

غنی‌سازی ماکارونی با تیامین، ریوفلاوین، نیاسین و آهن و تأثیر فرآیند تولید و انبارمانی ماکارونی بر این ریز مغذی‌ها

مهمدستی مظلومی^۱، میترا قاضی‌زاده^{۲*}، ممدود بهنگ‌مراهی^۳

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به نتایج بررسی‌های انجام شده مبنی بر کمبود آهن و ویتامین B_۲ در کشور و مصرف رو به رشد ماکارونی این تحقیق به منظور بررسی غنی‌سازی ماکارونی با تیامین، ریوفلاوین، نیاسین و آهن و تأثیر فرآیند تولید و پخت بر این ریزمغذی‌ها در انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: تحقیق به روش تجربی بر روی شش تیمار کاملاً یکنواخت و همگن از ماکارونی‌های غنی شده با تیامین، ریوفلاوین، نیاسین و دو نوع ملح آهن تولید شده در خط بلند کارخانه السبرز ماکارون صورت گرفت. برای این منظور سه فرمول مختلف با هر نوع ملح آهن (SO_۴Fe، VH_۲O، NaFe EDTA) تهیه شد. مقدار تیامین، ریوفلاوین، نیاسین و آهن افزوده شده به ترتیب در دامنه ۱۱-۴/۴، ۴/۸-۴/۴، ۲-۳۵/۲-۷۵ و ۸۱-۲۸/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم آرد مصرفی بود. میزان باقیمانده تیامین، ریوفلاوین و نیاسین نمونه‌های غنی شده پس از فرآیند تولید و پخت با دستگاه HPLC تعیین و با محصول تولیدی همان کارخانه (شاهد) مقایسه گردید. تأثیر فرآیند تولید بر رنگ و تأثیر پخت ماکارونی بر رنگ و طعم نمونه‌ها با روش رتبه‌بندی توسط ۳۰ ارزیاب خانگی ارزیابی شد. برای تحلیل آماری پارامترهای کمی از نرم‌افزار SPSS آزمون‌های تحلیل واریانس یک طرفه و تی مزدوج و برای ویژگی‌های حسی از آزمون فریدمن استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه و تحلیل نمونه‌ها نشان داد که تیامین، ریوفلاوین و نیاسین موجود در ماکارونی‌های غنی شده با فرمولاسیون‌های مختلف پس از فرآیند تولید به ترتیب ۸۷/۳۲-۸۶/۱، ۶۳/۹۲-۵۲/۵۴ و ۷۶/۳۹-۵۸/۱۴ و پس از فرآیند پخت به ترتیب ۷۳/۷۲-۶۷/۷۹، ۷۹/۰۸-۷۱/۵ و ۱۷/۱۷-۶۲/۸۰ درصد حفظ شد. با بالا رفتن میزان ریزمغذی‌های افزوده شده مقدار باقیمانده آنها در محصول غنی شده در تمامی تیمارها و فرآیندهای مورد بررسی نیز افزایش یافته است. کمترین درصد کاهش در میزان تیامین مشاهده شد و پس از آن نیاسین و ریوفلاوین قرار داشتند. ارزیابی حسی نمونه‌های خام و پخته نشان داد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی داری وجود ندارد. ولی تفاوت بین شاهد و تیمارهای مختلف معنی دار بود ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج طرح، غنی‌سازی ماکارونی با تیامین، ریوفلاوین، نیاسین و آهن امکان‌پذیر است. مناسب‌ترین فرمول برای غنی‌سازی ماکارونی، استفاده از ۱۱ میلی‌گرم تیامین، ۴/۸ میلی‌گرم ریوفلاوین، ۷۵ میلی‌گرم نیاسین و ۲۸/۶ میلی‌گرم آهن (بر پایه SO_۴Fe، VH_۲O) در کیلوگرم آرد است که می‌تواند بخشی از عوارض ناشی از کمبود این ریزمغذی‌ها را بر طرف کند.

واژگان کلیدی: غنی‌سازی، ماکارونی، تیامین، ریوفلاوین، نیاسین، آهن، ویتامین‌های گروه B

مقدمه

بررسی طرح امنیت غذا و تغذیه که در انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور اجرا شده و نتایج آن محور اساسی برنامه سوم اقتصادی قرار گرفته، در میان مشکلات تغذیه‌ای کشور به کمبود آهن و ویتامین B_۲ در جامعه اشاره شده است (۱). نتایج بررسی‌های

ویتامین‌ها با شرکت در ساختمان کوآنزیم‌ها و املاح معدنی به عنوان فعال‌کننده آنزیم‌ها نقش مهمی در متابولیسم ایفا می‌کنند. کمبود آنها موجب بروز آشفتگی‌هایی در روند واکنش‌های متابولیکی و بروز بیماری‌های ناشی از کمبود منجر می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از

۱. کارشناس ارشد صنایع غذایی

۲. *نویسنده مسؤل: پژوهش‌یار انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور. آدرس برای مکاتبه: تهران، شهرک غرب، مرکز تحقیقات تغذیه و صنایع غذایی.

