور فعال پروتئین‌های خود را در طول تخمیر تولید می‌کند که می‌تواند به محتوای پروتئین کل دانه‌های تخمیرشده اضافه شود. به عبارت دیگر، باکتری‌ها و مخمرها می‌توانند با رشد و تکثیر خود پروتئین‌های جدیدی به ترکیب دانه اضافه کنند. تجزیه و کاهش مواد ضد تغذیه‌ای مانند فیتات‌ها طی جوانه‌زنی و تخمیر می‌تواند منجر به افزایش پروتئین شود. در طی فرآیند جوانه‌زنی و تخمیر، ساختار پروتئین‌ها تغییر می‌کند و این تغییرات می‌تواند منجر به افزایش محتوای پروتئین در ماش جوانه‌زده و ماش جوانه‌زده تخمیرشده با ساکارومایسز سروزیه گردد [۲۹-۳۱]. نکاتا و همکاران (۲۰۱۸) گزارش نمودند که افزایش سطح پروتئین ممکن است نسبی باشد، به دلیل از دست دادن ماده خشک ناشی از هیدرولیز کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها به‌عنوان منابع انرژی [۲۹]. با این حال، تجزیه پروتئین‌های پیچیده توسط میکروارگانیسم‌ها به پپتیدها و اسیدهای آمینه ممکن است منجر به افزایش محتوای پروتئین در نخود فرآوری‌شده شود [۳۰]. تأثیر تخمیر بر خصوصیات دانه به عوامل متعددی مانند pH محیط، دما، نوع ظرف، نوع گیاه/گونه (غله، حبوبات)، سطح تماس (آرد یا دانه)، ماهیت محیط تخمیر (طبیعی یا کشت‌شده) و این که نمونه‌ها به‌طور جداگانه یا با هم تخمیر می‌شوند، بستگی دارد. مطالعه اویراکوا (۲۰۱۳) نشان داد که تخمیر طبیعی مشترک ذرت/نخود منجر به کاهش بیشتری در مواد ضد مغذی نسبت به سورگوم/موکونا شده و پروتئین خام را به‌ویژه پس از ۷۲ ساعت افزایش داد [۳۲]. نوع غذا و غله/حبوبات خاص و روش مورد استفاده بر نتیجه روش فرآوری تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، اثرات زمان‌بر هستند، همان‌طور که توسط اونولوزو و نوا بوگو (۲۰۰۹) نیز ذکر شده است. آن‌ها گزارش دادند که ۲۴ ساعت تخمیر سطح

پروتئین خام را در هر دو آرد نخود و آرد کاهش داد، اما افزایش قابل توجهی پس از ۷۲ ساعت تخمیر رخ داد. افزایش سطح پروتئین ممکن است ناشی از سنتز بیشتر اسیدهای آمینه توسط دانه‌های در حال تخمیر باشد [۳۳]. واکیل و کاظم (۲۰۱۲) تأثیر تخمیر با استارتر یا تخمیر کنترل‌شده را بر خواص تغذیه‌ای و حسی غذای مکمل سورگوم-لویا بررسی کردند و گزارش نمودند که محتوای پروتئین خام با افزایش دوره تخمیر افزایش یافت، در حالی که رطوبت، فیبر خام، خاکستر کل، کربوهیدرات کل و مواد ضد مغذی کاهش یافتند. آن‌ها همچنین استفاده از تخمیر با کشت‌های مختلط لاکتوباسیلوس پلانتاروم و مخمر را برای بهبود خواص پروتئین و ارگانولپتیک و کاهش مواد ضد مغذی پیشنهاد کردند [۲۱]. این نتایج با نتایج محمد و همکاران (۲۰۲۳)، مبای-نوا و ابّا (۲۰۱۶)، هاسان و همکاران (۲۰۲۱) و چاتزیمیتاکوس و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد [۳۱، ۳۶-۳۴]. در مطالعه‌ای دیگر، تأثیر روش‌های تخمیر بر میزان پروتئین بذر ذرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بذر خام ذرت پس از تخمیر از ۱۰/۴٪ به ۱۰/۴۴٪ افزایش معنی‌داری داشت، در حالی که پس از جوانه‌زنی (۷۲ ساعت) - تخمیر (۴۸ ساعت) به ۹/۱۲٪ کاهش یافت [۱۴].

### ۳-۴- چربی

نتایج مربوط به میزان چربی نمونه‌های مختلف دانه ماش در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فرآیند جوانه‌زنی باعث کاهش در مقدار چربی شده است، اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نیست. از سوی دیگر، فرآیند تخمیر باعث افزایش میزان چربی در نمونه‌های ماش جوانه‌زده گردید. در طی فرآیند جوانه‌زنی، دانه‌ها از منابع ذخیره‌ای خود مانند چربی‌ها برای تأمین انرژی لازم برای رشد و توسعه جوانه استفاده می‌کنند. این مصرف چربی‌ها در طی جوانه‌زنی می‌تواند منجر به کاهش میزان چربی در دانه‌های جوانه‌زده شود. جوانه‌زنی فرآیندی است که نیازمند فعالیت متابولیکی بالایی است و این فرآیندها می‌توانند شامل اکسیداسیون چربی‌ها برای تولید انرژی باشند که در نتیجه

به عنوان محصول فرعی متابولیسم خود تجمع دهند، که این تجمع می تواند میزان چربی را در ماش جوانه زده تخمیر شده نسبت به ماش جوانه زده افزایش دهد [۸]. مای-نوا و ابنا (۲۰۱۶) گزارش کردند که تخمیر سطح چربی را در ارزن افزایش داد [۳۵]. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط طالبی نجف آبادی و همکاران (۱۳۹۸) برای کاهش در محتوای چربی ماش جوانه زده در مقایسه با نمونه خام همخوانی دارد. پیلکو-کنوسادا و همکاران (۲۰۲۰) نیز کاهش محتوای چربی در دانه کینوا جوانه زده را گزارش کردند [۳۹].

