مروری بر رویکردهای نوین در غنی‌سازی پاستا با استفاده از میوه‌ها و سبزی‌ها

امیر پویا قندهاری یزدی[1]، لیلا کمالی روستا، محمد حسین عزیزی تبریز زاد[3*]، مهدی امینی[4]، محمد توکلی[5]، متین یحیوی[6]

1- دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه توسعه صنعتی و پژوهشی زر.
2- دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه توسعه صنعتی و پژوهشی زر.
3 - استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
4- دکتری مدیریت، عضو هیأت مدیره گروه توسعه صنعتی و پژوهشی زر.
5- کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه توسعه صنعتی و پژوهشی زر.
6- کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه توسعه صنعتی و پژوهشی زر.

(تاریخ دریافت: 98/11/12 تاریخ پذیرش: 99/02/21)

چکیده

پاستا با توجه به قیمت پایین، پخت آسان و طعم مطلوب یکی از غذاهای محبوب در دنیا می‌باشد. پاستا از نظر میزان کالری غنی بوده ولی میزان فیبرها، مواد معدنی، ترکیبات فنلی و ویتامین‌ها در آن پایین می‌باشد. با توجه به مواد اولیه محدود در تولید پاستا، محبوبیت آن در بین تمامی اقشار جامعه و همچنین فرایند تولید ساده‌ی پاستا می‌توان از پاستا به عنوان یک حامل مناسب برای غنی‌سازی استفاده نمود. در این مطالعه به بررسی تاثیر غنی‌سازی پاستا با استفاده از سبزی‌ها و میوه‌ها بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و تغذیه‌ای پاستا پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان دهنده آن بوده که اضافه نمودن میوه‌ها و سبزی‌ها به فرمولاسیون پاستا منجر به افزایش قابل توجه ترکیبات زیست‌فعال مانند ترکیبات فنلی و همچنین خصوصیات ضد اکسایشی در پاستا می‌شود. در بین مراحل تولید پاستا، پخت بیشترین تاثیر را بر کاهش ترکیبات زیست فعال دارد. سبزی‌ها و میوه‌ها می‌توانند به آب جوش (آب پخت) وارد شوند و یا بر اثر حرارت تخریب شوند. غنی‌سازی باعث تضعیف شبکه‌ی گلوتنی شده که منجر به ایجاد تغییر در خصوصیات پخت و بافت پاستا می‌شود. با توجه به نوع ترکیبات اضافه شده به فرمولاسیون پاستا، تاثیر بر شاخص گلایسمی پاستا متفاوت می‌باشد. بنابراین، غنی‌سازی تنها درصورتی موفق خواهد بود که شرایط فرایند بهینه شود تا در محصول نهایی ویژگی‌های تغذیه‌ای مورد نظر در سبزی‌ها و میوه‌ها حفظ شود.

کلید واژگان: پاستا، ترکیبات زیست فعال، غنی‌سازی، غذای عملگرا.

* مسئول مکاتبات: azizit_m@modares.ac.ir

1- مقدمه

طبق تعریف پیشنهاد شده از سوی انجمن تغذیه آمریکا، مواد غذایی فراسودمند به هر غذا و یا جز اطلاق می‌گردد که علاوه‌بر تامین نیازهای معمولی بدن، باعث کاهش ابتلا به بیماری و بهبود در سلامت مصرف کنندگان شود. مواد غذایی فراسودمند بایستی یک غذای متداول بوده و به عنوان بخشی از رژیم غذایی روزانه افراد باشد. همچنین برای تمامی افراد یک جمعیت یا بخش خاصی از آن کاربردی باشند [1].

به طور کلی از روش‌های زیر می‌توان مواد غذایی فراسودمند را تولید کرد [2].

- حذف اجزائی که سبب تاثیرات نامطلوب در هنگام مصرف می‌گردند (مانند پروتئین‌های آلرژن).
- افزودن غلظت ترکیبات طبیعی که در ماده غذایی تا حدی وجود دارند و سبب القای تاثیرات پیش بینی شده می‌شوند (مثلا غنی‌سازی با ریزمغذی‌هایی که از سطح روزانه مصرف بالاتر رفته و با رژیم غذایی همخوانی داشته و سبب کاهش خطر بیماری شوند) یا افزایش غلظت ترکیبات مغذی به سطحی که خصوصیات سلامت بخشی ایجاد کنند.
- افزودن اجزائی که به طور طبیعی در بیشتر مواد غذایی وجود نداشته و لزوما جزء ترکیبات ریز یا درشت مغذی نبوده ولی خواص سلامت بخشی آن‌ها ثابت شده است (مثلا ویتامین‌ها، فیبرهای رژیمی، ضد اکسیدان‌ها یا فروکتان‌های پری‌بیوتیک[1]).
- جایگزینی یک جزء، عموما درشت مغذی (مثلا چربی) که معمولا دریافت آن بالا بوده و سبب تاثیرات منفی شده با اجزائی که تاثیرات مثبتی بر سلامت دارند (مانند اینولین).
- افزایش در دسترس پذیری یا پایداری ترکیبات شناخته شده که تاثیرات فراسودمندی دارند و سبب کاهش ابتلاء به بیماری‌های ناشی از تغذیه نادرست می‌شوند.

پاستا به عنوان یک محصول محبوب، دارای خصوصیات مناسبی برای غنی‌سازی می‌باشد که از این خصوصیات می‌توان به زمان نگهداری طولانی، شاخص گلایسمی پایین، مصرف بالا توسط تمام سنین و تمام اقشار جامعه و نیم‌رخ تغذیه‌ای مناسب پاستا اشاره نمود [3].

تا در سال 2015، بالاترین سرانه مصرف پاستا متعلق به کشور ایتالیا با 26 کیلوگرم بوده است و بعد از آن کشورهای ونزوئلا و تونس به ترتیب با 13/2 و 11/9 کیلوگرم سرانه مصرف در رتبه های دوم تا سوم قرار داشته‌اند. کشور ایران نیز با سرانه مصرف 5 کیلوگرم در جایگاه ششم جهان قرار داشته است. سازمان بهداشت جهانی (WHO[2]) و غذا و داروی آمریکا (FDA[3]) پاستا را به عنوان حاملی مناسب برای افزودن مواد غذایی پیشنهاد داده‌اند. پاستا یکی از اولین محصولات غذایی بود که FDA اجازه داد که برای غنی‌سازی با آهن و ویتامین در سال 1940 استفاده شود [4].

لذا در جهان امروز با توجه به عامه پسندی پاستا و سایر محصولات خمیری مشابه این خانواده و همچنین علاقه‌مندی کودکان به مصرف این محصولات و به‌علاوه مناسب بودن آن به عنوان یک منبع غذایی مقرون به صرفه و اقتصادی، با غنی‌سازی آن توسط مواد مغذی طبیعی می‌توان محصول غذایی فراسودمندی تهیه کرد که علاوه‌بر مقبولیت طعمی و ذائقه ای از سوی مصرف کنندگان، در جهت برآورده ساختن نیازهای تغذیه‌ای، سلامت بیشتر و مرتفع نمودن کمبود ریزمغذی‌هایی که ممکن است در این محصولات در حالت عادی وجود نداشته باشد گام موثری برداشت [5]. خصوصیات سلامتی بخش سبزی‌ها و میوه‌ها ناشی از وجود فیبرها، مواد معدنی و بسیاری از ترکیبات دیگر مانند ویتامین‌ها، فنل‌ها، کاروتنوئیدها، گلوکوزینولات‌ها می‌باشد؛ بنابرای استفاده از این ترکیبات در فرمولاسیون پاستا می‌تواند نقش مؤثری در جهت ایجاد خصوصیات فراسودمند در پاستا داشته باشد. هدف از این پژوهش بررسی میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده شده جهت تولید پاستای فراسودمند و تاثیر آن‌ها بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و تغذیه‌ای پاستا می‌باشد.

پاستا به خودی خود یک غذای سالم است و اگر به آن ترکیبات سلامت بخش مانند ویتامین‌ها نیز اضافه شود، می‌توان آن را به عنوان یک غذای ایده‌آل سلامت محور استفاده نمود. بنابراین نیاز به بررسی ترکیبات مختلف سلامت بخش بر پایه گیاهی و حیوانی می‌باشد که دارای سازگاری با ویژگی‌های فیزیولوژیکی

1. Prebiotic fructans

2. World Health Organization
3. Food and Drug Administration

پاستا و همچنین پایداری پس از پخت باشند. همچنین افزودن ترکیبات سلامت بخش به هیچ وجه نباید بر کیفیت غذا و ترجیح مصرف کننده تاثیر بگذارد و به غیر از مزایای سلامتی بخشی که ارائه می‌دهد، باید خوشمزه نیز باشد [6].

انواع مختلف مواد اولیه جایگزین و افزودنی‌ها می‌توانند برای بهبود ویژگی‌های فناوری و همچنین وضعیت تغذیه‌ای پاستا استفاده شوند. برای مثال استفاده از آردهای سایر غلات و یا ایزوله‌های پروتئینی برای بهبود ویژگی‌های پخت و تغذیه‌ای، امولسیفایرها [7] و هیدروکلوئیدها [8] برای بهبود خصوصیات سطح، حفظ آب و ویژگی‌های خمیر می‌توانند استفاده شوند. ضد اکسایندهها برای جلوگیری از کاهش رنگ پاستا و سایر افزودنی‌های غذایی مانند فیبرهای رژیمی و بتا گلوکان، آردهای حبوبات، مواد مغذی، محصولات گیاهی و حتی برخی از اسیدهای چرب اشباع بلند زنجیر چند غیراشباع می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. افزودن ساده یک ترکیب عملکردی باید با توجه به متغیرهای بسیاری مانند واکنش با شبکه مواد غذایی، پایداری در محصول و دسترسی زیستی محصول نهایی انجام شود. در سال های اخیر، شواهد علمی که اثرات فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای ترکیبات مختلف را به اثبات می‌رسانند، موجب افزودن آن‌ها به محصولات غذایی مختلف از جمله ماکارونی شده است. در میان بهبود عملکردهای فیزیولوژیکی، سلامت روده، فعالیت سیستم ایمنی، فعالیت ذهنی، پیشگیری از سرطان، بیماری قلبی عروقی، دیابت و پوکی استخوان از اهداف اصلی غذاهای فراسودمند با هدف پیشگیری از آسیب‌های خاص می‌باشد [7].