E-mail: mitra1956@yahoo.com

۳. رییس گروه کنترل کیفی، پژوهشکده غلات

رنگ و طعم و عرضه محصول در بازار، مقادیر مختلف دو نوع ملح آهن NaFe EDTA و SO_4Fe ، H_2O ، VH_2O در دامنه ۸۸-۲۸/۶ میلیگرم آهن به ازای هر کیلوگرم آرد مصرفی، در بخش تغذیه کننده خط تولید با ریزمغذی‌ها، که توسط مجریان طرح و متخصصان شرکت البرز ماکارون طراحی و ساخته شده بود، با آب مخلوط و به صورت محلول یکنواخت و تدریجی و با در نظر گرفتن حجم آب مورد نیاز به ازای ۱۰۰ کیلوگرم آرد با سیستم کنترل خودکار به خط تولید ماکارونی اضافه شد. شش فرمول ماکارونی غنی‌سازی شده (با هر نوع ملح آهن سه فرمول) در خط بلند کارخانه البرز ماکارون با شرایط کاملاً یکسان و ثابت در حجم یک تن تولید و در پوشش‌های مقاوم به نور بسته‌بندی شد. از محصولات تولید شده به صورت تصادفی نمونه‌برداری شد. تأثیر فرآیند تولید بر رنگ محصولات غنی شده و رنگ و طعم ماکارونی‌های تولیدی پس از فرآیند پخت توسط همکاران طرح مورد ارزیابی مقدماتی قرار گرفت. با توجه به نتایج ارزیابی حسی مقدماتی و قابلیت تولید ماکارونی غنی شده مرحله اصلی طرح به شرح زیر انجام گرفت. در مرحله اصلی شش تیمار کاملاً یکنواخت و همگن با استفاده از مقادیر مختلف دو نوع ملح آهن NaFeEDTA ، SO_4Fe ، H_2O ، VH_2O ، تیمین هیدروکلراید، ریوفلاوین و نیاسین با درجه غذایی تولیدی شرکت‌های رش، مرک و DPL در خط بلند کارخانه البرز ماکارون با شرایط مرحله مقدماتی طرح تولید و بسته‌بندی شد (جدول ۱).

جدول ۱- میزان ریزمغذی‌های مورد استفاده در غنی‌سازی آرد ماکارونی

ریزمغذی‌ها	فرمول ۱*	فرمول ۲	فرمول ۳
تیمین	۴/۴	۷/۷	۱۱
ریوفلاوین	۲/۶۴	۳/۷۲	۴/۸
نیاسین	۳۵/۲	۵۵/۱	۷۵
آهن H_2O ، VH_2O ، FeSO_4 یا NaFeEDTA	۲۸/۶	۵۸/۳	۸۸

* مقادیر منعکس شده در جدول مربوط به میزان آهن موجود در هر یک از ترکیبات آهن است (میلیگرم).

از خط تولید به صورت کاملاً تصادفی نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها در کارتن‌های مقوایی به آزمایشگاه انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور منتقل شد. میزان تیمین، ریوفلاوین و نیاسین نمونه‌ها پس از فرآیند تولید و پخت با دستگاه HPLC و اترز تعیین گردید (۸). نتایج حاصل با نمونه غنی نشده تولید همان کارخانه که با مواد اولیه و شرایط مشابه تهیه شده بود (شاهد) مقایسه شد. برای حفظ بیشترین میزان ریزمغذی‌ها پس از فرآیند پخت، ۱۰۰ گرم ماکارونی به