میزان چربی کل در دانه کاهش می یابد [۳۷، ۳۸]. در شرایط تخمیر، ساکارومایسز سروزیه می تواند به تولید چربی های خود پردازد. این مخمرها در حین تخمیر، لیپیدها یا چربی های جدیدی را سنتز می کنند که می تواند به افزایش میزان چربی در دانه های تخمیر شده منجر شود. همچنین، تخمیر می تواند تغییراتی در ساختار سلولی دانه ها ایجاد کند که ممکن است منجر به آزادسازی چربی های متصل یا محبوس در ماتریکس سلولی شود. این امر باعث افزایش میزان چربی قابل اندازه گیری در نمونه های تخمیر شده می شود. در برخی موارد، مخمرها می توانند چربی ها را

**Table 1.** Analysis of different compositions of mung beans

| Treatment | Moisture (%)       | Ash (%)           | Protein (%)        | Carbohydrate (mg/ml) | Starch (%)         | Fat (%)           |
|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| RMB       | 8.37 <sup>b</sup>  | 4.69 <sup>b</sup> | 27.52 <sup>c</sup> | 2.1 <sup>a</sup>     | 34.39 <sup>a</sup> | 1.80 <sup>b</sup> |
| SMB       | 10.35 <sup>a</sup> | 3.04 <sup>c</sup> | 28.75 <sup>b</sup> | 2.3 <sup>a</sup>     | 31.39 <sup>b</sup> | 1.59 <sup>b</sup> |
| SFMB      | 6.85 <sup>c</sup>  | 5.27 <sup>a</sup> | 29.83 <sup>a</sup> | 2.2 <sup>a</sup>     | 29.84 <sup>c</sup> | 2.38 <sup>a</sup> |

Different letters in each column indicate statistically significant differences at the 5% level. . RMB: Raw mung bean sample, SMB: Sprouted mung bean sample, SFMB: Sprouted and fermented mung bean sample.

جوانه زنی، نشاسته که یک کربوهیدرات پیچیده و ذخیره ای در دانه ها است، به وسیله آنزیم های آمیلاز به قندهای ساده تر تجزیه می شود. این فرآیند منجر به کاهش محتوای نشاسته در دانه های ماش می شود. مخمرها نیز در طی فرآیند تخمیر از نشاسته و سایر کربوهیدرات های پیچیده به عنوان منابع کربن استفاده می کنند. آنزیم های تولید شده توسط مخمر می توانند نشاسته را تجزیه کرده و به قندهای ساده تری تبدیل کنند که سپس توسط خود مخمر مصرف می شود. بنابراین، تخمیر با مخمر معمولاً باعث کاهش بیشتر میزان نشاسته باقی مانده در دانه های ماش جوانه زده می شود [۴۱، ۴۲]. این نتایج با نتایج ورما و همکاران (۲۰۲۱) و نتایج سویکا و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. این محققان نیز اعلام داشتند که میزان نشاسته کل و فعالیت مهارکننده آنزیم های آلفا آمیلاز در عدس جوانه زده در مقایسه با دانه خام کاهش یافته است. چین ما و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاهش نشاسته کل آرد برنج را پس از ۴۸ ساعت جوانه زنی گزارش کردند [۴۳-۴۵].

### ۳-۵- کربوهیدرات های ساده و پیچیده

نتایج مربوط به تغییر در کربوهیدرات های ساده (قند) و پیچیده (نشاسته) به ترتیب در جدول ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، جوانه زنی منجر به افزایش غیرمعنی دار ( $p > 0.05$ ) قند و کاهش معنی دار ( $p < 0.05$ ) نشاسته شده است. اما فرآیند تخمیر پس از جوانه زنی مقدار قند را افزایش و مقدار نشاسته را کاهش داد و اختلاف معنی دار آماری ایجاد شد. در طول جوانه زنی، آنزیم های هیدرولیتیک مانند آمیلاز فعال می شوند و نشاسته ذخیره ای در دانه ها را به قندهای ساده تر مانند گلوکز و مالتوز تجزیه می کنند [۴۰]. این فرآیند باعث افزایش سطح قندهای ساده در دانه های ماش جوانه زده می شود. مخمر نیز از قندهای ساده به عنوان منبع انرژی برای رشد و تکثیر استفاده می کند. اگرچه این می تواند به کاهش سطح قندهای ساده در طول تخمیر منجر شود، اما در مراحل اولیه تخمیر، ممکن است افزایش قندهای ساده رخ دهد زیرا مخمرها ابتدا قندها را از منابع پیچیده تر (مانند نشاسته) آزاد می کنند. در طی