2-فرآیند تولید پاستا

آرد گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. vat. *Durum*) یا سمولینا، ماده اولیه حائز اهمیت برای تهیه پاستا با کیفیت بالا است و موجب ایجاد خصوصیات رنگی ویژه، عطر و طعم و کیفیت پخت در پاستا می‌شود؛ از این رو، کیفیت پاستا به کیفیت سمولینا وابسته بوده و کیفیت سمولینا هم به نوبه خود به کیفیت گندم دورم بستگی دارد. نتایج پژوهش‌ها نشان داده از لحاظ آزمون‌های فیزیکوشیمیایی سمولینای گندم دوروم دارای مقدار پروتئین و شاخص گلوتنی بالاتری نسبت به آرد گندم سخت بوده، بنابراین منجر به شبکه پروتئینی قوی‌تر و در نتیجه کیفیت بهتر پاستا می‌شود [9]. فناوری ساخت پاستا شامل هر دو مرحله فرآیند و عملیات است و نمی‌توان آن‌ها را از هم جدا کرد. فرآیند به معنی تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی (و همچنین تغذیه‌ای) است که بر روی مواد اولیه و در حین عملیات فناوری ساخت پاستا اتفاق می‌افتد. عملیات هم به معنی فعالیت‌های مکانیکی، هیدرومکانیکی و الکتریکی است که بر مراحل تولید تاثیر می‌گذارند. که به‌طور خلاصه به موارد زیر تقسیم بندی می‌شوند [5]:

2-1-مخلوط کردن

در اولین مرحله فرآیند تولید بعد از آسیاب کردن سمولینای دوروم، سمولینا هیدراته شده و به خمیر تبدیل می‌شود. در حین همزدن آب در سمولینا پخش شده و سبب هیدراته شدن همگن ذرات می‌گردد. مقدار آب اضافه شده به سمولینا عموما بین 25 تا 34 کیلوگرم بر 100 کیلوگرم سمولینا می‌باشد که آن هم به مقدار رطوبت اولیه سمولینا و شکل نهایی پاستا بستگی دارد [10]. آب اضافه شده نبایستی بو یا مزه بدی داشته باشد و باید به منظور سالم بودن از نظر آلودگی میکروبی و شیمیایی بررسی گردد. آب مورد استفاده نباید سخت باشد و باید حاوی مقدار کمی سدیم، منیزیم و یون‌های کلسیم باشد زیرا این ترکیبات می‌توانند سبب بو یا رنگ نامطلوب در محصول نهایی شوند [11].

2-2-اکستروژن

بعد از مخلوط نمودن (10-20 دقیقه)، عملیات تولید پاستا در مرحله‌ی اکستروژن و یا غلتکی نمودن ادامه می‌یابد. در اکستروژن، خمیر در فشار بالا مخلوط و فشرده شده و در نهایت با قالب مورد نظر به شکل نهایی در می‌آید. در فرآیند اکستروژن به دلیل فشار و اصطکاک بالا، گرما ایجاد می‌شود به همین دلیل فرآیند اکستروژن باید کنترل شود. در طی فرآیند اکستروژن، پروتئین‌ها بر روی یکدیگر اثر متقابل داشته و یک شبکه‌ی قوی گلوتنی را تشکیل می‌دهند که در عملکرد پخت محصول نهایی مؤثر خواهد بود [12]. کمبود کار انجام شده بر روی خمیر و یا انرژی حرارتی بیش از حد منجر به جلوگیری از گسترش شبکه‌ی پروتئینی و یا تخریب آن می‌شود [13]. به منظور جلوگیری ازاکسیداسیون بیشتر رنگدانه‌ها به وسیله‌ی آنزیم‌ها و همچنین

کاهش دسترسی به اکسیژن، فرآیند اکستروژن در خلاء انجام می‌شود [14]. وجود خلاء سبب می‌شود که اکسیداسیون پیگمان‌ها و همچنین تجزیه و تخریب آنزیمی به حداقل برسد. فرآیند مخلوط کردن و اکستروژن منجر به قرار گرفتن گرانول‌های نشاسته در شبکه پروتئینی می‌شود [15]. اگرچه جزء اصلی پاستا تاکنون گرانول‌های نشاسته هستند، در این مرحله از فرآیند هنوز توانایی تشکیل شبکه را ندارند [16]. در روش دیگر خمیر به جای اکستروژن از بین چندین جفت غلتک عبور می‌کند که موجب ورز دادن خمیر و فشرده شدن آن و تبدیل آن به ورقه‌های نازک می‌شود. در این روش خمیر چندین بار تا خورده که موجب ایجاد پیوند پروتئین‌ها و گسترش شبکه‌ی گلوتنی می‌شود. در روش فوق، احتیاج به رطوبت بالا در مرحله‌ی مخلوط کردن می‌باشد. نکته مهم آن‌که عبور بیش از حد خمیر از بین غلتک‌ها موجب صدمه به شبکه‌ی پروتئینی می‌شود. در نهایت ورقه‌های به دست آمده در طول و عرض مناسب برش داده می‌شوند [11]. منفذ خوارک دهی (قالب ها) معمولا با تفلون پوشش یافته است تا بتوان پاستا با سطح صاف تولید کرد، درحالی‌که منافذ برنجی معمولا برای رسیدن به سطح پاستای زبرتر استفاده می‌شود و کمک می‌کنند تا سس بهتر به پاستای پخته بچسبد. منافذ تفلونی توان مصرفی بالاتری دارند. بعد از اکستروژن کردن، پاستا سریعا در معرض جریان هوا قرار می‌گیرد تا از میزان شکست و چسبندگی آن‌ها کاسته شود. رشته‌ها سپس به داخل پیش خشک کن وارد می‌شوند. پاستای تازه سپس خشک می‌گردد تا میزان رطوبت آن به حدود 12 درصد برسد و فعالیت آبی آن هم کاهش یابد تا بتوان زمان بیشتری آن را نگهداری نمود [10].

2-3-خشک کردن

بعد از انجام اکستروژن و یا غلتکی کردن خمیر، باید رطوبت پاستا از 30 درصد به حدود 12/5 درصد برسد. خشک کردن بخش مهمی از روند تولید پاستا با کیفیت بالا است. رطوبت، جریان هوا و درجه حرارت در طی فرآیند خشک نمودن پاستا کنترل می‌شود. خشک کردن پاستا ابتدا در دمای پایین 40-50 درجه سانتی‌گراد انجام می‌شد و سپس با استفاده از فناوری‌های جدید، دمای بالا 60-90 درجه سانتی‌گراد در کارخانه‌های صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. در دهه‌های گذشته، پذیرش درجه حرارت بالا (بیش از 90 درجه‌ی سانتی‌گراد) برای خشک نمودن پاستا منجر به بهبود خصوصیات پخت پاستا شده است [17]. تاثیر دمای فرآیند خشک نمودن پاستا، بر کیفیت آن توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است [12، 18 و 19]. نتایج نشان دهنده آن بوده که در دمای پایین خشک کردن، کیفیت و کمیت پروتئین‌های مواد خام، کیفیت پاستا را تعیین می‌نماید. در دماهای بالا فقط مقدار پروتئین معنی‌دار بوده است [20]. سیستم‌های نوین خشک کردن با درجه‌ی حرارت بالا علاوه‌بر بافت، رنگ پاستا را نیز بهبود می‌بخشد زیرا به دلیل انجام واکنش میلارد[1] باعث افزایش زردی (b^*) و قرمزی (a^*) می‌شود. بونومی[2] و همکارن به بررسی تاثیر مراحل تولید پاستا از نظر مولکولی بر ساختار پاستا پرداخته‌اند. نتایج تحقیقات آن‌ها بیان کننده آن بوده است که مرحله‌ی خشک نمودن پاستا بر کیفیت حسی پاستا بسیار تاثیر گذار بوده است. آن‌ها مشاهده نموده‌اند که در دمای بالای خشک نمودن، شبکه‌ی گلوتنی دچار واسرشتی[3] شده و غیر محلول می‌شود که این تغییرات منجر به آن شده که این دسته از پروتئین‌ها در هنگام پخت کمتر دچار تغییرات شوند و از طرفی بر روی باد کردگی نشاسته اثر گذاشته و منجر به جذب آب کمتر پاستا می‌شوند [21]. استفاده از دمای بالا مزایای اقتصادی زیادی داشته زیرا زمان فرآیند در آن کوتاه‌تر بوده ولی نیازمند کنترل دقیق‌تر به منظور حصول فرآورده با کیفیت بالا است. در حقیقت، برخی از تاثیرات نامطلوب از قبیل قهوه‌ای شدن آنزیمی (یا میلارد) در دمای بالا و خشک کردن زیاد اتفاق می‌افتد و یا وجود تنش‌های حرارتی- مکانیکی می‌توانند محصول را شکننده کرده و از این رو بایستی فرآیند به طور دقیق کنترل گردد [12].

بایستی یادآور شد که وجود تنش و شکست در داخل پاستا می‌تواند سبب انقباضات در خمیر شود [23]. اما از طرفی دیگر، بایستی اشاره شود که استفاده از دمای بالا سبب بهبود کیفیت میکروبی و همچنین کیفیت پخت پاستا از قبیل سفتی، چسبندگی کمتر و افت ناشی از پخت کمتر می‌گردد [24]. حرارت سبب

1. Maillard
2. Bonomi
3. Denaturation

تقویت شبکه پروتئینی شده و از نشت نشاسته در حین پخت جلوگیری می‌کند و در حین پخت کیفیت سطح پاستا را در حد مطلوب نگه می‌دارد [5].

2-4-نگهداری و بسته بندی پاستا

محصول نهایی در کیسه‌های سلفونی یا پلی اتیلنی و جعبه‌های کارتنی بسته بندی می‌شود. بسته بندی برای محافظت از محصول از آلودگی، حفظ خصوصیات فیزیکو شیمیایی، محافظت از صدمه در حین انتقال و نگهداری و همچنین بازار پسندی محصول حائز اهمیت است [5].

3-مشخصات کیفی

کیفیت پاستا از دید تولید کننده و مصرف کننده بسیار حائز اهمیت است و شامل خصوصیات پخت از قبیل سفتی، چسبندگی و مقاومت به پخت، جذب آب، درجه تورم و نرخ ژلاتینه شدن می‌باشد [25]. پاستای با کیفیت به پاستایی اطلاق می‌شود که درجه سفتی و الاستسیته بالایی داشته باشد. عوامل مختلفی هستند که بر خصوصیات پاستای پخته شده تاثیر می‌گذارند که از این موارد می‌توان به سفتی و قابلیت فشرده شدن که متاثر از سطح پروتئین‌ها هستند یا الاستسیته که عموما تحت تاثیر دمای خشک کردن است، افت ناشی از پخت بهینه پاستا که متاثر از سطح پروتئین و همچنین افت ناشی از پخت طولانی که متأثر از هر دوی متغیرها است، اشاره نمود. ساختار پاستای پخته شده عموما به صورت شبکه‌ای فشرده از گرانول‌های نشاسته که در شبکه‌ی پروتئینی قرار گرفته‌اند، تعبیر می‌شود. در حین پخت، رقابت فیزیکی بین تورم نشاسته و خصوصیات پروتئین‌ها تعیین می‌کند که پاستای پخته شده سفت یا الاستیک (وقتی که شبکه پروتئینی قوی تشکیل می‌شود و ذرات نشاسته در شبکه پروتئینی قرار می‌گیرند) و یا چسبنده و نرم باشد (وقتی که نشاسته تورم بالایی داشته باشد). از این جهت، بافت نقشی اساسی در تعیین پذیرش نهایی محصول توسط مصرف کننده را دارد و یکی از نقاط بحرانی برای سنجش کیفیت پاستا است [26]. از خصوصیات مهم در کیفیت پاستا می‌توان به رنگ، زمان پخت مناسب، افت پخت، جذب آب و شاخص بادکردگی، افزایش حجم، نیمرخ‌بافت و طعم آن اشاره کرد.

