بررسی اثر دما، مدت زمان و دامنه فراصوت بر اندازه گرانول‌های نشاسته برنج به کمک روش سطح پاسخ (RSM)

مریم اثنی عشری[۱]، رضا فرهمندفر[۲]، سینا مولائی[۳*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، صندوق پستی ۵۷۸

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، صندوق پستی ۵۷۸

۳- دانشجوی کارشناسی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، صندوق پستی ۵۷۸

*Email: sina_molaie@yahoo.com

چکیده

نشاسته منبع اصلی انرژی در رژیم انسان‌ها است. روش‌های فیزیکی مختلفی را می‌توان بر نشاسته خام وارد کرد و کاربرد آن را تغییر داد که یکی از آنها فراصوت می‌باشد. در این تحقیق، دیسپرسیون نشاسته آمیلوز برنج تهیه و قطر (D_{43}) گرانول‌ها به کمک دستگاه اندازه گیری ذرات تعیین شد. در این مطالعه، روش سطح پاسخ (RSM) با متغیرهای مستقل دمای فرآیند (۶۵-۴۵ درجه سانتیگراد)، مدت زمان فرآیند (۳۰۰-۱۰ ثانیه) و دامنه فراصوت (۱۰۰-۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت. قطر گرانول (D_{43}) به دما و زمان وابسته بود و با افزایش این متغیرهای مستقل، به صورت نمایی افزایش یافت. در دماهای پایین، افزایش دامنه فراصوت تأثیر کمی بر روی قطر گرانول‌ها داشت ولی این خصوصیت با افزایش دما، کاهش یافت. بنابراین، اندازه گرانول‌ها پس از گرمادهی و اعمال فراصوت کوچکتر از گرانول‌های نشاسته گرمادیده (بدون اعمال فراصوت) است.

واژه‌های کلیدی: برنج، فراصوت، قطر گرانول، نشاسته

مقدمه

نشاسته مهمترین، فراوانترین و قابل هضم‌ترین پلی ساکاریدی است که در تأمین انرژی بشر نقش دارد. شکل گرانولی نشاسته، باعث امکان ایجاد واکنش‌های مختلف می‌شود به طوری که از این طریق می‌توان نشاسته‌های اصلاح شده فیزیکی و شیمیایی متنوعی تولید کرد که کاربردهای صنعتی گسترده‌ای دارند. اجزای اصلی سازنده نشاسته، دو نوع پلیمر به نام‌های آمیلوز (عمدتاً خطی) و آمیلوپکتین (پرشاخه) هستند که از اتصالات گلوکز به وجود می‌آیند (جِین، ۲۰۰۴).

امروزه به کارگیری فناوری‌های نوین (تکنولوژی‌های غیرحرارتی) مثل امواج فراصوت در صنعت رو به گسترش است. محققین گزارش داده‌اند که تیمارهای فراصوت باعث افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی می‌شود. از سال‌های نه چندان دور تا به حال، تأثیر فراصوت بر روی خصوصیات نشاسته مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیقات نشان می‌دهند که اولتراسوند باعث ایجاد سوراخ‌ها و کانال‌هایی بر روی سطح و درون گرانول می‌شود لذا مساحت سطحی گرانول‌های نشاسته و در نتیجه راندمان واکنش روند صعودی به خود می‌گیرد. اساساً این نوع نشاسته‌ها (نسبت به نشاسته‌های معمولی) ویسکوزیته کمتری دارند و با سهولت بیشتری تحت تأثیر آنزیم‌ها قرار می‌گیرند (هوآنگ و همکاران، ۲۰۰۷).