### ۳-۶- ترکیبات فنولی و خاصیت آنتی اکسیدانی

نتایج مربوط به میزان ترکیبات فنولی کل و خاصیت آنتی اکسیدانی بر اساس مهار رادیکال آزاد دی پی پی اچ در جدول ۲ نشان داده شده است. فرآیند جوانه زنی و تخمیر منجر به افزایش میزان ترکیبات فنولی و میزان مهار رادیکال های آزاد دی پی پی اچ در دانه های ماش شد و اختلاف معنی دار آماری ایجاد گردید. بین میزان ترکیبات فنولی و خاصیت آنتی اکسیدانی رابطه ای مستقیم وجود داشت؛ به طوری که با افزایش میزان ترکیبات فنولی، خاصیت آنتی اکسیدانی نیز افزایش یافت. بیشترین میزان ترکیبات فنولی و خاصیت آنتی اکسیدانی در نمونه ماش جوانه زده و تخمیر شده و کمترین میزان ترکیبات فنولی و خاصیت آنتی اکسیدانی در نمونه شاهد مشاهده شد. در طول جوانه زنی، فعالیت آنزیم های هیدرولیتیک مانند بتا-گلوکوزیداز افزایش می یابد. این آنزیم ها دیواره سلولی دانه ها را تجزیه کرده و ترکیبات فنولی که در ماتریکس دیواره سلولی ذخیره شده اند، آزاد می شوند. این آزادسازی باعث افزایش محتوای فنولی کل و در نتیجه افزایش خاصیت آنتی اکسیدانی در دانه های ماش جوانه زده می شود [۴۶]. در طول فرآیند تخمیر، ترکیبات فنولی به دو دسته تقسیم می شوند: اسیدهای فنولی (اسید بنزوئیک یا سینامیک) و فلاونوئیدها (تانن ها و آنتوسیانین ها)، که متابولیزه و به ترکیبات دیگری مانند گلیکوزیدها تبدیل می شوند. در فرآیند جوانه زنی، گیاه در حال رشد برای محافظت از خود در برابر استرس های محیطی، ترکیبات دفاعی مختلفی از جمله فنولیک ها را سنتز می کند. این سنتز منجر به افزایش سطح ترکیبات فنولی و تقویت خاصیت آنتی اکسیدانی می شود. جوانه زنی و تخمیر می تواند باعث تحریک سنتز اضافی ترکیبات فنولی شود [۴۷]. به دلیل محیط تخمیر و تعاملات متقابل بین مخمرها و دانه های جوانه زده، تولید فنولیک ها و سایر متابولیت های ثانویه تقویت می شود. جوانه زنی همچنین با تجزیه و تحلیل ترکیبات پیچیده به اشکال ساده تر، زیست دسترس پذیری ترکیبات فنولی را افزایش می دهد. این به این معناست که فنولیک ها آسان تر استخراج شده و

به صورت آزاد در دانه ها در دسترس قرار می گیرند. تخمیر با مخمر نه تنها ترکیبات فنولی موجود را تغییر شکل می دهد بلکه ممکن است ترکیبات جدیدی نیز تولید کند که دارای فعالیت آنتی اکسیدانی قوی تری هستند [۴۰]. ملینی و ملینی (۲۰۲۱) نشان دادند که فرآیند تخمیر منجر به آزادسازی ترکیبات فنولی و در نتیجه افزایش خاصیت آنتی اکسیدانی کینوای جوانه زده می شود. در غلات غیر تخمیری، ترکیبات فنولی عمدتاً به صورت متصل به قندها، اسیدهای چرب یا پروتئین ها هستند، اما در طول تخمیر، این ترکیبات به فرم آزاد تبدیل می شوند که دسترسی زیستی آن ها و فعالیت آنتی اکسیدانی را افزایش می دهد. همچنین، تخمیر می تواند محتوای ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی اکسیدانی را افزایش یا کاهش دهد که این امر به نوع میکروارگانیسم های دخیل در فرآیند بستگی دارد. انتخاب میکروارگانیسم مناسب برای تخمیر بسیار مهم است تا بتواند ماده غذایی را به درستی تخمیر کند و از رشد میکروارگانیسم های مضر جلوگیری کند [۴۸]. پاتیل و جنا (۲۰۲۳) گزارش کردند که نخود سبز جوانه زده با بهبود کیفیت تغذیه ای و با محتوای اسید آسکوربیک پنج برابر بیشتر و میزان فنول کل حدود چهار برابر بیشتر نسبت به نخود سبز خام تولید شد [۴۹]. شارما و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که جوانه زنی منجر به بهبود ترکیبات فنولی، مقادیر گاما-آمینوبوتریک اسید و ظرفیت آنتی اکسیدانی می شود. فرآیند جوانه زنی نه تنها فعالیت آنتی اکسیدانی را افزایش می دهد بلکه توانایی چنگالی کردن فلزات را نیز تقویت کرده و محتوای کل ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها را افزایش می دهد [۵۰]. کاسرس و همکاران (۲۰۱۷) محتوای گاما-اوریزانول، گاما-آمینوبوتریک اسید، ترکیبات فنولی کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در برنج قهوه ای جوانه زده به مدت ۴۸ و ۹۶ ساعت را بررسی و اعلام نمودند که فرآیند جوانه زنی باعث افزایش محتوای گاما-آمینوبوتریک اسید، فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی وابسته به زمان می شود [۵۱]. کیانی و همکاران (۱۳۹۴) نیز افزایش میزان ترکیبات فنولی و خاصیت آنتی اکسیدانی عدس و ماش جوانه زده را پیش تر اعلام نموده اند [۵۲].

## ۳-۷- محتوای اسید فیتیک

نتایج مربوط به محتوای اسید فیتیک در نمونه‌های مختلف ماش در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فرآیند جوانه زنی و جوانه زنی-تخمیر منجر به کاهش محتوای اسید فیتیک در نمونه‌های ماش شده و اختلاف معنی‌دار آماری ایجاد گردیده است. جوانه زنی و تخمیر هر دو فرآیندهایی هستند که می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی میزان اسید فیتیک در حبوبات را کاهش دهند، اما هر کدام از این فرآیندها مکانیسم‌های متفاوتی دارند و تأثیرات متفاوتی نیز دارند. جوانه زنی منجر به فعال‌سازی آنزیم فیتاز در دانه‌های ماش می‌شود. فیتاز آنزیمی است که می‌تواند اسید فیتیک را تجزیه کرده و منجر به کاهش محتوای آن در دانه‌ها گردد. در طی جوانه زنی، رشد جوانه‌ها و افزایش فعالیت آنزیمی باعث می‌شود اسید فیتیک که به‌عنوان یک ماده ضد مغذی شناخته می‌شود، به ترکیبات ساده‌تری تجزیه شود. این کاهش بهبود دسترسی به مواد معدنی مانند آهن، کلسیم و روی را نیز در پی دارد. در فرآیند تخمیر، میکروارگانیسم‌ها (مانند باکتری‌های لاکتیک اسید و مخمرها) نقش کلیدی در تجزیه اسید فیتیک ایفا می‌کنند. میکروارگانیسم‌ها در محیط تخمیر آنزیم‌های خاصی مانند فیتاز را تولید می‌کنند که می‌تواند اسید فیتیک را تجزیه کند. ترکیب جوانه زنی و تخمیر می‌تواند به کاهش بیشتر محتوای