4-خصوصیات ساختار پاستا

بدون در نظر گرفتن نوع گندم انتخاب شده برای تولید پاستا، کیفیت پاستا مربوط به ساختار پروتئین و نشاسته و اثر متقابل نشاسته و پروتئین در هنگام فرآیند تولید و پخت می‌باشد. نقطه بحرانی برای تولید پاستا با کیفیت پخت خوب و بافت قابل قبول، گسترش شبکه‌ی پروتئینی با یک حد تعادل مناسب بین الاستیسیته و توسعه پذیری[1] در هنگام فرآیند می‌باشد. ساختار فشرده و اتصالات عرضی پایدار شده، به وسیله‌ی پیوندهای هیدروژنی و آب‌گریز حاصل شده از پروتئین‌های گلوتن برای اطمینان از کیفیت بالای پاستا لازم می‌باشد [27]. اضافه نمودن آب به آرد گندم یا سمولینا در هنگام مخلوط نمودن موجب به باز شدن ساختار پروتئین‌ها شده، به طوری‌که جذب آب و بادکردگی اتفاق افتاده و پیوندهایی که ساختار را حفظ می‌نمایند تضعیف می‌شوند [28]. افزایش نیرو به بسپار منجر به کشیده شدن آن شده و ساختار دچار تغییر شکل می‌شود؛ در نتیجه پیوندهای دی‌سولفید شکسته شده و دوباره در جهت تشکیل یک شبکه‌ی هم‌تراز گسترش می‌یابند [5]. با افزایش زمان مخلوط نمودن، ضخامت صفحات کاهش اما اثر متقابل بین آن‌ها افزایش می‌یابد. بعد از مخلوط نمودن، اگرچه ذرات آرد هیدراته می‌شوند اما شبکه‌ی گلوتنی به صورت کامل گسترش نیافته و تشکیل نمی‌شود. بیشترین میزان گسترش پروتئین در هنگام فرآیند غلتک و اکستروژن اتفاق می‌افتد. اگرچه در فرآیند تولید پاستا به دلیل میزان آب کم و انرژی محدود، گلوتن به طور کامل گسترش پیدا نمی‌کند. چنانچه شبکه‌ی گلوتنی به طور مناسب گسترش یافته باشد، گرانول‌ها نشاسته در بین شبکه گلوتنی قرار گرفته و احاطه می‌شوند. پژوهشگران پیشنهاد نموده‌اند که در همان دقیقه‌ی اول از فرآیند غلتک و یا اکستروژن، پروتئین‌ها به صورت شبکه‌ای نامنظم قرار گرفته و گرانول‌های نشاسته در جهت نیروی وارد شده در بین آن‌ها قرار می‌گیرند. در پایان فرآیند، گرانول‌ها نشاسته به صورت کامل به وسیله‌ی شبکه‌ی گلوتنی احاطه شده‌اند و تشکیل شبکه‌ی پروتئین- نشاسته را می‌دهند [6]. آخرین و مهمترین مرحله از فرآیند تولید پاستا خشک نمودن آن

1. Extensibility

می‌باشد که منجر به کاهش رطوبت پاستا به کمتر 12/5 درصد می‌شود و از این طریق مانع تکثیر میکروارگانیسم‌ها و کاهش فعالیت متعدد آنزیم‌ها می‌شود. در این مرحله، رطوبت و حجم پاستا باید به صورت یکنواخت و همگن کاهش یابد تا از به وجود آمدن شکستگی‌های و نقص‌های قابل مشاهده جلوگیری نماید. علاوه‌بر این در هنگام خشک نمودن پاستا، فیلم‌های پروتئینی بر اثر واسرشتی، تشکیل بسپار و توده‌ای شدن، تثبیت می‌شوند [29]. در هنگام فرآیند پخت، آب از طریق شکاف‌ها موجود در فیلم‌های پروتئینی نفوذ کرده و در نتیجه سطح پاستا نرم، پروتئین‌ها هیدراته و حجم را افزایش داده و تنش هایی ایجاد می‌کند که منجر به ایجاد شکستگی‌های اضافی می‌شود. جذب آب به وسیله‌ی شبکه‌ی پروتئینی منجر به ایجاد شیب انتشار از سطح به مرکز پاستا شده، در حالی‌که ژلاتینه شدن اتفاق می‌افتد. این تغییرات به نفوذ بیشتر آب کمک می‌کند که باعث نرم شدن بیشتر پاستا می‌شود [30 و 31]. همه این پدیده‌ها یک ساختار پیچیده و متخلخل ایجاد می‌کنند که شامل یک شبکه‌ی رشته‌ای و گرانول‌ها باد کرده بوده که باعث به وجود آمدن ظاهر لانه زنبوری در ساختار داخلی پاستا می‌شود [5]. در حین پخت از طریق ساختار به وجود آمده آب و مواد جامد مبادله می‌شوند و موجب نفوذ آب و جذب آن می‌شود. در این هنگام دو ساز و کار رقابتی شامل بادکردگی و ژلاتینه شدن گرانول‌های نشاسته و یا هیدراته شدن و انعقاد پروتئین‌ها وجود دارد که هر دو در محدوده‌ی مشابه دمایی و رطوبتی اتفاق می‌افتند؛ این بدان معناست که پروتئین‌ها و گرانول‌های نشاسته برای جذب آب رقابت کرده و بادکردگی نشاسته از تشکیل شبکه‌ی پروتئینی جلوگیری می‌کند [32]. غلبه‌ی یکی از این دو ساز و کار بر دیگری، رفتار پاستا را در هنگام پخت تعریف می‌نماید. چنانچه انعقاد پروتئین غالب شود، گرانول‌های نشاسته در شبکه‌ی پروتئینی احاطه شده و درنتیجه آب به آرامی نفوذ کرده و ژلاتینه شدن به تدریج اتفاق می‌افتد [12]. در این حالت کیفیت پاستای تولید شده مطلوب می‌باشد [17]؛ اما چنانچه بادکردگی نشاسته غالب شود، شبکه‌ی پروتئینی شکسته شده و منجر به آزاد شدن آمیلوز در آب پخت شده در حالی‌که آمیلوپکتین در سطح باقی مانده و باعث افزایش چسبندگی در پاستا می‌شود. این دو ساز و کار به شدت بر روی کیفیت پاستا مؤثر بوده و عوامل مختلفی همانند ترکیبات فراسودمند اضافه شده به فرمولاسیون بر روی این دو ساز و کار تأثیر گذار می‌باشند [14].

5- تاثیر استفاده از پودر و عصاره‌ی حاصل از میوه‌ها و سبزی‌ها بر میزان ترکیبات فنلی و خصوصیات ضد اکسایشی

در سال‌های اخیر عصاره‌های گیاهی به عنوان عوامل ضد میکروبی و ضد اکساینده بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. ویژگی‌های ضد اکسایشی و ضد میکروبی عصاره‌ها به حضور متابولیت‌های ثانویه از جمله ترکیبات فنلی نسبت داده شده است [33]. ترکیبات فنلی گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه موجود در گیاهان و یکی از مهمترین گروه‌های ضد اکساینده‌های طبیعی می‌باشند. غنی‌سازی غذاهای فراوری شده با این ترکیبات باعث نگهداری آن‌ها در برابر اکسایش می‌شود که به معنی حفظ کیفیت محصول است و از تشکیل فراورده‌های سمی ناشی از اکسایش جلوگیری می‌کند [34]. از طرفی، این ترکیبات ویژگی‌های سلامتی بخش داشته و خطر ابتلا به سرطان، دیابت، بیماری‌های قلبی، بیماری‌های دستگاه عصبی و مفاصل را کاهش می‌دهند. ضمن این‌که، از تجمع پلاکتی، فعالیت سیکلواکسیژناز و آزادسازی هیستامین جلوگیری کرده و اثرات ضد باکتریایی، ضد ویروسی و ضد آلرژی دارند [35 و 36]. ترکیبات فنلی به‌طور وسیعی در گیاهان توزیع شده‌اند، معمولا این ترکیبات با غلظت بالاتر در برگ‌ها و دمنوش‌ها یافت می‌شوند [37 و 38]. در حقیقت ترکیبات فنلی ضد اکساینده‌های قوی و ربایندهای رادیکال آزاد می‌باشند که می‌توانند به‌عنوان دهنده‌های هیدروژن، عوامل کاهنده، کلات کننده‌های فلزی و خاموش کننده‌های اکسیژن منفرد عمل کنند. مطالعات نشان داده است که ترکیبات فنلی از قبیل کاتچین و کوئرستین در تثبیت فسفولیپید دولایه در مقابل پراکسیداسیون برانگیخته شده توسط گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر مؤثر بوده‌اند [39]. رادیکال‌های آزاد، اتم‌ها یا مولکول‌هایی هستند که به دلیل داشتن الکترون‌های جفت نشده، در بدن بسیار واکنش‌پذیر بوده و آسیب بسیاری به درشت مولکول‌ها (پروتئین‌ها، لیپیدها و کربوهیدرات‌ها) و DNA بدن

وارد می سازند [40]. افزایش رادیکال‌های آزاد منجر به ایجاد حالت تنش اکسیداتیو می‌شود. در بدن سیستم‌های خاصی برای مقابله با آسیب‌های حاصل از رادیکال‌های آزاد وجود دارد که به سیستم‌های دفاعی ضد اکسایشی معروفند [41]. در یک فرد سالم، بین تولید رادیکال آزاد و سیستم دفاعی ضد اکسایشی توازن برقرار است. عدم تعادل در میزان تولید رادیکال‌های آزاد و سیستم دفاعی ضد اکسیدانی، تنش اکسیداتیو خوانده می‌شود [35]. شکل 1 تاثیرات بازدارندگی ترکیبات فنلی را نشان می‌دهد. پژوهشگران بیان نموده‌اند که حدود 40 درصد از ترکیبات فنلی نیز در هنگام پخت پاستا از بین می‌روند [37].

در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی بر روی افزودن پودر و عصاره‌ی میوه‌های مختلف به فرمولاسیون پاستا انجام گرفته است. تعدای از این پژوهش‌ها در جدول 1 مشاهده می‌شود. غنی‌سازی پاستا با مواد غنی از ترکیبات فنلی یک روش موفقیت آمیز برای افزایش محتوای ترکیبات فنلی کل در پاستا می‌باشد اما بهبود میزان آن‌ها با استفاده از فنل‌های طبیعی ممکن است توسط بسیاری از عوامل از جمله اتصال به اجزای ماده‌ی غذایی محدود شود. تاثیر بیولوژیکی ترکیبات فنلی در اثر پیوندهای ایجاد شده (هیدروژنی، یونی، کووالانت و آب‌گریز) با پروتئین‌ها محدود می‌شود. جذب تمایلی بالای ترکیبات فنلی برای واکنش با پروتئین‌های موجود در ماده غذایی منجر به کاهش سطح آزاد ترکیبات فنلی و پایین آمدن زیست فراهمی آن‌ها می‌شود. همچنین تاثیر متقابل فنل- فنل و فنل – نشاسته نیز باعث ایجاد محدودیت در خصوصیات فراسودمند ترکیات فنلی می‌شود [79].