علی رغم تنوع انواع نشاسته‌های اصلاح شده تجاری، تغییر ساختار فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی نشاسته همچنان مورد توجه می باشد. از این رو در این تحقیق تلاش بر آن بود که اثرات فراصوت (نوعی روش فیزیکی) در دماها و زمان‌های مختلف بر اندازه گرانول‌ها در دیسپرسیون نشاسته برنج مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

اعمال فراصوت: در ابتدا با ریختن مقادیر مناسب پودر نشاسته (از شرکت چوهنگ، تایلند) در آب دیونیزه و همزدن مغناطیسی با دور آرام، دیسپرسیون ۸٪ نشاسته تشکیل شد. برای اعمال امواج فراصوت مداوم از یک دستگاه مولد امواج فراصوت با توان اسمی ۷۵۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز استفاده شد. دمای مورد نظر در طول مدت صوت‌دهی به کمک سیرکولاتور و با چرخش مداوم آب در بین دو جداره محفظه صوت‌دهی حفظ گردید.

اندازه گیری گرانول‌های نشاسته: قطر متوسط گرانول‌ها (D_{43}) به کمک دستگاه اندازه گیری ذرات توسط انکسار نور لیزر و بر اساس تئوری Mie اندازه گیری شدند. دیسپرسیون نشاسته بلافاصله پس از اعمال فراصوت مورد آزمون قرار گرفت. قطر متوسط گرانول‌ها (میکرومتر) با استفاده معادله ذیل تعیین شد:

$$D_{43} = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$$

رابطه (۱)

که ni تعداد ذرات با قطر di می باشد.

طرح آماری: به منظور بررسی اثرات متقابل دامنه فراصوت[1] (A)، مدت زمان (s) و دما (T) از متدولوژی پاسخ سطح[2] (RSM) استفاده شد. RSM جهت یافتن اثر متغیرهای مستقل بر قطر گرانول‌ها (D_{43}) مورد استفاده قرار گرفت و طرح مرکب مرکزی با متغیرهای مستقل دمای اعمال فرآیند (۶۵-۴۵ درجه سانتیگراد)، مدت زمان فرآیند (۳۰۰-۱۰ ثانیه) و دامنه فراصوت (۱۰۰-۰ درصد) به کار گرفته شد.

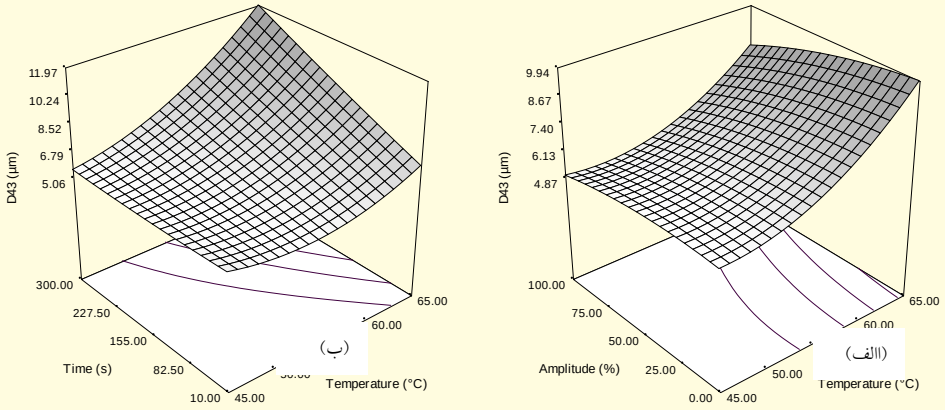
داده‌های بدست آمده در این طرح با استفاده از نرم افزار Design Expert مدل ۶.۰.۲ (میناپولیس آمریکا) مدلسازی شده و نمودارهای سه بعدی (منحنی‌های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطه میان پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل رسم شد. توابع پاسخ (y) بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با استفاده از مدل چندجمله‌ای درجه دوم برازش داده شد. ضرایب چند جمله‌ای به صورت b_0 (عدد ثابت)؛ b_1، b_2 و b_3 (اثرات خطی)؛ b_{11}، b_{22} و b_{33} (اثرات درجه دوم) و b_{12}، b_{13} و b_{23} (اثرات متقابل) بیان شده‌اند. معنی داری ضرایب مدل با استفاده از آنالیز واریانس برای هر پاسخ تعیین گردید. کفایت مدل، با استفاده از طریق آزمون ضعف برازش[3] و ضریب تبیین[4] (R^2 و R^2 اصلاح شده) مورد بررسی قرار گرفت. منحنی‌های سطح پاسخ نیز با این نرم افزار رسم شدند.