اسید فیتیک در ماش منجر شود. وقتی جوانه زنی و تخمیر با هم ترکیب می‌شوند، اثرات آنزیم‌های طبیعی دانه‌ها (مانند فیتازهای فعال‌شده در جوانه زنی) با فعالیت‌های میکروبی در تخمیر هم‌افزایی پیدا می‌کنند. این تعامل دوگانه باعث می‌شود اسید فیتیک به میزان بیشتری تجزیه شده و محتوای آن به‌طور چشمگیری کاهش یابد. بنابراین، فرآیند توأم معمولاً به نتایج بهتری نسبت به هر یک از فرآیندها به‌تنهایی منجر می‌شود [۵۳]. این نتایج با نتایج ارائه‌شده توسط ارشد و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد. آن‌ها اعلام نمودند که فرآیندهای تخمیر و جوانه زنی منجر به کاهش معنی‌دار محتوای اسید فیتیک در یونجه آبی می‌شود [۵۴]. در تحقیق دیگری، ریکو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که جوانه زنی عدس باعث کاهش محتوای اسید فیتیک و افزایش سطوح اسید اسکوربیک، گاما-آمینوبوتیریک اسید، ترکیبات فنولی نامحلول، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص گلیسمی می‌شود [۵۵]. این نتایج با نتایج انائمنه و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. آن‌ها ضمن بررسی میزان اسید فیتیک در دانه‌های حبوبات اعلام نمودند که میزان اسید فیتیک در دانه‌های جوانه زده و تخمیرشده کمتر از نمونه شاهد است [۸]. چاو‌هان و همکاران (۲۰۲۲) نیز تأثیر جوانه زنی و تخمیر را در کاهش اسید فیتیک دانه‌های سویای سیاه مثبت ارزیابی نمودند [۵۶] که همراستا با نتایج پژوهش حاضر است.

**Table 2.** Total phenolic content (TPC), antioxidant activity (AA), acid phytic content, and vitamins of different mung beans

| Treatment | TPC<br>(mg Gallic acid/g<br>dry weight) | AA (% of<br>DPPH<br>radical<br>inhibition) | Phytic acid<br>(mg/100g<br>dry weight) | Vitamin (mg/kg dry weight) |                    |                   |                    |
|-----------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|           |                                         |                                            |                                        | C                          | B <sub>12</sub>    | B <sub>3</sub>    | B <sub>1</sub>     |
| RMB       | 34.80 <sup>c</sup>                      | 38.17 <sup>c</sup>                         | 1.44 <sup>a</sup>                      | 100 <sup>b</sup>           | 166.7 <sup>b</sup> | 19.8 <sup>b</sup> | 167.6 <sup>c</sup> |
| SMB       | 50.72 <sup>b</sup>                      | 50.92 <sup>b</sup>                         | 1.16 <sup>b</sup>                      | 161 <sup>a</sup>           | 170.9 <sup>b</sup> | 12.8 <sup>c</sup> | 306.5 <sup>a</sup> |
| SFMB      | 72.01 <sup>a</sup>                      | 74.32 <sup>a</sup>                         | 0.64 <sup>c</sup>                      | 102 <sup>b</sup>           | 251.9 <sup>a</sup> | 21.3 <sup>a</sup> | 202.6 <sup>b</sup> |

Different letters in each column indicate statistically significant differences at the 5% level. RMB: Raw mung bean sample, SMB: Sprouted mung bean sample, SFMB: Sprouted and fermented mung bean sample.

## ۳-۸- محتوای ویتامین‌های محلول در آب

نتایج مربوط به تأثیر جوانه زنی و تخمیر بر میزان ویتامین‌های محلول در آب ماش در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، جوانه زنی منجر به افزایش ویتامین ب<sub>۱</sub> (تیامین)، ب<sub>۱۲</sub> و سی شده است، اما ویتامین ب<sub>۳</sub> با جوانه زنی کاهش یافته است. پیمولوان سیرپارو و