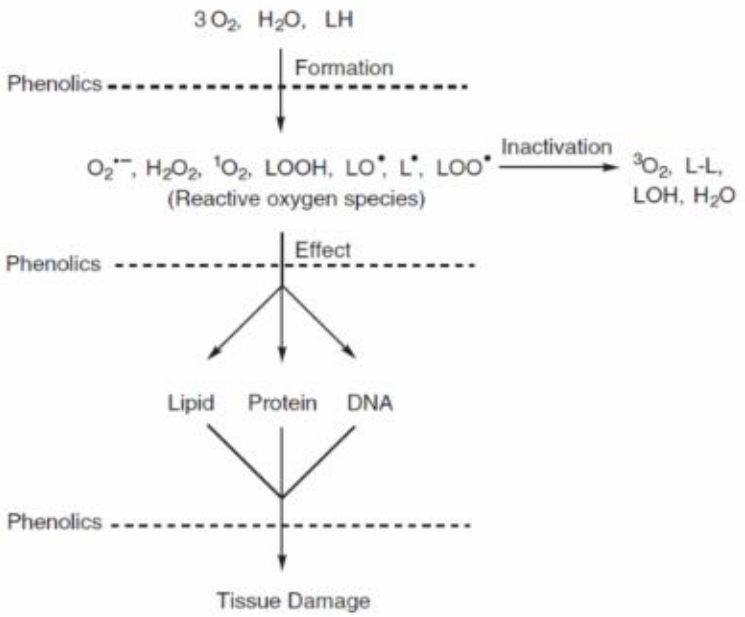

Fig 1 The effect of reactive oxygen species on diseases and the inhibitory role of phenolic compounds

بنابراین، محتوای ترکیبات فنلی به تمایل آن‌ها به پیوند با پروتئین‌های آرد گندم یا سایر اجزای مواد غذایی بستگی دارد. با توجه به این نکته برای طراحی فرمولاسیون غذاهای کاربردی جدید باید اثر متقابل ترکیبات زیست‌فعال با اجزای مواد غذایی در نظر گرفته شود [43، 44 و 45].

افزایش میزان ترکیبات فنلی و خصوصیات ضد اکسایشی در پاستا با استفاده از ترکیباتی مانند فیبرهای حاصل از ضایعات پرتقال [46]، پودر خرنوب [47]، عصاره و پالپ چغندر قند [48]، ضایعات حاصل از صنعت روغن گیری زیتون [49]، پوست سبز پسته [50]، گلابی [51]، زعفران [52]، پوست انگور [53] و ...گزارش شده است. به طور مثال افزایش 1/33، 43 برابری میزان ترکیبات فنلی با استفاده از فیبر خرنوب [54] و ضایعات انگور

[53] گزارش شده است. در پژوهشی مشابه، غنی‌سازی پاستا با استفاده از برگ سیستوس اینکانوس[1] در سطح 5 درصد، افزایش 229/97-209/87 درصدی ترکیبات فنلی و 2 برابری خصوصیات ضد اکسایشی (آزمون DPPH) در مقاسه با نمونه شاهد را به همراه داشته است [55]. گایتا و همکاران (2018)، همبستگی مثبت خطی بین میزان ترکیبات فنلی و خصوصات ضد اکسایشی در غنی‌سازی پاستا به وسیله‌ی تفاله‌ی پوست انگور حاصل از ضایعات کارخانه‌های شراب سازی را گزارش نموده اند. در این پژوهش افزایش ترکیبات فنلی (82) و خصوصیات ضد اکسایشی (96 درصد) با استفاده از تفاله‌ی پوست انگور در پاستا در مقایسه با نمونه شاهد (نمونه فاقد پوست انگور) گزارش شده است [45].

6-تاثیر فرایند تولید و پخت بر میزان ترکیبات زیست فعال

تهیه پاستا فرایندی نسبتا ساده و ملایم است اما می‌تواند بر روی کیفیت تغذیه‌ای مواد اضافه شده به فرمولاسیون پاستا تاثیر بگذارد. خشک شدن در دمای بالا می‌تواند منجر به تخریب ترکیبات زیست فعال حساس به حرارت شود. همچنین در مرحله‌ی پخت پاستا در آب جوش و آب‌کش که در پایان پخت انجام می‌شود، مقدار ترکیبات زیست فعال به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد که احتمالا به دلیل تخریب حرارتی ترکیبات زیست فعال و ورود آن‌ها به آب پخت می‌باشد [56]. بررسی میزان گلوکوزینولات پاستا و نودل غنی شده با بروکلی نشان داده است که بعد از پخت میزان آن‌ها کاهش یافته است که احتمالا به دلیل محلول بودن گلوکوزینولات در آب می‌باشد [57]. دمای خشک کردن و پخت بر روی کاهش بسیاری از ویتامین‌ها از جمله ویتامین C مؤثر است.

فارس[2] و همکاران، تاثیر فرآیند پخت بر کاهش ترکیبات فنلی آزاد و پیوند شده را بررسی نموده‌اند. آن‌ها بیان نموده‌اند که میزان ترکیبات فنلی آزاد به دلیل تاثیرات ترکیبی اکسیژن و آب در هنگام پخت کاهش پیدا نموده درحالی‌که میزان ترکیبات فنلی پیوند شده افزایش پیدا نموده که منجر به افزایش خصوصیات ضد اکسایشی می‌شوند. دلیل افزایش میزان ترکیبات فنلی پیوند شده به دلیل رها شدن آن‌ها از دیواره سلولی در هنگام پخت می‌باشد [38 و 58]. همچنین تاثیر فرایندهای مختلف (تشکیل خمیر، اکسترودر، پیش‌گرم‌کن، خشک‌کن، پیش‌گرم‌کن و پخت و خشک‌کن و پخت) بر میزان ترکیبات فنلی و خصوصیات ضد اکسایشی پاستای غنی شده با ضایعات انگور مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش بیانگر آن بوده که فرایندهای خشک نمودن و پخت دارای بیشترین تاثیر بر کاهش میزان ترکیبات فنلی و خصوصیات ضد اکسایشی بوده است. میزان ترکیبات فنلی و خصوصیات ضد اکسایشی پس از فرایند اکسترودر افزایش یافته و میزان آن طی فرایندهای پیش‌گرم‌کن و خشک‌کن ثابت باقی مانده است [59]. در مقابل، نتایج پژوهش سویکا و همکاران (2013 و 2014) نشان می‌دهد که پخت منجر به آزاد شدن برخی فنل‌ها از اجزای مواد غذایی شده و این فرایند منجر به افزایش فعالیت ضد اکسایشی در پاستای غنی شده می‌شود. همچنین ون‌بوکل[3] و همکاران (2010)، گزارش کرده‌اند دمای پخت سبب افزایش زیست فراهمی بتاکاروتن می‌شود که یک تاثیر مثبت به شمار می‌آید [60]. عامل دیگری که ممکن است فعالیت احتمالی محصولات غنی شده را تحت تاثیر قرار دهد، تعامل بین اجزای مواد غذایی و ترکیبات زیست فعال (فنلی) است [43 و 44]. پژوهشگران در غنی‌سازی پاستا با استفاده از زعفران بیان نموده‌اند که دما و زمان پخت بر روی میزان ترکیبات فنلی موثر بوده و تا حدی منجر به کاهش میزان ترکیبات فنلی کل می‌شود که احتمالا به دلیل ورود این ترکیبات به آب پخت و همچنین مقاومت حرارتی آن‌ها می‌باشد؛ ولی احتمال افزایش خصوصیات ضد اکسایشی بعد از پخت بوده که احتمالا به دلیل افزایش فراهمی زیستی این ترکیبات و قابلیت استخراج آن‌ها می‌باشد [52].

افزایش فیبرهای نامحلول و کاهش فیبرهای محلول در اثر فرایند تولید و پخت پاستا گزارش شده است [61]. در کل بیان شده است که میزان فیبرها بعد از فرایند افزایش می‌یابد [62 و 63]. افزایش فیبر کل احتمالا به دلیل واگشتگی[4] آمیلوز می‌باشد. با

1.Cistus incanus L.
2. Fares

3.Van Boekel
4. Retrogradation

واگشتگی آمیلوز زنجیره‌های آمیلوز به صورت فنر مانند به هم متصل شده و یک ساختمان متشکل از دو زنجیره‌ی فنر مانند را تشکیل داده که باعث افزایش بخش فیبر نامحلول می‌شود. پیشنهاد شده که چنانچه شبکه گلوتنی به درستی تشکیل شده باشد، ژلاتینه شدن همزمان نشاسته می تواند به طور قابل توجهی ورود فیبر را محدود نماید [62 و 63]. با توجه به مطالب ذکر شده تاثیر فرایند و پخت وابسته به به نوع و ساختار مواد اضافه شده می‌باشد [56].

6-1-راه‌های مقابله با کاهش ترکیبات زیست فعال

با توجه به حساسیت ترکیبات زیست فعال به حرارت و محلول بودن آن‌ها در آب فرایند تولید و پخت باید بهینه شوند. به اثبات رسیده که افزایش دمای خشک نمودن منجر به کاهش افت پخت نشاسته شده و همچنین سختی بافت را افزایش می‌دهد [64]. خشک شدن پاستا در دمای بالا باعث تشکیل شبکه‌ی منعقد شده‌ی پروتئین می‌شود که نشاسته‌های ژلاتینه شده را در بر می‌گیرد. در این نوع پاستا قبل از اینکه نشاسته آب جذب کند (در آب جوش)، ساختار پروتئین منعقد شده و بنابراین نشاسته را در بر می‌گیرد. فرایند ذکر شده منجر به ایجاد یک پاستا با بافت مناسب و کیفیت مطلوب می‌شود. چنان‌چه دمای خشک شدن پایین باشد نشاسته ژلاتینه نشده و ژلاتینه شدن و انعقاد پروتئین در اب جوش اتفاق می‌افت.در صورتیکه میزان پروتئین سمولینا بالا نباشد، شبکه پروتئین به صورت پیوسته شکل نمی‌گیرد و منجرد به ایجاد پاستا با بافت نرم و چسبنده می‌شود. به همین دلیل مشخص شده که با خشک کردن پاستا در دمای بالا می‌توان کیفیت بهتری را به دست آورد و در غیر این صورت باید آرد دوروم و میزان پروتئین آن بالا باشد [32]. با توجه به این نکات برای حفظ بستر ترکیبات زیست فعال بهتر است تمرکز را بر روی فرایند پخت گذاشت. چنانچه جوشاندن با آب کمتری انجام شود، میزان کمتری از مواد زیست فعال به داخل آب جوش وارد می‌شوند [65]. هیچ پژوهشی تا به حال تاثیر نسبت آب به پاستا در هنگام پخت را بررسی نکرده است با این‌حال با فرض آن‌که ترکیبات زیست فعال محلول در پاستا از قانون انتشار پیروی می‌کنند، از این جهت با کاهش میزان آب پخت، میزان ترکیبات زیست فعال کمتری به داخل آب پخت واد می‌شوند [64]. برای جلوگیری از انتقال نشاسته به سطح پاستا و ایجاد یک سطح لزج مانند، تولید کنندگان مقدار 1 لیتر آب را برای پخت 100 گرم پاستا را توصیه کرده‌اند. با این حال چنان‌چه فرایند خشک کردن به خوبی شکل گرفته باشد، خروج مواد زیست فعال از درون پاستا بسیار کاهش پیدا می‌کند [64]. بنابراین می‌توان از 0/5 لیتر آب برای پخت 100 گرم پاستا استفاده نمود. در مورد پاستاهای تازه که محتوای آبی آن‌ها در حدود 24 درصد بوده و شبکه‌ی گلوتنی آن‌ها در مقایسه با پاستای خشک شده ضعیف‌تر می‌باشد، این قضیه به شکل دیگری می‌باشد. در این نوع پاستا اگرچه زمان کوتاه‌تری برای پخت در مقایسه با پاستای خشک شده لازم است اما امکان نشت نشاسته بسیار زیاد بوده، بنابراین بر خلاف پاستای خشک از نسبت زیاد آب به پاستا برای پخت استفاده می‌شود. بخارپز نمودن پاستای تازه یک راه جایگزین برای پخت می‌باشد که منجر به کاهش انتقال مواد زیست فعال و حفظ بهتر آن‌ها می‌شود [65]. به عنوان مثال استفاده از بروکلی در فرمولاسیون پاستا به منظور افزایش گلوکورافانین مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش غلظت بروکلی منجر به افزایش گلوکورافانین در پاستای تازه شده است اما این افزایش در پاستای خشک و پاستای تازه‌ی پخته شده مشاهده نشده است. با توجه به گزارش‌های قبلی گلوکورافانین یک ماده با پایداری بالا در برابر حرارت می‌باشد [66]. بررسی‌ها نشان می‌دهد، خشک نمودن پاستا در دمای 100 درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت تاثیری بر روی میزان گلوکورافانین نداشته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پخت به شدت محتوای گلوکورافانین را در پاستاهای تازه و خشک شده کاهش می‌دهد و هرچقدر مدت زمان پخت بیشتر باشد میزان گلوکورافانین بیشتر کاهش می‌یابد.