نتایج و بحث

بررسی‌ها نشان داد که مدل درجه دوم با دارا بودن R^2 و R^2 اصلاح شده بالا، از سطح معنی‌داری بالایی ($P < ۰/۰۰۰۱$) برای پیشگویی قطر D_{43} برخوردار گردیده است. در این حالت آزمون ضعف برازش بی‌معنی شده است ($P > ۰/۰۵$) که این امر نیز نشان دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده می‌باشد. عبارات معنی‌دار مدل درجه دوم برای قطر D_{43} شامل درجه حرارت (b_1، $P < ۰/۰۰۰۱$)، مدت زمان (b_2، $P < ۰/۰۰۱$)، دامنه فراصوت (b_3، $P < ۰/۰۵$)، عبارت درجه دوم درجه حرارت (b_{11}، $P < ۰/۰۵$) و همچنین

[1] Amplitude
[2] Response surface methodology
[3] Lack of fit test
[4] Coefficient of determination

اثر متقابل بین درجه حرارت و مدت زمان (b_{12}، $P < ۰/۰۰۱$) بود. R^2 و R^2 اصلاح شده در این مدل به ترتیب ۰/۹۳۵۴ و ۰/۸۷۷۲ (بالاتر از ۰/۸۰) بودند که قدرت بالای مدل را تائید می‌کند.



شکل ۱– اثر الف) دما و مدت زمان (۵۰٪ = دامنه فراصوت) و ب) دما و دامنه فراصوت (۱۵۵s = مدت زمان) بر قطر D_{43} گرانول‌های نشاسته برنج با استفاده از منحنی سطح پاسخ

قطر ذرات گرانول (D_{43}) به دما وابسته است و با افزایش دما روند صعودی به خود گرفت (شکل ۱-الف). در دماهای پایین، مدت زمان فرآیند تأثیری بر روی قطر ذرات گرانول نداشت و این در حالی است که با افزایش مدت صوت‌دهی در دماهای بالا، قطر ذرات گرانول به صورت چشمگیری افزایش یافت. همان طور که در شکل ۱-ب مشاهده می‌کنید، با افزایش زمان قطر گرانول‌ها به نمایی افزایش یافت ولی این روند در دامنه فراصوت بالا، با شیب کمتری دنبال شد.

نتایج نشان داد که با افزایش دامنه فراصوت در دماهای بالاتر، قطر گرانول‌ها کاهش یافت ولی در دماهای پائین، دامنه فراصوت تأثیری بر اندازه گرانول‌ها نداشت (شکل ۱). به طور کلی افزایش اندازه گرانول‌ها را می‌توان به افزایش توانایی جذب آب و افزایش حلالیت گرانول‌ها نسبت داد (جامبراک و همکاران، ۲۰۱۰).

زو و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی توزیع اندازه ذره نشاسته برنج واکسی بیان کردند که در هنگام حرارت دهی، اندازه گرانول‌ها پس از اعمال فراصوت کاهش می‌یابد. اندازه ذره سوسپانسیون‌های نشاسته فراصوت داده شده و شاهد (صوت داده نشده) در دماهای مختلف نشان داد که قطر D_{43} تمام سوسپانسیون‌ها (صوت داده شده و شاهد) در دماهای کمتر از ۵۰ درجه سانتیگراد کاهش پیدا نکرد ولی در دماهای بالاتر ($\geq$ ۵۰ °C) افزایش چشمگیری یافت به طوری که در نمونه‌های شاهد از ۵ میکرومتر در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۹/۴ و ۲۵ میکرومتر در دمای ۶۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد رسید. به طور کلی، در کلیه دماها (۲۵-۷۰ °C) روند تغییرات قطر D_{43} در نمونه‌های فراصوت داده شده مشابه نمونه‌های شاهد گزارش شد با این تفاوت که سوسپانسیون‌های فراصوت داده شده، قطر D_{43} کمتری را به خود اختصاص می‌دهند. از طرف دیگر، این محققین با بررسی متوسط قطر D_{43} به عنوان تابعی از زمان در دمای ۶۳ درجه سانتیگراد بیان کردند که در سوسپانسیون‌های شاهد (صوت داده نشده) با افزایش مدت زمان صوت‌دهی، قطر D_{43} در ابتدا به سرعت از ۷/۲ میکرومتر به ۱۳/۹ میکرومتر در مدت ۱۵ دقیقه می‌رسد و پس از آن با سرعت تدریجی به بیشترین مقدار خود (۱۵/۰ میکرومتر) در زمان ۳۰ دقیقه نزدیک می‌شود.