### ۳-۹- پروفایل اسیدهای آمینه

نتایج مربوط به تأثیر فرآیندهای جوانه‌زنی و تخمیر بر پروفایل اسیدهای آمینه نمونه‌های ماش در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه شاهد تقریباً در تمام پروتئین‌های مورد بررسی کمترین مقدار را داشته است. بیشترین مقدار اسیدهای آمینه مربوط به نمونه‌های تیمار شده با جوانه‌زنی و تخمیر توأم هستند. هر دو فرآیند باعث بهبود کیفیت پروتئین و افزایش در دسترس بودن برخی اسیدهای آمینه ضروری می‌شوند. جوانه‌زنی باعث بهبود ترکیب پروتئین و افزایش محتوای اسیدهای آمینه ضروری نظیر لیزین، متیونین و تریپتوفان می‌شود. در طول جوانه‌زنی، تغییرات متابولیکی و آنزیمی در دانه‌ها رخ می‌دهد که منجر به شکسته شدن پروتئین‌های ذخیره‌ای به اسیدهای آمینه آزاد می‌گردد. این افزایش به‌ویژه در اسیدهای آمینه‌ای که در حبوبات به میزان کمتری وجود دارند، مشهود است. جوانه‌زنی موجب تجزیه ترکیبات ضدتغذیه‌ای نظیر تانن‌ها و اسید فیتیک می‌شود که به‌طور معمول با پروتئین‌ها پیوند می‌خورند و دسترسی به اسیدهای آمینه را محدود می‌کنند. کاهش این ترکیبات ضدتغذیه‌ای باعث می‌شود اسیدهای آمینه بیشتر و راحت‌تر جذب شوند. در طول جوانه‌زنی، آنزیم‌های خاصی فعال می‌شوند که به تجزیه پروتئین و سنتز اسیدهای آمینه آزاد کمک می‌کنند. این امر باعث افزایش اسیدهای آمینه آزاد و بهبود کیفیت پروتئین می‌شود [۱۴، ۵۴]. در طی تخمیر، ساکارومایسس سرویزیه قادر به تولید و آزادسازی اسیدهای آمینه است. این امر می‌تواند به افزایش اسیدهای آمینه ضروری و بهبود کلی پروفایل اسیدهای آمینه در محصول نهایی منجر شود. تخمیر می‌تواند ترکیبات پیچیده پروتئینی را تجزیه کرده و اسیدهای آمینه بیشتری را آزاد کند. در این فرآیند، اسیدهای آمینه خاصی مثل لیزین و تریپتوفان که به‌طور معمول محدود هستند، افزایش می‌یابند. اثر هم‌افزایی جوانه‌زنی و تخمیر باعث آزادسازی بیشتر اسیدهای آمینه آزاد و افزایش دسترسی آن‌ها می‌شود. این فرآیندها با هم قادرند تا پروتئین‌ها را به‌طور مؤثرتری تجزیه کرده و محتوای اسیدهای آمینه ضروری را به‌ویژه لیزین،

همکاران (۲۰۲۲) گزارش داده‌اند که کاهش ویتامین ب۳ در طول جوانه‌زنی ممکن است به دلیل چندین عامل باشد. یکی از دلایل اصلی می‌تواند تجزیه ترکیبات ذخیره‌ای در دانه‌های ماش طی فرآیند جوانه‌زنی باشد. در این فرایند، برخی ویتامین‌ها برای تأمین انرژی و رشد گیاه به مصرف می‌رسند یا به دیگر ترکیبات تبدیل می‌شوند که در نتیجه باعث کاهش غلظت آن‌ها می‌شود [۵۷]. جوانه‌زنی و تخمیر توأم منجر به افزایش معنی‌دار آماری تمام ویتامین‌های مورد بررسی شد. جوانه‌زنی و تخمیر هر دو فرآیندهایی هستند که می‌توانند تأثیرات مثبتی بر افزایش محتوای ویتامین‌ها در ماش داشته باشند، اما میزان تغییرات ویتامین‌ها بستگی به نوع ویتامین و فرآیند مورد استفاده دارد. جوانه‌زنی به‌طور کلی باعث افزایش ویتامین ب۱ در ماش می‌شود. در طول جوانه‌زنی، فعالیت‌های آنزیمی در دانه‌ها منجر به سنتز بیشتر ویتامین‌های گروه ب، از جمله ب۱ می‌شود. این افزایش به دلیل فعال شدن آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم کربوهیدرات‌ها در دانه‌های در حال جوانه‌زنی است. یکی از مهم‌ترین اثرات جوانه‌زنی افزایش قابل توجه ویتامین سی (اسید اسکوربیک) است. در طول جوانه‌زنی، بسیاری از دانه‌ها، به‌ویژه حبوبات، توانایی سنتز ویتامین سی پیدا می‌کنند و محتوای آن به مرور زمان و با پیشرفت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. در فرآیند تخمیر، میزان ویتامین‌های محلول در آب نیز افزایش می‌یابد، به‌ویژه زمانی که از میکروارگانیسم‌های مناسب مانند مخمرها استفاده می‌شود. مخمرها در فرآیند تخمیر می‌توانند این ویتامین‌ها را سنتز کرده و میزان آن‌ها را افزایش دهند. برخلاف جوانه‌زنی، تخمیر می‌تواند منجر به تولید ویتامین ب۱۲ به وسیله ساکارومایسس سرویزیه شود که توانایی تولید ب۱۲ را دارد. پینه‌یرو و همکاران (۲۰۲۱) گزارش نمودند که در طول جوانه‌زنی سورگوم، برخی از ویتامین‌های گروه ب مانند ریبوفلاوین افزایش می‌یابد، در حالی که غلظت تیامین کل و پیریدوکسین کل کاهش می‌یابد [۱۵]. با این حال، برخی از نویسندگان گزارش داده‌اند که جوانه‌زنی تأثیری بر غلظت ویتامین‌ها، از جمله ویتامین‌های گروه ب مانند اسید فولیک، نیاسین، تیامین و پیریدوکسین ندارد [۴۲].

متیونین و تریپتوفان افزایش دهند. این نتایج با نتایج انائمنه و همکاران (۲۰۲۰)، ارشد و همکاران (۲۰۲۳) و رودریگوئز-اسپانا و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد [۴۰، ۱۴].