تغذیه‌ای در طی سالیان گذشته نشان می‌دهند که حتی در کشورهای صنعتی و پیشرفته نیز بخش‌های وسیعی از مردم جامعه تعدادی از مواد مغذی از جمله ویتامین‌ها را از طریق غذای مصرفی در حد توصیه شده دریافت نمی‌کنند (۲). عوارض ناشی از تداوم این مشکل می‌تواند به بروز بیماری‌های ناشی از کمبود دامن زند. غلات و فرآورده‌های آن به عنوان اصلی‌ترین منابع تأمین کننده انرژی و پروتئین در کشور هستند (۱). نظر به ظرفیت تولید اسمی ۳۷۰۰۰۰ تن ماکارونی در کشور و برآورد مصرف سرانه بیش از شش کیلوگرم در سال (۳) و روند افزایش قیمت برنج که موجب رویگردانی مردم به ماکارونی شده است، ماکارونی می‌تواند به عنوان یکی از بهترین حامل‌های ویتامین‌های گروه B و آهن در امر غنی‌سازی انتخاب شود. کارل کالپ ماکارونی غنی شده را به عنوان منبع خوب مواد مغذی ضروری معرفی کرده است (۴). با توجه به این که مصرف پاستا و نودل‌ها در اغلب کشورها متداول است FAO آنها را حامل مناسبی برای غنی‌سازی اعلام کرده است (۵). در مطالعه‌ای ماکارونی را با تیمین، ریوفلاوین و نیاسین غنی‌سازی کرده و تأثیر روش‌های خشک کردن و شرایط انبارمانی را بر میزان این ریزمغذی‌ها مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج نشان داده‌است که کیفیت اسپاگتی به شرایط انبار کردن، میزان ویتامین‌های افزوده شده و درجه حرارت خشک کردن بستگی ندارد. کاهش ویتامین‌ها در مرحله پخت بیشتر از مرحله خشک کردن بوده و نور تأثیری بر میزان تیمین و نیاسین نداشته، ولی باعث کاهش شدید ریوفلاوین شده‌است (۶). دکستر و همکاران نیز آرد ماکارونی را با مخلوط ریزمغذی‌های تیمین، ریوفلاوین، نیاسین و آهن غنی‌سازی کردند و تأثیر شرایط فرآیند پخت را بر میزان ریزمغذی‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که پس از پخت ۳۰ درصد ریوفلاوین، ۳۹ درصد تیمین و ۴۸ درصد نیاسین در اسپاگتی باقی می‌ماند و غنی‌سازی نیز بر رنگ اسپاگتی تأثیر می‌گذارد (۷). به منظور بررسی امکان غنی‌سازی ماکارونی خط بلند کارخانه البرز ماکارون با تیمین، ریوفلاوین، نیاسین و آهن و تأثیر فرآیند تولید و پخت بر میزان این ریزمغذی‌ها این تحقیق در انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور با همکاری کارخانه البرز ماکارون در سالهای ۸۲-۱۳۸۰ انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق در دو مرحله به روش تجربی انجام شد. در مرحله مقدماتی برای ارزیابی قابلیت تولید ماکارونی غنی شده با آهن از نظر پذیرش

فرآیند تولید و پخت ماکارونی در جداول ۲ و ۳ همچنین درصد کاهش این ویتامین‌ها پس از تولید و پخت در جدول ۴ منعکس شده است. همانگونه که در جداول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود با افزایش میزان ریز مغذی‌ها در فرمول غنی‌سازی ماکارونی در کلیه تیمارهای مورد بررسی میزان باقیمانده به طور معنی داری افزایش یافته است ($p < 0.05$).

جدول ۲- میلیتین و انراف محصیل تیمین، ریبوفلاوین و نیاسین بعد از فرآیند تولید (میلیگرم درصد)

ریز مغذی‌ها	نیاسین	ریبوفلاوین	تیامین
فرمول ۱	۳/۱۱۴±۰/۳۷۸	۰/۲۰۷±۰/۰۰۹	۰/۶۲۱±۰/۰۰۶
فرمول ۲	۴/۸۹۲±۰/۱۷۸	۰/۲۷۶±۰/۰۳۶	۰/۹۵۷±۰/۰۶۴
فرمول ۳	۷/۵۹۳±۰/۱۰۰	۰/۴۱۱±۰/۰۴۷	۱/۲۷۱±۰/۰۹۳
شاهد	۰/۷۳۲±۰/۰۱۹	۰/۰۴۷±۰/۰۰۱	۰/۱۸±۰/۰۱۷

تیامین در فرآیند تولید مقاوم‌ترین ویتامین بود. در فرآیند پخت کمترین کاهش مربوط به ریبوفلاوین بود. تحلیل آماری نتایج یاد شده نشان داد که میزان باقیمانده تیامین، ریبوفلاوین و نیاسین موجود در نمونه‌های غنی‌سازی شده و شاهد پس از فرآیند تولید و پخت با یکدیگر اختلاف معنی داری داشتند ($p < 0.05$).

جدول ۳- میلیتین و انراف محصیل تیمین، ریبوفلاوین و نیاسین بعد از پخت (میلیگرم درصد)

ریز مغذی‌ها	نیاسین	ریبوفلاوین	تیامین
فرمول ۱	۲/۱۸۵±۰/۳۸۶	۰/۱۴۸±۰/۰۰۵	۰/۴۲۱±۰/۰۹۵
فرمول ۲	۳/۰۷۲±۰/۰۲۶	۰/۲۰۹±۰/۰۲۵	۰/۶۸۴±۰/۰۲۸
فرمول ۳	۵/۲۶۹±۰/۴۰۱	۰/۳۲۵±۰/۰۳۷	۰/۹۳۷±۰/۰۲۸
شاهد	۰/۰۷۳±۰/۰۰۳	۰/۰۳±۰/۰۰۵	۰/۰۶۹±۰/۰۱۶

نتایج تحلیل آماری با بهره‌گیری از آزمون تی مزدوج مقایسه میزان ویتامین‌های باقیمانده در فرآیند تولید و پخت نشان داد که اختلاف میزان تیامین غیر از شاهد خام و پخته و فرمول ۲ در حالت خام و پخته در بقیه موارد معنی دار نبود. از نظر اختلاف باقیمانده‌های ریبوفلاوین غیر از فرمول ۲ در حالت خام و پخته و فرمول ۳ در حالت خام و پخته در بقیه موارد تفاوت معنی دار بود ($p < 0.05$). از نظر اختلاف میانگین باقیمانده‌های نیاسین در تمام موارد اختلاف معنی داری را نشان دادند ($p < 0.05$).