کوو و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که با افزایش درجه حرارت، قدرت تورم نشاسته‌های مختلف (ماش، سیب زمینی و برنج) روند صعودی به خود می‌گیرد. از طرف دیگر، با افزایش مدت زمان صوت‌دهی قدرت تورم نشاسته‌های مختلف کاهش می‌یابد (و این عمل در نشاسته سیب زمینی مشخص‌تر است) لذا با افزایش همزمان درجه حرارت-مدت زمان می‌توان شدیدترین کاهش را در قدرت تورم مشاهده کرد.

جامبراک و همکاران (۲۰۱۰) اثر فراصوت را بر روی خصوصیات رئولوژیکی و برخی از خصوصیات فیزیکی نشاسته ذرت مورد بررسی قرار دادند. قدرت تورم نشاسته‌ها مستقیماً به افزایش درجه حرارت وابسته است. در سیستم‌های پروب، با افزایش توان صوت‌دهی در دماهای بالا می‌توان کاهش قدرت تورم را مشاهده کرد.

لوو و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی اثر تیمار فراصوت بر روی سه نوع نشاسته مختلف (ذرت طبیعی، ذرت واکسی، ذرت آمیلومایز V) پرداختند. آنها بیان کردند که قدرت تورم نشاسته‌ها به دما وابسته است به طوری که این متغیر وابسته با افزایش دما، به شدت افزایش می‌یابد ولی این محقین (برخلاف بسیاری از دانشمندان) بر این عقیده‌اند که با اعمال فراصوت بر روی نشاسته‌ها (در دماهای مختلف) قدرت تورم گرانول‌ها افزایش می‌یابد و میزان این افزایش تورم عبارت است از ذرت آمیلومایز V > ذرت طبیعی > ذرت واکسی.

آیدا و همکاران (۲۰۰۸) پس از ژلاتیناسیون، اثر فراصوت را بر روی نشاسته‌های ذرت طبیعی، ذرت واکسی، سیب زمینی، سیب زمینی شیرین و تاپیوکا مورد بررسی قرار دادند. آنها نیز مشاهده کردند با تیمار گرمایی، میزان تورم گرانول‌ها افزایش و با افزایش مدت صوت دهی (در دماهای معین) میزان تورم گرانول‌ها کاهش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

Huang, Q., Li, L. and Fu, X., 2007. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. *Starch-Stärke*, *59*(8), pp.371-378.

Iida, Y., Tuziuti, T., Yasui, K., Towata, A. and Kozuka, T., 2008. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *9*(2), pp.140-146.

Jambrak, A.R., Herceg, Z., Šubarić, D., Babić, J., Brnčić, M., Brnčić, S.R., Bosiljkov, T., Čvek, D., Tripalo, B. and Gelo, J., 2010. Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, *79*(1), pp.91-100.

Jane, J., 2004. Starch: structure and properties, Chemical and Functional Properties of Food Saccharides (P. Tomasik, Ed.).

Koo, M.C., Moon, T.W., Kim, H. and Chun, J.K., 2002. Physicochemical properties of sonicated mung bean, potato, and rice starches. *Cereal chemistry*, *79*(5), p.631.

Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., Gao, Q. and Yu, S., 2008. Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. *Starch-Stärke*, *60*(11), pp.646-653.

Zuo, J.Y., Knoerzer, K., Mawson, R., Kentish, S. and Ashokkumar, M., 2009. The pasting properties of sonicated waxy rice starch suspensions. *Ultrasonics sonochemistry*, *16*(4), pp.462-468.