Table 3. Amino acid profiles (%) of different mung beans

| Amino acids   | Treatments        |                    |                   |
|---------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|               | RMB               | SMB                | SFMB              |
| Aspartic acid | 0.10 <sup>b</sup> | 2.30 <sup>a</sup>  | 2.70 <sup>a</sup> |
| Glutamic acid | 0.30 <sup>c</sup> | 2.10 <sup>b</sup>  | 3.0 <sup>a</sup>  |
| Serine        | 0.20 <sup>c</sup> | 0.70 <sup>b</sup>  | 1.0 <sup>a</sup>  |
| Histidine     | 0.30 <sup>c</sup> | 0.60 <sup>a</sup>  | 0.50 <sup>b</sup> |
| Glycine       | 0.20 <sup>c</sup> | 0.30 <sup>b</sup>  | 0.60 <sup>a</sup> |
| Threonine     | 0.20 <sup>c</sup> | 0.60 <sup>b</sup>  | 0.70 <sup>a</sup> |
| Arginine      | 0.30 <sup>c</sup> | 1.40 <sup>b</sup>  | 1.80 <sup>a</sup> |
| Alanine       | 0.04 <sup>c</sup> | 0.30 <sup>b</sup>  | 0.60 <sup>a</sup> |
| Tyrosine      | 0.07 <sup>c</sup> | 0.40 <sup>b</sup>  | 0.80 <sup>a</sup> |
| Methionine    | 0.06 <sup>c</sup> | 1.20 <sup>b</sup>  | 1.30 <sup>a</sup> |
| Valine        | 0.04 <sup>c</sup> | 0.30 <sup>b</sup>  | 0.50 <sup>a</sup> |
| Phenylalanine | 0.20 <sup>b</sup> | 0.70 <sup>a</sup>  | 0.70 <sup>a</sup> |
| Isoleucine    | 0.05 <sup>b</sup> | 0.30 <sup>a</sup>  | 0.30 <sup>a</sup> |
| Leucine       | 4.70 <sup>c</sup> | 22.30 <sup>b</sup> | 40.8 <sup>a</sup> |
| Lysine        | 0.50 <sup>c</sup> | 1.30 <sup>b</sup>  | 1.40 <sup>a</sup> |

Different letters in each row indicate statistically significant differences at the 5% level. RMB: Raw mung bean sample, SMB: Sprouted mung bean sample, SFMB: Sprouted and fermented mung bean sample.

#### ۴- نتیجه گیری

به کاهش محتوای اسید فیتیک شد. میزان ویتامین های محلول در آب خانواده ب و ویتامین ث با اعمال فرآیند جوانه زنی افزایش یافت. فرآیند جوانه زنی و تخمیر منجر به افزایش میزان پروتئین و همچنین افزایش اسیدهای آمینه می شود که این امر مرتبط با فعالیت مخمر است. نتایج این تحقیق استفاده از فرآیند جوانه زنی و تخمیر را به منظور افزایش ارزش تغذیه ای ماش مثبت ارزیابی می نماید. پژوهش های آینده می تواند بر روی بررسی تأثیر شرایط مختلف دما و زمان تیمار با اولتراسوند بر بهبود ترکیبات تغذیه ای و کاهش عوامل ضد تغذیه ای در حبوبات و غلات تمرکز داشته باشد.

#### ۵- منابع

[1] Anita, D.D. and K.R. Sridhar, Nutritional and bioactive profiles of sprouted seeds of mangrove wild legume *Canavalia cathartica*. Plant and Human Health, Volume 2: Phytochemistry and Molecular Aspects, 2019: p. 287-301.

در این پژوهش، تأثیر فرآیند جوانه زنی و تخمیر با استفاده از ساکارومایسس سروریه بر خصوصیات فیزیوشیمیایی و کیفی دانه ماش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فرآیند تخمیر و جوانه زنی منجر به کاهش رطوبت و نشاسته و افزایش قند، چربی و خاکستر شد. میزان ترکیبات فنولی و خاصیت آنتی اکسیدانی با تخمیر افزایش یافت که به دلیل آزاد شدن فنول های باند شده در نتیجه فرآیند جوانه زنی و افزایش زیست دسترس پذیری آن ها در فرآیند تخمیر بود. همچنین، تخمیر و جوانه زنی با استفاده از آنزیم های تجزیه کننده منجر [2] Sehwat, N., et al., Review on health promoting biological activities of mungbean: A potent functional food of medicinal importance. Plant Archives, 2020. 20(2): p. 2969-2975.

[3] Nelson, K., et al., Effects of malted and non-malted whole-grain wheat on metabolic and