اگرچه زمان پخت پاستاهای تازه کمتر از پاستاهای خشک شده بوده است ولی کاهش غلظت گلوکورافانین در پاستاهای تازه در هنگام پخت در مقایسه با پاستاهای خشک بیشتر بوده است. این نتایج نشان می‌دهد فرایند خشک نمودن به کاهش نشت مواد در هنگام پخت کمک می‌کند [32]. بنابراین در طراحی فرمولاسیون پاستا باید به زمان پخت توجه شود و با به حداقل رساندن زمان پخت میزان ترکیبات زیست فعال را تا حدود زیادی حفظ نمود. در پژوهشی به منظور افزایش بتاکاروتن در فرمولاسیون پاستا از

هویج استفاده شده است. فرایند خشک کردن در حدود 24-35 درصد میزان بتاکاروتن را کاهش داده است [56].

میزان بتاکاروتن در پاستای تازه‌ی پخته شده بیشتر از پاستای خشک پخته شده می‌باشد که احتمالا به دلیل محتوای بالاتر این ترکیبات در پاستای تازه (به دلیل خشک نشدن)، زمان جوشاندن کوتاه‌تر و شرایط مرطوب (از ایزومراسیون جلوگیری می‌کند) می‌باشد. نکته مهم آن‌که میزان بتاکاروتن بعد از فرایند پخت کاهش نیافته که احتمالا به دلیل خصوصیات آب‌گریزی بتاکاروتن بوده که مانع ورود آن‌ها به آب پخت می‌شود [56].

7- تاثیر بر شاخص گلایسمی

به طور کلی پذیرفته شده است که مصرف پاستا منجر به پاسخ متوسط گلوکز و انسولین شده که به دلیل جذب ناقص نشاسته در روده می‌باشد. با توجه به مطلب ذکر شده پاستا به عنوان یک منبع کربوهیدرات که به آرامی در دسترس قرار می‌گیرد و دارای شاخص گلایسمی متوسط می‌باشد در نظر گرفته می‌شود. بسیاری از مقالات ساختار پاستای پخته شده را به عنوان یک شبکه‌ی پروتئینی که گرانول‌های نشاسته را احاطه کرده‌اند، توصیف نموده‌اند. در این قسمت تناقضی بین هضم آهسته پاستا و حالت ژلاتینه نشاسته وجود دارد. زیرا ژلاتینه شدن منجر به نفوذپذیری آلفا آمیلاز می‌شود. از طرف دیگر گلوتن با توجه به غلظت موجود در ساختار پاستا نمی‌تواند مانع فعالیت آنزیمی شود. همچنین پژوهشگران گزارش نموده‌اند که شبکه‌ی گلوتنی به طور کامل گرانول‌های نشاسته را احاطه نکرده و تخلخل‌هایی (0/4-0/5 میکرومتر) وجود دارد که برای نفوذ و فعالیت آنزیم آمیلاز کافی می‌باشد. برخی از پژوهشگران پیشنهاد نموده‌اند که شاخص گلایسمی متوسط پاستا به دلیل ساختار پیچ و تاب خورده‌ی شبکه‌ی پروتئینی و وزن مولکولی بسپار نشاسته بوده که به طور طبیعی باعث ایجاد مقاومت در برابر هضم می‌شود [11].

بسیاری از محققین به همبستگی بین ریز ساختار و شاخص گلایسمی پرداخته‌اند. در سطح درشت مقیاس (بزرگتر از 100 میکرومتر) کاهش تخریب نشاسته عمدتا مربوط به ساختار فشرده محصول در طی فرآیند تولید است. در سطح ریز مقیاس (0/3-100 میکرومتر)، کاهش هضم نشاسته مربوط به ساختار پیچ و تاب خورده‌ی شبکه پروتئین- نشاسته می‌باشد که از نفوذ آنزیم آلفا آمیلاز جلوگیری کرده و همچنین منجر به تخریب آهسته گلوتن به وسیله‌ی پپسین و پروتئازهای پانکراس می‌شود. در نهایت در سطح مولکولی (0/8-50 نانومتر) کاهش باد کردگی نشاسته با توجه به محدود شدن نفوذ آب در هنگام پخت موجب به آبکافت ناقص آن می‌شود. در کل سازو کارهایی که باعث کاهش تخریب نشاسته می‌شوند بسیار پیچیده بوده و نمی‌توان آن‌ها را به تنهایی به ساختار، ویژگی هندسی پروتئین-نشاسته و یا ساختار نشاسته نسبت داد [67].

اگرچه غنی‌سازی پاستا منجر به افزایش خصوصیات سلامتی‌بخش در پاستا می‌شود اما با توجه به ماهیت ماده اضافه شده تاثیرات مختلفی بر روی شاخص گلایسمی پاستا گزارش شده است. برخی از پژوهشگران گزارش نموده‌اند که منجر به افزایش بالقوه شاخص گلایسمی می‌شود. به دنبال جایگزینی بخشی از آرد با پودر ترکیبات افزوده شده (سبزی‌ها و میوه‌ها)، تغییراتی در شبکه پروتئینی ایجاد شده که یکنواختی شبکه پروتئینی را از بین می‌برد و منجر به کاهش پوشش گرانول‌های نشاسته به وسیله‌ی شبکه‌ی پروتئینی می‌شود. در این شرایط جذب آب افزایش یافته، گرانول‌های نشاسته متورم می‌شوند و شاخص گلایسمی با توجه به افزایش زیست فراهمی نشاسته افزایش می‌یابد [56 و 60]. پژوهشگران نشان داده‌اند که پاستای غنی شده با پودر خرنوب دارای شاخص گلایسمی بالایی بوده و روند هضم آن سریع می‌باشد (جدول 2). بنابراین، این نوع از محصولات غنی شده با شاخص گلایسمی بالا نباید برای افرادی که مستعد چاقی، دیابت و بیماری‌های قلبی عروقی هستند، توصیه شود [68]. این نوع پاستا به عنوان منبع خوبی از کربوهیدرات‌ها (سرعت هضم بالا) در نظر گرفته شده و برای ورزشکاران و افرادی که دارای فعالیت زیادی در طول روز هستند و احتیاج به انرژی بالایی دارند مناسب می‌باشد. میزان شاخص گلایسمی در پاستا وابسته به عوامل زیادی از جمله فرایند تولید و ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در فرمولاسیون می‌باشد [47].

Table 1 Effect of enrichment on the technological and nutritional characteristics of pasta

Compounds	Product	Optimized level (%)	Special mention of assessed technological and rheological properties	Special mention of assessed nutritional properties	Hydrocolloids and enzymes	References
Broccoli	Pasta	20		Glucosinolate was increased.	Xanthan	[69]
Elderberry	Fettuccine			Phenolic compounds and fibers were increased.	Pectin	[70]
Onion	Pasta	10	Water absorption, resistance, mixing tolerance index and dough mixing time were reduced.	Quercetin was increased.	Hydroxypropyl methylcellulose	[71]
Grape marc	Fettuccine	2.5	Optimum cooking time were reduced.	Antioxidant properties and amount of phenolic compounds were increased.		[72]
Grape marc	Spaghetti		Cooking loss, water absorbtion and adhesiveness were decreased	Phenolic compounds, flavonoids and antioxidant properties were increased.		[59]
Orange by-product	Pasta	20		Fiber, phenolic compounds and carotenoids were increased.		[46]
Trifoliate yam	Noodles	30	Water and oil absorption capacity were increased	Ash, fat and crude fiber were increased.		[73]
Parsley leaves	Pasta	4		Amount of total phenolic compounds and antioxidant properties were increased.		[42]
Tomato By-product	spaghetti	15	Enrichment reduced overall acceptability.	Amount of total phenolic compounds and antioxidant properties were increased.	Carboxymethyl cellulose, guar	[49]
Carob fiber	Pasta	4	Enrichment had low effect on pasta cooking performance, but it had high effect on color	Amount of total phenolic compounds and antioxidant properties were increased.		[54]
Green tea and inulin	Macaroni	2	Cooking loss was increased but overall inulin and green tea has improved cooking properties	Fiber content was increased.		[74]
Spinach and chickpea	Pasta		Hardness was increased.	Protein, antioxidant properties, amount of phenolic and ascorbic compounds were increased.		[75]
Beetroot	Pasta	8		There was no significant difference between the enriched treatments and the control sample.		[48]
Tomato carotenoids	Spaghetti	5	Cooking loss was decreased.	Antioxidant properties was increased.		[76]
artichoke canning by-products	Pasta		Enrichment affected color of pasta.	Antioxidant activity and phenolic compounds were increased.		[77]
Pomegranate Peels	Noodles	1.5	Enriched noodles had more homogeneous and compact microstructure			[78]

Tble1. Co

Compounds	Product	Optimized level (%)	Special mention of assessed technological and rheological properties	Special mention of assessed nutritional properties	Hydrocolloids and enzymes	References
Stinging nettle	Egg pasta	2.5		Enriched pasta had a higher content of lutein and β-carotene compared to the control sample.		[79]
Tiger nut	Pasta	40	Textural characteristics and cooking behavior were improved.	Improve nutritional properties such as dietary fiber, mineral content, oleic and linoleic acid levels.	Xanthan	[80]
Fenugreek leaves	Noodles	30	Water absorption was increased and optimal cooking loss and Cooking time were reduced.	Minerals such as calcium, iron, manganese, zinc and phosphorus as well as chlorophyll and carotene were increased.		[81]
pistachio green hull	Pasta	1.5		In vitro starch digestibility and glycemic index of pasta sample enriched was significantly lower than the control pasta.		[50]
mushroom	Pasta	15		Enrichment decreased less extent of starch digestion while phenolic compounds and antioxidant activity of samples increased		[82]
Celery root	Pasta	7.5	Cooking loss and water absorption were increased and optimal cooking time was reduced.			[83]
Grape pomace skins		6		Amount of phenolic compounds and antioxidant properties were increased.		[45]
Pomegranate Peels	spaghetti	7	Solid loss and weight increase were increased.	Amount of phenolic compounds was increased.		[84]
Finger millet and carrot pomace	Pasta		Cooking weight, swallow index and water absorption were improved.	Calcium, iron, zinc and dietary fiber as well as the amount of phenolic compounds and antioxidant properties were increased.	Carboxyl methyl cellulose	[85]
Opuntia	Pasta			The pasta produced had antioxidant and anti-inflammatory properties. with putative effect on the aging process and related metabolic diseases		[51]
saffron	Pasta	0.4	Enriched pastas had a higher sensory score than the control sample.	Antioxidant activity and crocins were increased.		[52]
Olive Oil Industrial By-Product	spaghetti	10		Amount of phenolic compounds and flavonoids were increased	Transglutaminase	[49]
Grape marc	Pasta	8.5		Amount of phenolic compounds was increased		[53]