بشر حاوی ۸۰۰ آب جوش منتقل می‌شد و حرارت دادن ۲۵-۲۰ دقیقه ادامه می‌یافت. با استفاده از درپوش مناسب تقریباً تمام آب جذب ماکارونی می‌شد. تأثیر فرآیند تولید بر رنگ و هم‌چنین رنگ و طعم ماکارونی‌های تولیدی پس از فرآیند پخت با روش رتبه‌بندی ارزیابی می‌شد. برای این منظور ابتدا سه نمونه ماکارونی غنی شده با SO_4 ، $7 H_2O$ ، تیامین، ریبوفلاوین و نیاسین و یک نمونه شاهد به صورت خام در ظروف مشابه که با اعداد سه رقمی تصادفی رمزگذاری شده بودند به طور تصادفی در اختیار ۳۰ ارزیاب خانگی همگی از کارکنان انستیتو تغذیه بودند قرار گرفت. از آنان درخواست شد که نمونه‌ها را از نظر پذیرش و ویژگی رنگ رتبه‌بندی کنند، به طوری که برای نمونه با بیشترین پذیرش رتبه یک و کمترین پذیرش رتبه ۴ منظور گردد (۹-۱۱). نمونه‌های ماکارونی با کمی نمک با روش پخت یاد شده تهیه شده و در ظروف مشابه که با اعداد سه رقمی تصادفی رمزگذاری شده بودند در اختیار ارزیاب قرار داده شد. از ارزیاب‌ها درخواست گردید که نمونه‌ها را از نظر پذیرش و ویژگی رنگ و طعم رتبه‌بندی کنند. در مرحله بعدی نمونه‌های خام و پخته ماکارونی غنی شده با $NaFe EDTA$ ، $3H_2O$ ، تیامین، ریبوفلاوین و نیاسین و نمونه شاهد به روش قبلی ارزیابی شد. برای تعیین ویژگی کمی مانند میانگین و انحراف معیار از آمار توصیفی استفاده شد. برای مقایسه پارامترهای کمی بین تیمارها از روش تحلیل واریانس یک طرفه ($\alpha = 0.05$) و متعاقباً بسته به نیاز از مقایسه چندگانه توکی استفاده شد. برای مقایسه مقادیر باقیمانده هر یک از ویتامین‌ها در مراحل فرآیند تولید و پخت از آزمون تی مزدوج بهره‌گیری شد. برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS استفاده شد. در مورد ویژگی‌های حسی از روش رتبه‌بندی و آزمون فریدمن استفاده گردید.

یافته‌ها

الف) مرحله مقدماتی

نتایج ارزیابی حسی مقدماتی رنگ نمونه‌ها نشان داد که هر دو منبع آهن به راحتی در غنی‌سازی ماکارونی قابل استفاده بوده و علیرغم آن که در بعضی مراجع به تیرگی بیش از حد ماکارونی غنی شده با $FeSO_4$ اشاره شده بود در این مرحله از تحقیق تغییر نامطلوبی مشاهده نشد که این موضوع در نمونه‌های پخته شده شاخص‌تر بود.

ب) مرحله اصلی

۱- نتایج تجزیه شیمیایی: میانگین و انحراف معیار باقیمانده تیامین، ریبوفلاوین و نیاسین در نمونه‌های غنی‌سازی شده و شاهد پس از

جدول ۸- نتایج ارزشیابی ویژگی رنگ در سه فرمول ماکارونی غنی‌سازی شده و شاهد

پخته (ملح $FeSO_4$)					
رتبه	۴	۳	۲	۱	جمع
فرمولاسیون					
شاهد	۱	۲	۴	۲۳	۳۰
فرمول ۱	۶	۸	۱۳	۳	۳۰
فرمول ۲	۱۲	۱۰	۷	۱	۳۰
فرمول ۳	۱۱	۱۰	۶	۳	۳۰