- inflammatory biomarkers in overweight/obese adults: a randomised crossover pilot study. *Food Chemistry*, 2016. 194: p. 495-502.
- [4] Bressiani, J., et al., Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. *Journal of Cereal Science*, 2017. 75: p. 269-277.
- [5] Singh, A.k., et al., Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2015. 55(11): p. 1575-1589.
- [6] Basaran-Akgul, N., Packaging Requirements for Non-Thermal Processed Grain-Based Foods, in *Non-Thermal Processing Technologies for the Grain Industry*. 2021, CRC Press. p. 199-222.
- [7] Tan, M., M.A. Nawaz, and R. Buckow, Functional and food application of plant proteins—a review. *Food Reviews International*, 2023. 39(5): p. 2428-2456.
- [8] Anaemene, D. and G. Fadupin, Anti-nutrient reduction and nutrient retention capacity of fermentation, germination and combined germination-fermentation in legume processing. *Applied Food Research*, 2022. 2(1): p. 100059.
- [9] Iran National Standard Organization. No. 37. 2014. Biscuits – Specifications and Test Methods, Seventh Revision.
- [10] Iran National Standard Organization. No. 19052. 2013. Cereals and Legumes – Determination of Nitrogen Content and Calculation of Crude Protein – Kjeldahl Method.
- [11] Razavi, R., et al., Fabrication of zein/alginate delivery system for nanofood model based on pumpkin. *International journal of biological macromolecules*, 2020. 165: p. 3123-3134.
- [12] Iran National Standard Organization No. 17028. 1392. Wheat – Wheat Bran for Human Consumption – Specifications and Test Methods.
- [13] Razavi, R. and R.E. Kenari, Antioxidant evaluation of *Fumaria parviflora* L. extract loaded nanocapsules obtained by green extraction methods in oxidative stability of sunflower oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021: p. 1-10.
- [14] Anaemene, D. and G. Fadupin, Effect of fermentation, germination and combined germination-fermentation processing methods on the nutrient and anti-nutrient contents of quality protein maize (QPM) seeds. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 2020. 24(9): p. 1625-1630.
- [15] Pinheiro, S.S., et al., Stability of B vitamins, vitamin E, xanthophylls and flavonoids during germination and maceration of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Food Chemistry*, 2021. 345: p. 128775.
- [16] Talebi Najafabadi, S., Sharifi, A., & Abselan, A. A. 2019. Investigation of the effect of the germination process on the changes in nutritional value and some physicochemical properties of mung bean. *Research Findings in Agronomy and Horticultural Plants*, 8(2), 211-224.
- [17] Sheirvani, A., Shahedi, M., & Goli, A. H. 2015. Effect of germination on the chemical composition, nutritional properties, and antioxidant activity of mung bean seeds. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, 62(14).
- [18] Obadina, A.O., et al., Changes in nutritional and physico-chemical properties of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) Ex-Borno variety flour as a result of malting. *Journal of Food Science and Technology*, 2017. 54: p. 4442-4451.
- [19] Khare, B., V. Sangwan, and V. Rani, Influence of sprouting on proximate composition, dietary fiber, nutrient availability, antinutrient, and antioxidant activity of flaxseed varieties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021. 45(4): p. e15344.
- [20] Megat Rusydi, M., et al., Nutritional changes in germinated legumes and rice varieties. *International Food Research Journal*, 2011. 18.(۲)
- [21] Wakil, S. and M. Kazeem, Quality assessment of weaning food produced from fermented cereal-legume blends using starters.

- International Food Research Journal, 2012. ۱۹(۴).
- [22] Ikujenlola, A.V. and E. Adurotoye, Evaluation of quality characteristics of high nutrient dense complementary food from mixtures of malted Quality Protein Maize (*Zea mays* L.) and steamed cowpea (*Vigna unguiculata*). 2014.
- [23] Atudorei, D., S.-G. Stroe, and G.G. Codină, Impact of germination on the microstructural and physicochemical properties of different legume types. *Plants*, 2021. 10(3): p. 592.
- [24] Arbab Sakandar, H., et al., Impact of fermentation on antinutritional factors and protein degradation of legume seeds: A review. *Food Reviews International*, 2023. 39(3): p. 1227-1249.
- [25] Azeez, S.O., et al., Impact of germination alone or in combination with solid-state fermentation on the physicochemical, antioxidant, in vitro digestibility, functional and thermal properties of brown finger millet flours. *Lwt*, 2022. 154: p. 112734.
- [26] Xu, M., et al., Effect of germination on the chemical composition, thermal, pasting, and moisture sorption properties of flours from chickpea, lentil, and yellow pea. *Food chemistry*, 2019. 295: p. 579-587.
- [27] Fouad, A.A. and F. Rehab, Effect of germination time on proximate analysis, bioactive compounds and antioxidant activity of lentil (*Lens culinaris* Medik.) sprouts. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 2015. 14(3): p. 233-246.
- [28] Oskaybaş-Emlek, B., A. Özbey, and K. Kahraman, Effects of germination on the physicochemical and nutritional characteristics of lentil and its utilization potential in cookie-making. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021. 15(5): p. 4245-4255.
- [29] Nkhata, S.G., et al., Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food science & nutrition*, 2018. 6(8): p. 2446-2458.
- [30] Pranoto, Y., S. Anggrahini, and Z. Efendi, Effect of natural and *Lactobacillus plantarum* fermentation on in-vitro protein and starch digestibilities of sorghum flour. *Food Bioscience*, 2013. 2: p. 46-52.
- [31] Hassan, F., et al., Shelf-life extension of sweet basil leaves by edible coating with thyme volatile oil encapsulated chitosan nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021. 177: p. 517-525.
- [32] Oyarekua, M., Comparative studies of co-fermented maize/pigeon pea and maize/mucuna as infants complementary foods. *Wudpecker Journal of Food Technology*, 2013. 1(1): p. 001-008.
- [33] Onweluzo, J. and C. Nwabugwu, Fermentation of millet (*Pennisetum americanum*) and pigeon pea (*Cajanus cajan*) seeds for flour production: Effects on composition and selected functional properties. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2009. 8(6): p. 737-744.
- [34] Mohammed, B.M., et al., The Effect of Germination and Fermentation on the Physicochemical, Nutritional, and Functional Quality Attributes of Samh Seeds. *Foods*, 2023. ۱۲(۲): p. 4133.
- [35] Mbaeyi Nwaoha, I. and F. Obeta, Production and evaluation of nutrient-dense complementary food from millet (*Pennisetum glaucum*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and seedless breadfruit (*Artocarpus altillis*) leaf powder blends. *African Journal of Food Science*, 2016. 10(9): p. 143-156.
- [36] Chatzimitakos, T., et al., Nutritional Quality and Antioxidant Properties of Brown and Black Lentil Sprouts. *Horticulturae*, 2023. 9(6): p. 668.
- [37] Kinyua, P., et al., Nutritional composition of Kenyan sorghum-pigeon pea instant complementary food. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 2016. 17(1): p. 1-12.
- [38] Sade, F.O., Proximate, antinutritional factors and functional properties of processed pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *Journal of food technology*, 2009. 7(3): p. 92-97.