Tble1. Co

Compounds	Product	Optimized level (%)	Special mention of assessed technological and rheological properties	Special mention of assessed nutritional properties	Hydrocolloids and enzymes	References
Grape marc	Pasta	8.5		Amount of phenolic compounds was increased		[53]
Opuntia	Pasta	20	The quality of the pasta produced was comparable to the control sample.	The pasta produced had less extent of starch digestion than the control sample.		[86]
Syzygium cumini	Pasta	30	Cooking time and pasting temperature of pasta was increased with higher amount of pulp incorporation.	Incorporation of fruit pulp remarkably elevated the antioxidant activity, β-carotene, total phenolic content and dietary fiber.		[87]
Black Mulberry	Pasta	1.5		Enriched pasta has anti-diabetic properties (inhibition against applied α-amylases and α-glucosidase).		[88]
Salicornia europaea	Pasta		There was no significant difference between the enriched treatments and the control sample.	Antioxidant properties, phenolic and flavonoid content were increased.		[89]
Cistus incanus leaves	spaghetti shape	3	Cooking weight, cooking loss and hardness of cooked pasta were increased	Antioxidant properties and phenolic compounds were increased.		[55]

نتایج پژوهش‌های سزیک[1] و همکاران (2016) نشان داده است که غنی‌سازی پاستا با استفاده از پودر خرنوب میزان هضم پروتئین را کاهش داده که احتمالا به دلیل تداخل ترکیبات فنلی با پروتئین‌ها بوده که منجر به تشکیل ترکیبات غیر قابل هضم شده [47] و یا ترکیبات تشکیل شده توانایی مهار فعالیت‌های آنزیم‌های گوارشی را ایجاد می‌نماید [43 و 44]. برخی از پژوهشگران کاهش شاخص گلایسمی پاستا را با اضافه نمودن ترکیبات فنلی گزارش نموده‌اند [50 و 88]. للگانی و همکاران از عصاره آبی پوست سبز پسته در غلظت‌های 0/5، 1 و 1/5 درصد به منظور غنی‌سازی پاستا استفاده نموده‌اند. پوست پسته منبع غنی از ترکیبات فنلی مانند گالیک اسید و فلوروگلوسینول می‌باشد [90]. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر آن بوده که در پاستاهای تیمار شده با عصاره آبی پوست پسته به طور معنی‌داری درصد آبکافت نشاسته و شاخص گلایسمیک نسبت به کنترل کاهش یافته است [51]. نتایج مشابه در غنی‌سازی پاستا با استفاده از شاه توت در پاستا گزارش شده است (جدول 2).

مطالعه‌های زیادی نشان می‌دهد که ترکیبات فنلی از مهمترین بازدارنده‌های طبیعی مؤثر در فعالیت آنزیم‌های هضم کننده کربوهیدرات‌ها می‌باشند. این ترکیبات باعث کاهش فعالیت این دسته از آنزیم‌ها شده که در نتیجه آن میزان هضم و به دنبال آن میزان جذب نشاسته کاهش می‌یابد؛ در حقیقت این می‌تواند یک راه حل مناسب برای مبتلایان به دیابت نوع دو و چاقی باشد. مهار آنزیم‌های آلفا آمیلاز و آلفا گلوکوزیداز در مجاری گوارشی یکی از سازوکارهای تاثیر گروهی از داروهای رایج مورد استفاده در کنترل بیماری دیابت است [50].

این آنزیم‌ها نقش مهمی در آبکافت پلی‌ساکاریدهای مواد غذایی در مجاری گوارشی و تبدیل آن‌ها به قندهای ساده قابل جذب دارند که این امر در حقیقت عامل اصلی افزایش سطح گلوکوز خون بعد از غذا می‌باشد. مهار فعالیت این دو آنزیم به خصوص در بیماران دیابتی در جذب گلوکز از دستگاه گوارش و در نتیجه پیشگیری از افزایش سطح گلوکز خون بعد از غذا مؤثر است. در شکل (2) سازوکار عمل این بازدارنده‌ها مشاهده می‌شود. ترکیبات فنلی با اثر بر جایگاه فعال آنزیم و برهم کنش با

1. Seczyk

بخش‌های پروتئینی آنزیم و همچنین اثر بر سازوکار آنزیم، سبب غیرفعال کردن آنزیم آلفا گلوکوزیداز می‌گردند. غیر فعال شدن آنزیم آلفا گلوکوزیداز منجر به جلوگیری از تجزیه و آبکافت ساکارز موجود در پاستا می‌گردد [50].

Table 2 Effect of enrichment on the glycemic index of pasta

Compounds	Product	Optimized level (%)	Glycemic index (Control)	Glycemic index (Fortified)	Reference
Green banana	Noodles	10	53	50	[91]
Carob	Pasta	5	72.2	83.9	[47]
Pistachio green hull	Pasta	1.5	53.44	36.17	[50]
Mulberry	Pasta	1.5	80	47.32	[88]
Olive pomace	Pasta	15	63.21	60.46	[92]

از طرفی چنان‌چه ماده‌ی افزودنی حاوی فیبر بالایی باشد می‌تواند بر روی کاهش شاخص گلایسمی مؤثر باشد. برنان[1] و همکاران (2013) بیان نموده‌اند که احتمالا فیبرهای موجود باعث تغییر گرانروی شده که این تغییرات بر میزان تخلیه معده، زمان انتقال و جذب روده از مواد مغذی تاثیر گذاشته، که به نوبه خود ممکن است منجر به کاهش پاسخ گلایسمی شود. پژوهشگران در غنی‌سازی پاستا با استفاده از پالپ موز سبز در سطح 10 درصد بیان نموده‌اند که با توجه به میزان بالای نشاسته‌های مقاوم به هضم و فیبر موجود در موز سبز، شاخص گلایسمی نودل غنی شده در مقایسه با نمونه‌ی شاهد کاهش یافته است [91].

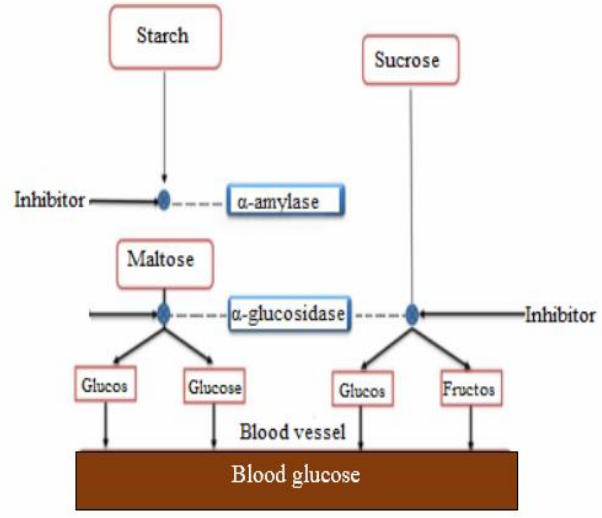

Fig 2 Activity of starch digestive enzymes and inhibitors of this group of enzymes

8-تاثیر غنی‌سازی بر بافت و خصوصیات پخت پاستا

بررسی تاثیر غنی‌سازی فرمولاسیون پاستا با استفاده از میوه‌ها و سبزی‌ها بر خصوصیات پخت (جذب آب، زمان بهینه پخت، افت پخت و وزن پخت) و بافت پاستا نشان دهنده آن است که با توجه به ماهیت ترکیبات اضافه شده، نتایج متفاوتی به‌دست خواهد آمد.

زمان بهینه‌ی پخت مدت زمانی است که خط سفید ممتد مشاهده شده در مرکز یک رشته از پاستا در طول پخت ناپدید شود. پژوهشگران بیان نموده‌اند که اضافه نمودن سبزی‌ها و میوه‌ها (حاوی فیبر) به فرمولاسیون پاستا منجر به ایجاد تغییرات در ساختار پاستا و افزایش جذب آب می‌شود. بنابراین آب با سرعت بیشتری به مرکز رشته‌های پاستا رسیده و نشاسته زودتر ژلاتینه می‌شود که این فرایند منجر به کاهش زمان پخت می‌شود [93]. کاهش زمان بهینه‌ی پخت در اضافه نمودن ترکیباتی مانند فیبر خرنوب [54] و تفاله‌ی زیتون [92]، به فرمولاسیون پاستا مشاهده شده است؛ در حالی‌که گزارش شده که اضافه نمودن پودر پوست انار [84]، عصاره گلابی خاردار [86]، برگ سیستوس اینکانوس [55] و سالیکورنیا [89] به فرمولاسیون پاستا، تاثیری بر زمان بهینه‌ی پخت پاستا نداشته است.

مواد جامدی که در هنگام پخت از ساختار پاستا به آب وارد می‌شوند، به عنوان افت پخت در نظر گرفته می‌شوند و این عامل معمولا برای پیش بینی عملکرد پخت پاستا استفاده می‌شود. در بسیاری از پژوهش‌ها بیان شده که کاهش یکنواختی شبکه‌ی گلوتنی (در اثر غنی‌سازی) منجر به افزایش افت پخت می‌شود.

1. Brennan

افزایش افت پخت در اضافه نمودن تفاله انگور [72]، فیبر حاصل از ضایعات پرتقال [46]، پوست انار [84]، گلابی خاردار [86]، برگ سیستوس اینکانوس [55] و میوه‌ی کدو خاردار[1] [93] به فرمولاسیون پاستا مشاهده شده است.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که اضافه نمودن ترکیباتی که حاوی فیبر هستند منجر به افزایش سختی و چسبندگی در پاستا می‌شوند. در حقیقت با افزایش میزان جذب آب، چسبندگی نیز افزایش می‌یابد. افزایش سختی و چسبندگی در اضافه نمودن ترکیباتی مانند تفاله‌ی زیتون [92] و میوه‌ی کدو خاردار [93] به فرمولاسیون پاستا مشاهده شده است؛ در حالی‌که گزارش شده است که اضافه نمودن سالیکورنیا [89] تاثیری بر سفتی پاستا نداشته است.

9-نتیجه‌گیری

امروزه طراحی غذاهای فراسودمند مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته که در این بین پاستا به دلایل ترکیبات اولیه‌ی محدود و محبوبیت بالا در بین تمامی اقشار جامعه جایگاه خاصی را به خود اختصاص داده است. غنی‌سازی پاستا با استفاده از ترکیبات زیست فعال موجود در سبزی‌ها و میوه‌های مختلف منجر به جذب بیشتر این ترکیبات توسط مصرف کنندگان می‌شود. بدون آن‌که بخواهند تغییر ویژه‌ای در عادات غذایی خود ایجاد نمایند. بررسی‌های ما در این پژوهش بیانگر آن است که تحقیقات انجام شده در دنیا تاکید بر تولید پاستا با خصوصیات تغذیه‌ای بهتر و همچنین خصوصیات کیفی (حسی، بافت و پخت) مشابه با نمونه‌های معمول دارد که این یک چالش بزرگ می‌باشد. زیرا استفاده از میوه‌ها و سبزی‌ها بر روی تشکیل شبکه گلوتن-نشاسته تاثیر گذاشته که این فرایند منجر به ایجاد تغییراتی در ساختار، بافت و خصوصیات پخت پاستا می‌شود. از طرفی اضافه نمودن میوه‌ها و سبزی‌ها به فرمولاسیون پاستا باعث به وجود آمدن تغییراتی در رنگ و طعم پاستا می‌شود که می‌تواند از نظر مصرف کننده مطلوب و یا غیر مطلوب ارزیابی شود. بنابراین از تمامی سبزی‌ها و میوه‌ها نمی‌توان در فرمولاسیون پاستا استفاده نمود و برای ایجاد یک فرمولاسیون فراسودمند با ویژگی‌های مطلوب باید میزان سبزی‌ها و میوه‌ها و همچنین شرایط فرایند بهینه شود که کمترین تغییر در مقایسه با نمونه‌های معمول ایجاد شود.