نتایج تحلیل آماری مقایسه ویژگی رنگ ماکارونی غنی‌سازی شده با تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین و آهن ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) و نمونه شاهد پخته با استفاده از آزمون فریدمن تفاوت معنی‌دار در محصولات پخته را نشان داد ($p < 0/05$). مقایسه دو تایی میانگین‌ها نشان داد که تفاوت شاهد با فرمول یک، فرمول ۲ و فرمول ۳ معنی‌دار است ($p < 0/05$). تفاوت نمونه‌های غنی‌سازی شده پخته در ویژگی رنگ با یکدیگر معنی‌دار نبود. نتایج تحلیل آماری مقایسه ویژگی طعم ماکارونی‌های غنی‌سازی شده با تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین و آهن ($NaFe EDTA \cdot 3H_2O$) و نمونه شاهد پخته با استفاده از آزمون فریدمن وجود تفاوت معنی‌دار در محصولات پخته را نشان داد ($p < 0/05$). مقایسه دو تایی میانگین‌ها نشان داد که تفاوت شاهد با فرمول یک، فرمول ۲ و فرمول ۳ معنی‌دار است ($p < 0/05$). ولی اختلاف نمونه‌های غنی‌سازی شده پخته در ویژگی رنگ با یکدیگر معنی‌دار نبود.

جدول ۹- نتایج ارزشیابی ویژگی طعم در سه فرمول ماکارونی غنی‌سازی شده و شاهد

شاهد پخته (ملح SO_4Fe)					
رتبه	۴	۳	۲	۱	جمع
فرمولاسیون					
شاهد	۳	۲	۸	۱۷	۳۰
فرمول ۱	۶	۱۱	۱۱	۲	۳۰
فرمول ۲	۵	۱۱	۹	۵	۳۰
فرمول ۳	۱۶	۶	۲	۶	۳۰

نتایج تحلیل آماری مقایسه ویژگی رنگ ماکارونی‌های غنی‌سازی شده با تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین و آهن ($NaFe EDTA \cdot 3H_2O$) و نمونه شاهد پخته با استفاده از آزمون فریدمن وجود تفاوت معنی‌دار در ویژگی رنگ محصولات پخته را نشان داد ($p < 0/05$). مقایسه دو تایی میانگین‌ها نشان داد که اختلاف شاهد با فرمول یک،

۲- نتایج ارزشیابی حسی: نتایج تأثیر فرآیند تولید بر رنگ و فرآیند پخت بر رنگ و طعم نمونه‌های غنی‌سازی شده با تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین و دو نوع ملح آهن ($SO_4 \cdot 7H_2O$ و $3H_2O$) و نمونه شاهد در جداول ۸-۶ منعکس شده است.

جدول ۶- نتایج ارزشیابی ویژگی رنگ در سه فرمول ماکارونی غنی‌سازی شده خام و شاهد

شاهد (ملح $FeSO_4$)					
رتبه	۴	۳	۲	۱	جمع
فرمولاسیون					
شاهد	--	۳	۷	۲۰	۳۰
فرمول ۱	۷	۶	۱۰	۷	۳۰
فرمول ۲	۱۴	۵	۸	۳	۳۰
فرمول ۳	۹	۱۶	۵	--	۳۰

تحلیل آماری نتایج مقایسه ویژگی رنگ ماکارونی‌های غنی‌سازی شده با تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین و آهن ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) و نمونه شاهد خام با استفاده از آزمون فریدمن تفاوت معنی‌دار در محصولات خام را نشان داد ($p < 0/05$). مقایسه دو تایی میانگین‌ها نیز نشان داد که شاهد با فرمول یک، فرمول ۲ و فرمول ۳ اختلاف معنی‌دار دارد ($p < 0/05$). همچنین تفاوت میانگین فرمول ۱ و ۳ نیز معنی‌دار بود ($p < 0/05$).

نتایج تحلیل آماری مقایسه ویژگی رنگ ماکارونی غنی‌سازی شده با تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین و آهن ($NaFe EDTA \cdot 3H_2O$) و نمونه شاهد خام با استفاده از آزمون فریدمن وجود تفاوت معنی‌دار در محصولات خام را نشان داد ($p < 0/05$). مقایسه دو تایی میانگین‌ها نشان داد که شاهد با فرمول یک، فرمول ۲ و فرمول ۳ اختلاف معنی‌دار دارد ($p < 0/05$). تفاوت نمونه‌های غنی‌سازی شده در ویژگی رنگ با یکدیگر معنی‌دار نبود.