- [39] Pilco-Quesada, S., et al., Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 2020. 94 :p. 102996.
- [40] Rodríguez-España, M., et al., Effects of germination and lactic acid fermentation on nutritional and rheological properties of sorghum: A graphical review. *Current Research in Food Science*, 2022. 5: p. 807-812.
- [41] Oliveira, M.E.A.S., et al., How does germinated rice impact starch structure, products and nutritional evidences?—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2022. 122: p. 13-23.
- [42] Afify, A.E.-M.M., et al., Oil and fatty acid contents of white sorghum varieties under soaking ,cooking, germination and fermentation processing for improving cereal quality. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2012. 40(1): p. 86-92.
- [43] Verma, M., et al., Beneficial effects of soaking and germination on nutritional quality and bioactive compounds of biofortified wheat derivatives. 2021.
- [44] Świeca, M., B. Baraniak, and U. Gawlik-Dziki, In vitro digestibility and starch content, predicted glycemic index and potential in vitro antidiabetic effect of lentil sprouts obtained by different germination techniques. *Food chemistry*, 2013. 138(2-3): p. 1414-1420.
- [45] Chinma, C.E., et al., Effect of germination on the physicochemical and antioxidant characteristics of rice flour from three rice varieties from Nigeria. *Food chemistry*, 2015. 185 :p. 454-458.
- [46] Şenlik, A.S. and D. Alkan, Improving the nutritional quality of cereals and legumes by germination. *Czech Journal of Food Sciences*, 2023. 41.(๑)
- [47] Kaur, H. and B.S. Gill, Changes in physicochemical, nutritional characteristics and ATR–FTIR molecular interactions of cereal grains during germination. *Journal of Food Science and Technology*, 2021. 58(6): p. 2313-2324.
- [48] Melini, F. and V. Melini, Impact of fermentation on phenolic compounds and antioxidant capacity of quinoa. *Fermentation* , : (๑)๗ . ๒๐๒๑ p. 20.
- [49] Patil, S.B. and S. Jena, Effects of soaking and sprouting time on nutritional parameters of sprouted green colour black gram of Sikkim region. *Journal of Agricultural Engineering*, 2023. 60(2): p. 153-164.
- [50] Sharma, S., D.C. Saxena, and C.S. Riar, Changes in the GABA and polyphenols contents of foxtail millet on germination and their relationship with in vitro antioxidant activity. *Food Chemistry*, 2018. 245: p. 863-870.
- [51] Cáceres, P.J., et al., Enhancement of biologically active compounds in germinated brown rice and the effect of sun-drying. *Journal of Cereal Science*, 2017. 73: p. 1-9.
- [52] KianiSam, M., Ranjbar, M. Amjad, L. 2014. Study of changes in the amount of phenolic compounds and antioxidant capacity of lentil and mash seeds due to germination. *Food industry research*. 25, 2, 209 -219
- [53] Kumar, S. and R. Anand, Effect of germination and temperature on phytic acid content of cereals. *International Journal of Agricultural Science*, 2021. 8(1): p. 24-35.
- [54] Arshad, N., et al., The comparative effect of lactic acid fermentation and germination on the levels of neurotoxin, anti-nutrients, and nutritional attributes of sweet blue pea (*Lathyrus sativus* L.). *Foods*, 2023. 1(15): 2851.
- [55] Rico, D., et al., Development of antioxidant and nutritious lentil (*Lens culinaris*) flour using controlled optimized germination as a bioprocess. *Foods*, 2021. 10(12): p. 2924.
- [56] Chauhan, D., et al., Impact of soaking, germination, fermentation, and roasting treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive composition of black soybean (*Glycine*

max L.). J. Appl. Biol. Biotechnol, 2022. 10(5):  
p. 186-192

[57] Effect of Germination and Illumination on  
melatonin and its metabolites phenolic content  
and antioxidant activity in mung bean sprouts by  
Pimolwan siriparu , Panyada panyatip Thanawat  
pota, Chawalit Yongram , Tarapong srisongkram  
... 2022



## Scientific Research

## Investigating the Effect of Sprouting and Fermentation Processes to Improve the Nutritional Value of Mung Bean

Katayoon Nabavi<sup>1</sup>, Mohammad Goli<sup>2\*</sup>, Sharifeh Shahi<sup>3</sup>

1-Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2-Department of Food Science and Technology, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

3-Department of Medical Engineering, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

## Article History:

Received: 2025/01/30

Accepted: 2025/08/20

## Keywords:

Nutritional value,

Phytic acid,

Fermentation,

Germination,

Mung bean

DOI: 10.48311/fsct.2026.83976.0

\*Corresponding Author E-

Sprouted legumes have recently received a lot of interest in the food business. In this work, the impacts of the germination process and the combined germination and fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* on the physicochemical, qualitative, and nutritional aspects of mung bean were investigated. Moisture, protein, fat, ash, starch, sugar, phytic acid, total phenolics, antioxidant activity, water-soluble vitamins, and amino acid profiles were assessed in various mung bean samples. The results revealed that the fermentation and germination processes reduced moisture (6.85%) and starch (29.84%) while increasing sugar (2.2 mg/mL), fat (2.38%), and ash (5.27%). Due to the release of bound phenolics during germination and their higher bioavailability during fermentation, total phenolic compounds (72.01 mg gallic acid per gram of dry weight) and DPPH radical-scavenging antioxidant activity (74.32%) increased with fermentation. Degrading enzymes during fermentation and germination caused the amount of phytic acid to decrease to 0.64 mg per 100g. As the fermentation and germination processes progressed, the concentrations of water-soluble vitamins rose. Yeast activity is responsible for the increase in protein content (29.83%) and amino acids that resulted from germination and fermentation. The utilization of germination and fermentation procedures to increase the nutritional content of mung beans is positively evaluated by the study's findings.