1. Gac

10- منابع

[1] Eslami, M., Shahedi, M., & Fathi, M. (2017). *Functional bread production using micro-encapsulated vitamin D_3*. (Masters dissertation, Isfahan University of technology).

[2] Roberfroid, M. B. (2002). Global view on functional foods: European perspectives. *British Journal of Nutrition*, 88(S2), S133-S138.

[3] Kamali Rousta, L., Ghandehari Yazdi, A. P., & Amini, M. (2020). Optimizing athletic pasta formulation: using D-Optimal Mixture Design. *Food Science & Nutrition*.

[4] Marconi, E., & Carcea, M. (2001). Pasta from non traditional raw materials. *Cereal Foods World*, 46, 522-530.

[5] Azizi, M. H., Soltani, M., Amini, M., Kamali Rousta, L., Ghandehari Yazdi, A. P., & Khodaei, D. (2020). *New generation of Pasta* (Technology and functionality). Tehran: Choogan press.

[6] Bruneel, C., Pareyt, B., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2010). The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products. *Food Chemistry*, 120(2), 371-378.

[7] Krishnan, M., & Prabhasankar, P. (2012). Health based pasta: redefining the concept of the next generation convenience food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(1), 9-20.

[8] Aravind, N., Sissons, M., Egan, N., & Fellows, C. (2012). Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 130(2), 299-309.

[9] Yahiavi, M. Kamali Rousta, L., Azizi Tabrizzad, M. H., & Amini, M. (2020). Evaluation of the effect and comparison of die type, flour type and drying temperature on technological characteristics and quality of pasta. *Food Science and Technology*. In press.

[10] Dalbon, G., Grivon, D., & Pagani, M. A. (1996). Continuous manufacturing process.

281.
[21] Bonomi, F., D'Egidio, M. G., Iametti, S., Marengo, M., Marti, A., Pagani, M. A., & Ragg, E. M. (2012). Structure–quality relationship in commercial pasta: A molecular glimpse. *Food Chemistry*, 135(2), 348-355.
[22] Ramos, C. G., Sousa, S. A., Grilo, A. M., Feliciano, J. R., & Leitão, J. H. (2011). The second RNA chaperone, Hfq2, is also required for survival under stress and full virulence of Burkholderia cenocepacia J2315. *Journal of Bacteriology*, 193(7), 1515-1526.
[23] De Cindio, B., Gabriele, D., Migliori, M., & Pollini, C. M. (2003). Modelling of drying for high quality pasta production. In *Proceedings of "International Symposium of Rheology and Food Structure*. Eurorheo (Vol. 1, pp. 635-636).
[24] Acquistucci, R. (2000). Influence of Maillard reaction on protein modification and colour development in pasta. Comparison of different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 33(1), 48-52.
[25] Lorusso, A. V. (2015). *Optimaization of functional pasta based on drum wheat semolina.* (Submitted in fulfilment of the requirements for the degree of doctor at Foggia University).
[26] Delcour, J. A., Vansteelandt, J., Hythier, M. C., & Abecassis, J. (2000). Fractionation and reconstitution experiments provide insight into the role of starch gelatinization and pasting properties in pasta quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(9), 3774-3778.
[27] Fu, B. X. (2008). Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. Food Research International, 41(9), 888-902.
[28] Icard-Vernière, C., & Feillet, P. (1999). Effects of mixing conditions on pasta dough development and biochemical changes. Cereal Chemistry, 76(4), 558-565.
[29] Feillet, P., Ait-Mouh, O., Kobrehel, K. A. R. O. L. Y., & Autran, J. C. (1989). The role of low molecular weight glutenin proteins in the determination of cooking quality of pasta products: An overview. Cereal Chemistry, 66(1), 26-30.
[30] Fardet, A., Baldwin, P. M., Bertrand, D., Bouchet, B., Gallant, D. J., & Barry, J. L. (1998). Textural images analysis of pasta *Pasta and Noodle Technology*. AACC, St Paul (MN-USA).
[11 Bustos, M. C., Perez, G. T., & Leon, A. E. (2015). Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *Rsc Advances*, 5(39), 30780-30792.
[12] Petitot, M., Brossard, C., Barron, C., Larré, C., Morel, M. H., & Micard, V. (2009). Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects on the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergenicity of protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 116(2), 401-412.
[13] Fardet, A., Abecassis, J., Hoebler, C., Baldwin, P. M., Buleon, A., Berot, S., & Barry, J. L. (1999). Influence of technological modifications of the protein network from pasta on in vitro starch degradation. *Journal of Cereal Science*, 30(2), 133-145.
[14] Beleggia, R., Platani, C., Papa, R., Di Chio, A., Barros, E., Mashaba, C., ... & Rauscher, J. (2011). Metabolomics and food processing: from semolina to pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(17), 9366-9377.
[15] Dexter, J. E., Dronzek, B. L., & Matsuo, R. R. (1978). Scanning electron microscopy of cooked spaghetti.*Cereal Chemistry*, 55(1), 23.
[16] Eliasson, A. C. (Ed.). (2004). *Starch in food: Structure, function and applications*. CRC press.
[17] De Noni, I., & Pagani, M. A. (2010). Cooking properties and heat damage of dried pasta as influenced by raw material characteristics and processing conditions. *Critical Reviews in Food science and Nutrition*, 50(5), 465-472.
[18] Anese, M., Nicoli, M. C., Massini, R., & Lerici, C. R. (1999). Effects of drying processing on the Maillard reaction in pasta. *Food Research International*, 32(3), 193-199.
[19] Dexter, J., Matsuo, R. R., & Morgan, B. C. (1981). High temperature drying: Effect on spaghetti properties. *Journal of Food Science*, 46(6), 1741-1746.
[20] D'egidio, M. G., Mariani, B. M., Nardi, S., Novaro, P., & Cubadda, R. (1990). Chemical and technological variables and their relationships: A predictive equation for pasta cooking quality. *Cereal Chemistry*, 67(3), 275-

91(3), S23-S30.
[42] Sęczyk, Ł., Świeca, M., & Gawlik-Dziki, U. (2015). Changes of antioxidant potential of pasta fortified with parsley (Petroselinum Crispum mill.) leaves in the light of protein-phenolics interactions. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 14(1), 29-36.
[43] Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Baraniak, B., & Czyż, J. (2013). The influence of protein–flavonoid interactions on protein digestibility in vitro and the antioxidant quality of breads enriched with onion skin. *Food Chemistry*, 141(1), 451-458.
[44] Świeca, M., Sęczyk, Ł., Gawlik-Dziki, U., & Dziki, D. (2014). Bread enriched with quinoa leaves–The influence of protein–phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. *Food Chemistry*, 162, 54-62.
[45] Gaita, C., Alexa, E., Moigradean, D. and Polana, A. (2018). Designing of high value-added pasta formulas by incorporation of grape pomace skins. *Romanian Biotechnological Letters*.
[46] Crizel, T. D. M., Rios, A. D. O., Thys, R. C. S., & Flôres, S. H. (2015). Effects of orange by-product fiber incorporation on the functional and technological properties of pasta. *Food Science and Technology*, 35(3), 546-551.
[47] Sęczyk, Ł., Świeca, M., & Gawlik-Dziki, U. (2016). Effect of carob (Ceratonia siliqua L.) flour on the antioxidant potential, nutritional quality, and sensory characteristics of fortified durum wheat pasta. *Food Chemistry*, 194, 637-642.
[48] Sipos, P., Horvath, M., Adacsi, C., Horvath, B., Babaka, B., & Gyori, Z. (2017). Enrichment of pasta products using beetroot. *Food and Environment Safety Journal*, 16(4).
[49] Padalino, L., D'Antuono, I., Durante, M., Conte, A., Cardinali, A., Linsalata, V., ... & Del Nobile, M. (2018). Use of olive oil industrial by-product for pasta enrichment. *Antioxidants*, 7(4), 59.
[50] Lalegani, S., Gavlighi, H. A., Azizi, M. H., & Sarteshnizi, R. A. (2018). Inhibitory activity of phenolic-rich pistachio green hull extract-enriched pasta on key type 2 diabetes relevant enzymes and glycemic index. *Food Research* protein networks to determine influence of technological processes.*Cereal Chemistry*, 75(5), 699-704.
[31] Cunin, C., Handschin, S., Walther, P., & Escher, F. (1995). Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 28(3), 323-328.
[32] Resmini, P., & Pagani, M. A. (1983). Ultrastructure Studies of Pasta. A Review. *Food Structure*, 2(1), 2.
[33] Korukluoglu, M., Sahan, Y., & Yigit, A. (2008). Antifungal properties of olive leaf extracts and their phenolic compounds. *Journal of Food Safety*, 28(1), 76-87.
[34] Javanmardi, J., Stushnoff, C., Locke, E., & Vivanco, J. M. (2003). Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian Ocimum accessions. *Food Chemistry*, 83(4), 547-550.
[35] Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (1990). The antioxidants of human extracellular fluids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 280(1), 1-8.
[36] Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects–A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820-897.
[37] Hirawan, R., Ser, W. Y., Arntfield, S. D., & Beta, T. (2010). Antioxidant properties of commercial, regular-and whole-wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 119(1), 258-264.
[38] Fares, C., Platani, C., Baiano, A., & Menga, V. (2010). Effect of processing and cooking on phenolic acid profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta enriched with debranning fractions of wheat. *Food Chemistry*, 119(3), 1023-1029.
[39] Chew, Y. L., Chan, E. W. L., Tan, P. L., Lim, Y. Y., Stanslas, J., & Goh, J. K. (2011). Assessment of phytochemical content, polyphenolic composition, antioxidant and antibacterial activities of Leguminosae medicinal plants in Peninsular Malaysia. *BMC Complementary and Alternative Medicin*e, 11(1), 12.
[40] Halliwell, B. (1995). Antioxidant characterization: methodology and mechanism. *Biochemical Pharmacology*, 49(10), 1341-1348.
[41] Cochrane, C. G. (1991). Cellular injury by oxidants. *The American Journal of Medicine*,