جدول ۷- نتایج ارزشیابی ویژگی رنگ در سه فرمول ماکارونی غنی‌سازی شده خام و شاهد

شاهد (ملح $NaFeEDTA$)					
رتبه	۴	۳	۲	۱	جمع
فرمولاسیون					
شاهد	۳	۳	۱۰	۱۵	۳۱
فرمول ۱	۱۱	۹	۷	۴	۳۱
فرمول ۲	۹	۷	۱۲	۳	۳۱
فرمول ۳	۸	۱۲	۲	۹	۳۱

ندارد و تأثیر فرآیند تولید در هر سه فرمولاسیون تقریباً ثابت است. این نتایج با یافته‌های واتانابه همخوانی دارد (۶). البته میزان کاهش تیامین در تحقیق حاضر کمتر بود که حکایت از قابلیت‌های فن‌آوری کارخانه مورد مطالعه دارد. اگر RDA تیامین را به طور متوسط ۱/۲ میلی‌گرم در روز در نظر بگیریم ۱۰۰ گرم ماکارونی غنی شده (خشک) در فرمول‌های یک، دو و سه به ترتیب قادر به تأمین ۵۱/۷۵، ۷۹/۷۵ و ۱۰۵/۹ درصد تیامین توصیه شده خواهد بود.

در فرآیند پخت ماکارونی غنی‌سازی شده نیز با افزایش میزان تیامین افزوده شده، باقیمانده نیز افزایش می‌یابد. درصد کاهش تیامین در مرحله پخت در دامنه ۳۲/۲۱-۲۶/۲۸ در نوسان است و تمام نمونه‌ها از نظر میانگین مقدار باقیمانده تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری با یکدیگر نشان داده‌اند ($p < 0.05$). در این مرحله با افزایش میزان غنی‌سازی، درصد افت تیامین کاهش یافته است. با مرور یافته‌های دیگر متخصصان مشاهده می‌شود که کاهش ویتامین‌های محلول در آب در فرآیند پخت بالاست ولی در مطالعه حاضر با تغییر روش پخت نتایج مطلوب‌تری حاصل شده است. این یافته‌ها با یافته‌های سایر محققین متفاوت بود.

درصد کاهش ریوفلاوین در فرآیند تولید در محدوده ۴۷/۶-۳۶/۰۸ در نوسان بوده است، به طوری که در هر سه نمونه میانگین مقادیر باقیمانده تفاوت معنی‌داری را به لحاظ آماری با یکدیگر نشان دادند ($p < 0.05$). از طرف دیگر، با افزایش مقدار ریوفلاوین افزوده شده درصد کاهش ویتامین تقلیل یافته است. به نحوی که درصد کاهش ریوفلاوین در فرمول ۱ و ۲ و نمونه شاهد تقریباً یکسان است اما در فرمول ۳ این روند به چشم نمی‌خورد که احتمالاً به خطای آزمایش مربوط می‌شود. نتایج مطالعات واتانابه نشان داد که با افزایش دمای فرآیند میزان از دست رفتن ویتامین B₂ افزایش می‌یابد و بالاترین میزان کاهش ۲۶ درصد بوده است، در حالی که در تحقیق حاضر بالاترین میزان کاهش ۴۷/۴۶ درصد بوده است که این اختلاف می‌تواند به تفاوت دمای مورد استفاده برای خشک کردن ماکارونی در این دو تحقیق مربوط باشد. اگر RDA ریوفلاوین را به طور متوسط ۱/۱ میلی‌گرم در روز در نظر بگیریم، ۱۰۰ گرم ماکارونی غنی شده (خشک) پس از فرآیند تولید در فرمول‌های یک، دو و سه به ترتیب قادر به تأمین ۱۸/۸۱، ۲۵/۰۹ و ۳۷/۲۶ درصد ریوفلاوین توصیه شده خواهد بود.

در فرآیند پخت ماکارونی غنی‌سازی شده درصد کاهش ریوفلاوین با افزایش میزان ویتامین افزوده شده کمتر شده است (از ۲۸/۵۰٪ به ۲۰/۹۲٪). میزان ریوفلاوین باقیمانده پس از مرحله پخت در این

فرمول ۲ و فرمول ۳ معنی‌دار است ($p < 0.05$). ولی اختلاف نمونه‌های غنی‌سازی شده پخته در ویژگی رنگ با یکدیگر معنی‌دار نبود.

جدول ۱۰- نتایج ارزشیابی ویژگی رنگ در سه فرمول ماکارونی غنی‌سازی شده و شاهد

فرمولاسیون	پخته (ملع NaFeEDTA)				
	رتبه	۴	۳	۲	۱
شاهد	۲	۲	۷	۱۹	۳۰
فرمول ۱	۶	۱۰	۱۱	۳	۳۰
فرمول ۲	۷	۱۳	۸	۲	۳۰
فرمول ۳	۱۵	۳	۳	۶	۳۰

نتایج تحلیل آماری مقایسه ویژگی طعم ماکارونی‌های غنی‌سازی شده با تیامین، ریوفلاوین، نیاسین و آهن (NaFe EDTA، ۳H₂O) و نمونه شاهد پخته با استفاده از آزمون فریدمن وجود تفاوت معنی‌دار در ویژگی طعم محصولات پخته را نشان داد ($p < 0.05$).

جدول ۱۱- نتایج ارزشیابی ویژگی طعم در سه فرمول ماکارونی غنی‌سازی شده و شاهد

فرمولاسیون	شاهد پخته (ملع NaFeEDT)				
	رتبه	۴	۳	۲	۱
شاهد	۲	۸	۳	۱۷	۳۰
فرمول ۱	۷	۱۰	۷	۶	۳۰
فرمول ۲	۱۳	۷	۸	۲	۳۰
فرمول ۳	۸	۵	۱۲	۵	۳۰

مقایسه دوتایی میانگین‌ها مشخص کرد که شاهد با فرمول ۱، فرمول ۲ و فرمول ۳ اختلاف معنی‌دار دارد ($p < 0.05$). اما اختلاف نمونه‌های غنی‌سازی شده پخته در ویژگی طعم با یکدیگر معنی‌دار نبود.

بحث

با توجه به یافته‌های طرح مقدار کاهش تیامین در مرحله فرآیند تولید در محدوده ۱۳/۹۰ - ۱۲/۶۸ درصد در نوسان بوده است. به طوری که در هر سه نمونه میانگین مقادیر باقیمانده تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری با یکدیگر نشان داده‌اند ($p < 0.05$). به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که درصد کاهش تیامین در مرحله تولید ماکارونی غنی‌سازی شده با میزان تیامین افزوده شده ارتباطی

ارزیابی حسی نمونه‌های غنی‌سازی شده با دو نوع ملح آهن و سایر ریزمغذی‌ها نشان داد که میزان ریز مغذی‌های افزوده شده تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی نمونه‌های غنی شده ندارد. اگر چه تغییراتی در اثر استفاده از ترکیبات آهن در رنگ محصول مشاهده شد، در مقایسه با نتایج سایر تحقیقات این پروژه نتیجه بهتری داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که غنی‌سازی ماکارونی با ویتامین‌های B₁، B₂، نیاسین و آهن امکان‌پذیر است. اگر میانگین RDA ویتامین‌های B₁، B₂ و نیاسین را به ترتیب ۱/۲ به ۱/۱ و ۱۵ میلی‌گرم در روز در نظر بگیریم و هدف را تأمین حداقل ۳۰ درصد نیاز بر مبنای ماکارونی خشک در نظر بگیریم فرمول پیشنهادی عبارت خواهد بود از ۱۱ میلی‌گرم تیامین هیدروکلراید، ۴/۸ میلی‌گرم ریبوفلاوین، ۷۵ میلی‌گرم نیاسین و ۲۸/۶ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم آرد مصرفی. به علت اهمیت حفظ قدرت خرید مصرف‌کنندگان با درآمد پایین استفاده از FeSO₄ · 7H₂O به عنوان منبع آهن توصیه می‌شود. برای مطالعات آتی بسته بندی‌های مناسب، مقایسه روش‌های مختلف فرآیند تولید و بهینه‌سازی روش‌های فرآوری و مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری ویتامین‌ها پیشنهاد می‌شود.

تحقیق از ۷۱/۵ تا ۷۹/۰۸ درصد بود. این نتایج با یافته‌های واتانابه که میزان باقیمانده ریبوفلاوین را ۴۹-۴۳ درصد (۶) و دکستر و همکاران که باقیمانده ریبوفلاوین را ۳۰ درصد گزارش کرده‌اند (۷) تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد که بی‌شک این بهبود وضعیت به بهینه‌سازی روش پخت باز می‌گردد.

در فرآیند تولید ماکارونی غنی‌سازی شده با افزایش مقدار نیاسین افزوده شده میزان اتلاف این ویتامین (از ۴۱/۸۶ تا ۲۰/۹۲٪) کاهش یافت. اساساً نیاسین نسبت به حرارت، اکسیداسیون و قلیا پایدار است (۱۲). نتایج این تحقیق با یافته‌های واتانابه که میزان اتلاف نیاسین در طی فرآیند تولید را ۱/۵ برابر ریبوفلاوین گزارش کرده‌است، اختلاف دارد. با توجه به پایداری حرارتی ذکر شده، می‌توان به نتایج این تحقیق با نگاه مثبتی نگریست. با توجه به نتایج حاصل RDA نیاسین را به طور متوسط ۱۵ میلی‌گرم در روز در نظر بگیریم، ۱۰۰ گرم ماکارونی غنی شده (خشک) پس از فرآیند تولید در فرمول‌های یک، دو و سه به ترتیب قادر به تأمین ۲۰/۷۶، ۳۲/۱۳ و ۵۰/۶۲ درصد نیاسین توصیه شده خواهد بود.

در فرآیند پخت ماکارونی غنی‌سازی شده میزان اتلاف نیاسین ۳۷/۲۰-۲۹/۸۳ درصد بود. این نتایج با یافته‌های واتانابه که کاهش نیاسین را در ماکارونی پخته ۳۴-۲۹ درصد گزارش کرده است کاملاً همخوانی دارد (۶) ولی با یافته‌های دکستر و همکاران که بالاترین میزان نیاسین حفظ شده در فرآیند پخت را ۴۸ درصد گزارش کرده‌اند تفاوت دارد (۷).