1215-1247.
[61] Fares, C., Codianni, P., Nigro, F., Platani, C., Scazzina, F., & Pellegrini, N. (2008). Processing and cooking effects on chemical, nutritional and functional properties of pasta obtained from selected emmer genotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(14), 2435-2444.
[62] Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2010). The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121(1), 156-164.
[63] Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J., & Li, J. (2002). Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77(1), 35-40.
[64] Giuberti, G., Gallo, A., Cerioli, C., Fortunati, P., & Masoero, F. (2015). Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. *Food Chemistry*, 175, 43-49.
[65] Verkerk, R., Schreiner, M., Krumbein, A., Ciska, E., Holst, B., Rowland, I., ... & Dekker, M. (2009). Glucosinolates in Brassica vegetables: the influence of the food supply chain on intake, bioavailability and human health. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(S2), S219-S219.
[66] Oliviero, T., Verkerk, R., & Dekker, M. (2012). Effect of water content and temperature on glucosinolate degradation kinetics in broccoli (Brassica oleracea var. italica). *Food Chemistry*, 132(4), 2037-2045.
[67] Kamali Rosta, L., Ghandehari Yazdi, A. P., & Soltani, A. (2019). Correlation between glycemic index and microstructure of pasta. *3rd international and 26th national Iranian food science and technology congress. Tehran, Iran* (Tarbiat Modares university).
[68] Giuberti, G., Gallo, A., Cerioli, C., Fortunati, P., & Masoero, F. (2015). Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. *Food Chemistry*, 175, 43-49.
[69] Da Silva, E. V. (2013). *Pasta highly enriched with vegetables: from microstructure to sensory and nutritional aspects* (Doctoral dissertation, Wageningen University).
[70] Sun-Waterhouse, D., Jin, D., & *International*, 105, 94-101.
[51] Aiello, A., Di Bona, D., Candore, G., Carru, C., Zinellu, A., Di Miceli, G., ... & Vasto, S. (2018). Targeting Aging with Functional Food: Pasta with Opuntia Single-Arm Pilot Study. *Rejuvenation Research*, 21(3), 249-256.
[52] Armellini, R., Peinado, I., Pittia, P., Scampicchio, M., Heredia, A., & Andres, A. (2018). Effect of saffron (Crocus sativus L.) enrichment on antioxidant and sensorial properties of wheat flour pasta. *Food Chemistry*, 254, 55-63.
[53] Spinelli, S., Padalino, L., Costa, C., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2019). Food by-products to fortified pasta: A new approach for optimization. *Journal of Cleaner Production*, 215, 985-991.
[54] Biernacka, B., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R., & Siastała, M. (2017). Physical, sensorial, and antioxidant properties of common wheat pasta enriched with carob fiber. *LWT-Food Science and Technology*, 77, 186-192.
[55] Lisiecka, K., Wójtowicz, A., Dziki, D., & Gawlik-Dziki, U. (2019). The influence of Cistus incanus L. leaves on wheat pasta quality. *Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4311-4322.
[56] Oliviero, T., & Fogliano, V. (2016). Food design strategies to increase vegetable intake: The case of vegetable enriched pasta. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 58-64.
[57] Silva, E., Gerritsen, L., Dekker, M., Van der Linden, E., & Scholten, E. (2013). High amounts of broccoli in pasta-like products: nutritional evaluation and sensory acceptability. *Food & Function*, 4(11), 1700-1708.
[58] Abdel-Aal, E. S. M., & Rabalski, I. (2013). Effect of baking on free and bound phenolic acids in wholegrain bakery products. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 312-318.
[59] Marinelli, V., Padalino, L., Nardiello, D., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2015). New approach to enrich pasta with polyphenols from grape marc. *Journal of Chemistry*.
[60] Van Boekel, M., Fogliano, V., Pellegrini, N., Stanton, C., Scholz, G., Lalljie, S., ... & Eisenbrand, G. (2010). A review on the beneficial aspects of food processing. *Molecular Nutrition & Food Research*, 54(9),

granatum L. var. Malas) peel extract. *Food and Bioprocess Technology*, 10(2), 379-393.

[79] Marchetti, N., Bonetti, G., Brandolini, V., Cavazzini, A., Maietti, A., Meca, G., & Mañes, J. (2018). Stinging nettle (Urtica dioica L.) as a functional food additive in egg pasta: Enrichment and bioaccessibility of Lutein and β-carotene. *Journal of Functional Foods*, 47, 547-553.

[80] Martín-Esparza, M. E., Raigón, M. D., Raga, A., & Albors, A. (2018). High fibre tiger nut pasta and xanthan gum: cooking quality, microstructure, physico-chemical properties and consumer acceptance. *Food Science and Biotechnology*, 27(4), 1075-1084.

[81] Mujeeb, M. N. M. (2018). *Studies on physico-chemical and textural properties on noodles incorporated with fenugreek (trigonella foenum-gracum L) leaves puree* (Doctoral dissertation, Vasantrao Naik Marathwada Krishi Vidyapeeth, Parbhani).

[82] Lu, X., Brennan, M. A., Serventi, L., Liu, J., Guan, W., & Brennan, C. S. (2018). Addition of mushroom powder to pasta enhances the antioxidant content and modulates the predictive glycaemic response of pasta. *Food Chemistry*, 264, 199-209.

[83] Lu, X., Brennan, M. A., Serventi, L., Liu, J., Guan, W., & Brennan, C. S. (2018). Addition of mushroom powder to pasta enhances the antioxidant content and modulates the predictive glycaemic response of pasta. *Food Chemistry*, 264, 199-209.

[84] Essa, R. Y., & Mohamed, E. E. (2018). Improvement of functional and technological characteristics of spaghetti by the integration of pomegranate peels powder. *American Journal of Food Technology*, 13, 1-7.

[85] Gull, A., Prasad, K., & Kumar, P. (2018). Nutritional, antioxidant, microstructural and pasting properties of functional pasta. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 147-153.

[86] Attanzio, A., Diana, P., Barraja, P., Carbone, A., Spanò, V., Parrino, B., ... & Montalbano, A. (2019). Quality, functional and sensory evaluation of pasta fortified with extracts from Opuntia ficus□indica cladodes. Journal of the Science of Food and Agriculture.

Waterhouse, G. I. (2013). Effect of adding elderberry juice concentrate on the quality attributes, polyphenol contents and antioxidant activity of three fibre-enriched pastas. *Food Research International*, 54(1), 781-789.

[71] Rajeswari, G., Susanna, S., Prabhasankar, P., & Rao, G. V. (2013). Influence of onion powder and its hydrocolloid blends on pasta dough, pasting, microstructure, cooking and sensory characteristics. *Food Bioscience*, 4, 13-20.

[72] Sant'Anna, V., Christiano, F. D. P., Marczak, L. D. F., Tessaro, I. C., & Thys, R. C. S. (2014). The effect of the incorporation of grape marc powder in fettuccini pasta properties. *LWT-Food Science and Technology*, 58(2), 497-501.

[73] Akinoso, R., Olatoye, K. K., & Ogunyele, O. O. (2016). Potentials of trifoliate yam (Dioscorea dumetorum) in noodles production. *Journal of Food Processing and Technology*, 7(609), 2.

[74] Rahiminezhad, F., & Azizi, M. H. (2017). Investigation the effect of inulin and gree tea powder replacement of physicochemical, textural and sensory properties of pasta. *Food Science and Technology*. 68, 147-154.

[75] Shyam, A. G., Mishra, V., Vaidya, D., & Sharma, A. (2017). Effect of spinach and chickpea flour fortification on cooking, functional and textural properties of wheat pasta. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 21(2), 81-85.

[76] Waqas, M., Shad, A. A., Bashir, O., & Iqbal, M. (2017). Extraction and Utilization of Tomato Carotenoids as Antioxidant and Natural Colorants in Sunflower Oil and Spaghetti. *Sarhad Journal of Agriculture*, 33(2).

[77] Pasqualone, A., Gambacorta, G., Summo, C., Caponio, F., Di Miceli, G., Flagella, Z., ... & Lenucci, M. S. (2016). Functional, textural and sensory properties of dry pasta supplemented with lyophilized tomato matrix or with durum wheat bran extracts produced by supercritical carbon dioxide or ultrasound. *Food Chemistry*, 213, 545-553.

[78] Kazemi, M., Karim, R., Mirhosseini, H., Hamid, A. A., & Tamnak, S. (2017). Processing of parboiled wheat noodles fortified with pulsed ultrasound pomegranate (Punica

[87] Panghal, A., Kaur, R., Janghu, S., Sharma, P., Sharma, P., & Chhikara, N. (2019). Nutritional, phytochemical, functional and sensorial attributes of Syzygium cumini L. pulp incorporated pasta. Food Chemistry, 289, 723-728.

[88] Yazdankhah, S., Hojjati, M., & Azizi, M. H. (2019). The Antidiabetic Potential of Black Mulberry Extract-Enriched Pasta through Inhibition of Enzymes and Glycemic Index. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(1), 149-155.

[89] Padalino, L., Costa, C., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2019). Extract of Salicornia europaea in fresh pasta to enhance phenolic compounds and antioxidant activity. International Journal of Food Science & Technology.

[90] Ghandahari Yazdi, A. P., Barzegar, M., Sahari, M. A., & Ahmadi Gavlighi, H. (2019). Optimization of the enzyme□assisted aqueous extraction of phenolic compounds from pistachio green hull. Food Science and Nutrition, 7(1), 356-366.

[91] Saifullah, R., Abbas, F. M. A., Yeoh, S. Y., & Azhar, M. E. (2009). Utilization of green banana flour as a functional ingredient in yellow noodle. *International Food Research Journal*, 16(3), 373-379.

[92] Simonato, B., Trevisan, S., Tolve, R., Favati, F., & Pasini, G. (2019). Pasta fortification with olive pomace: Effects on the technological characteristics and nutritional properties. *LWT-Food Science and Technology*, 114, 108368.

[93] Rakhesh, N., Fellows, C. M., & Sissons, M. (2015). Evaluation of the technological and sensory properties of durum wheat spaghetti enriched with different dietary fibres. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 2-11.

[94] Chusak, C., Chanbunyawat, P., Chumnumduang, P., Chantarasinlapin, P., Suantawee, T., & Adisakwattana, S. (2020). Effect of gac fruit (Momordica cochinchinensis) powder on in vitro starch digestibility, nutritional quality, textural and sensory characteristics of pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 118, 108856.

A review: New Approach to Enrich Pasta with fruits and vegetables

Ghandehari Yazdi, A. P. [1], Kamali Rousta, L. [2], Azizi Tabrizzad, M. H. [3*], Amini, M. [4], Tavakoli, M. [5], Yahyavi, M. [6]

1. Ph.D. in food science and technology, Zar Research and Industrial Development Group.
2. Ph.D. in food science and technology, Zar Research and Industrial Development Group.
3. Professor of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University.
4. Ph.D. in management, Board member, Zar Research and Industrial Development Group.
5. MSc in food science and technology, Zar Research and Industrial Development Group.
6. MSc in food science and technology, Zar Research and Industrial Development Group.

(Received: 2020/02/01 Accepted: 2020/05/10)

Pasta is one of the most popular foods consumed in the world because of its low price, easy cooking and good taste. It is rich in calories (complex carbohydrates), but it is poor in dietary fibers, minerals, phenolic compounds and vitamins. Due to the limited number of raw materials in pasta production, its popularity among all segments of society as well as the simple production process, it can be used as a suitable carrier for enrichment. In this study, the effect of pasta enrichment using fruits and vegetables on physicochemical and nutritional properties of the pasta was investigated. The results of this study showed that the addition of vegetables and fruits to formulation of past considerably increased content of bioactive compounds such as phenolic compounds as well as antioxidant activity. In between pasta production steps, pasta cooking had the most impact on the reducing of bioactive compounds. Vegetables and fruits can leach into boiling water (cooking water) or can be thermally degraded. The enrichment has a dilution effect of the gluten network, leading to changing of cooking and texture properties. Due to the type of compounds added to the pasta formulation, their effect on glycemic index was different. Therefore, enrichment is successful only if processing conditions are optimized to keep in the final product the desired nutritional characteristics of the vegetables and fruits.

Keywords: Pasta, Bioactive compounds, Enrichment, Functional food.

[*] Corresponding Author E-Mail Address: azizit_m@modares.ac.ir