REFERENCES

۱. قاسمی حسین. گزارش نهایی طرح امنیت غذا و تغذیه کشور، مطالعات الگوی برنامه‌ریزی و اجرا. انستیتو تحقیقات تغذیه و صنایع غذایی کشور، صفحات: ۱۹-۲۰، ۱۳۷۷.
2. Buzina, Ratko. Vitamins in food fortification. vitamin informations status paper, Human nutrition and health vitamins and fine chemicals Division. 1998; 6 -20.
۳. حساس محمدرضا. طرح مطالعات صنایع تبدیلی غذا، گزارش بررسی وضعیت موجود در صنایع ماکارونی با تحلیلی بر عملکرد سیاست‌ها. طرح امنیت غذا و تغذیه کشور، مطالعات الگوی برنامه‌ریزی و اجرا، جلد اول، انستیتو تحقیقات تغذیه و صنایع غذایی کشور ۱۳۷۶، صفحه ۲۰.
4. Kulp K, Ponte JR. Handbook of Cereal Science and Technology. 2nd ed. Marcel Dekker Inc. New York. Basel. 2000; 655-657, 677-704.
5. FAO Food and nutrition paper-60, 1997. Micronutrient fortification of food: technology and quality control (Annex 4). Report of an FAO technical meeting, Rome, Italy, 20-23 November 1995.
6. Watanabe E, Ciacco CF. Influence of processing and cooking on the retention of thiamine, riboflavin and niacin in spaghetti; Food Chemistry, 1990; 36: 223-231.
7. Dexter JE. Effects of processing conditions and cooking time on riboflavin, thiamine, and niacin levels in enriched spaghetti. Cereal Chemistry, 1982; 59(5): 328-332.
8. Eitenmiller, Ronald R. Vitamine Analysis for the Health and Food Sciences. CRC Press. USA, 1999; 281-290, 359-

360.

۹. قاضی زاده میترا، رازقی سید علیرضا. روش های ارزیابی حسی مواد غذایی. انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور ۱۳۷۷، صفحات: ۷۰-۷۳.

10. ISO 8587. Sensory analysis. Methodology-Ranking, 1st ed, 1988.

11. Lawless HT, Heymann H. Sensory Evaluation of Food-Principles and Practices. Chapman and Hall; 1998; 444 -9.

12. Passmore R, Eastwood MA. Human Nutrition and Dietetics, 8th ed. Churchill Livingstone, 1986; 155.

جدول ۴- درصد کاهش تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین در نمونه‌های غنی‌سازی شده و شاهد پس از تولید و پخت

فرمولاسیون (میلیگرم درصد) *												فرآیند
نیاسین (میلیگرم.%) *				ریبوفلاوین (میلیگرم.%) *				تیامین (میلیگرم.%) *				
شاهد	۱	۲	۳	شاهد	۱	۲	۳	شاهد	۱	۲	۳	
۰/۷۳۲	۳/۱۱۴	۴/۸۹۲	۷/۵۹۳	۰/۰۴۷	۰/۲۰۷	۰/۲۷۶	۰/۴۱۱	۰/۱۸	۰/۶۲۱	۰/۹۵۷	۱/۲۷۱	فرآیند تولید
۴۱/۸۶	۰۳۶/۰۵	۲۲/۶۱	۴۶/۷۲	۳۶/۰۸	۴۶/۷۲	۴۷/۴۶	۲۹/۰۵	۱۲/۶۸	۱۳/۲۷	۱۳/۹	۰/۹۳۷	درصد کاهش پس از تولید
۰/۰۷۳	۲/۱۸۵	۳/۰۷۲	۵/۲۶۹	۰/۰۳	۰/۱۴۸	۰/۲۰۹	۰/۳۲۵	۰/۰۶۹	۰/۴۲۱	۰/۶۸۴	۲۶/۲۸	فرآیند پخت
۲۹/۸۳	۳۷/۲۰	۳۰/۶۱	۲۴/۲۸	۲۰/۹۲	۲۴/۲۸	۲۸/۵	۲۰/۹۲	۲۸/۵۳	۳۲/۲۱	۲۸/۵۳	۳۶/۵۲	درصد کاهش پس از پخت
۵/۲۰	۵۹/۸۴	۴۶/۹۹	۶۲/۴۴	۴۹/۴۶	۵۹/۶۵	۶۲/۴۴	۴۹/۴۶	۴۱/۲۰	۳۷/۵۹	۳۷/۵۹	۳۶/۵۲	کاهش نهایی پس از تولید و پخت

*کلیه نتایج بر اساس ماده خشک بیان شده است.