

بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران

۱۳۹۲ آبان

21st National Congress of Food Science and Technology
29 - 31 Oct 2013



بسمه تعالی

پژوهشگر محترم «ویجه نیک زاده»، ممدی سعادت مند طرز جان، ناصر صداقت،

به پاس ارائه سخنرانی تحت عنوان «تعمین کارایی شناساگرهای زمان-مغای طراحی شده برای حفاظت از مواد غذایی تازه سرد در مقابل بوتولسم،

در بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران که در تاریخ ۹-۷ آبان ماه ۱۳۹۲ در دانشگاه شیراز برگزار گردید، از شما شکر و قدردانی نموده و امید است حضور شما کام بلندی در عرصه های نوآوری، شکوفایی و پیشرفت کشور عزیزمان ایران اسلامی باشد.



دیران اجزایی

دکتر محمد هادی اسکندری
دکتر مهرداد انیا کوثری



دیر علمی
دکتر عسکر فرحناکی





تعیین کارایی شناساگرهای زمان-دما برای طراحی شده برای حفاظت از مواد غذایی تازه سرد در مقابل بوتولیسم

وجیهه نیکزاده^{۱*}، مهدی سعادت‌مند طرزجان^۲، ناصر صداقت^۳

* ۱- دانشجوی دکتری تکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

Vnikzade@Yahoo.com

چکیده: شناساگرهای زمان-دما به عنوان ابزاری برای کنترل ایمنی مواد غذایی تازه‌ی بسته‌بندی شده در محیط‌های کم اکسیژن استفاده می‌شوند. هدف این تحقیق توسعه مدلی بمنظور تعیین کارایی TTI‌ها برای مواد غذایی مستعد رشد کلاستریدیوم بوتولینوم، بخصوص غذاهای دریایی بسته‌بندی شده با اکسیژن کاهش یافته، می‌باشد. معادلات TTI‌های با رفتار درجه صفر و رابطه آرنیوس مرتبط با آنها، براساس مدل اسکینر-لارکین بررسی و شبیه‌سازی شد. همچنین برای TTI‌های با کینتیک درجه یک نیز مدل اسکینر-لارکین توسعه داده شد و با مدل درجه صفر مقایسه گردید. بررسی عملکرد TTI‌های با رفتار درجه صفر و درجه یک و مقایسه آنها نشان داد که شرایط مدل ارایه شده برای TTI درجه صفر نسبت به درجه یک در مواقعی سختگیرانه و گاهی خوش‌بینانه می‌باشد، لذا ابتدا بایستی از مرتبه کینتیک TTI مورد نظر اطمینان حاصل نمود، زیرا قضاوت درباره TTI‌های مرتبه یک از روی منحنی‌های درجه صفر می‌تواند منجر به نتایج نادرست و بروز مشکلات بهداشتی جدی گردد.

واژه های کلیدی: شناساگرهای زمان-دما، غذاهای دریایی، بسته‌بندی با اکسیژن کاهش یافته، بوتولیسم



مقدمه:

بسته‌بندی با اکسیژن کاهش یافته^۱ (ROP) برای مواد غذایی تازه دارای حداقل ۲ مزیت است: (۱) بهبود کارایی تولید، حمل و نقل و توزیع و (۲) افزایش زمان ماندگاری. بسته‌بندی ROP معمولاً از طریق بسته‌بندی خلأ یا بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده (MAP) انجام می‌شود (۱۳). تمایلات اخیر به بسته‌بندی ROP برای مواد غذایی تازه خطرات تازه‌ای برای ابتلا به بوتولیسم ایجاد کرده است، زیرا در این نوع بسته‌بندی ممکن است قبل از بروز فساد آشکار، توکسین حضور داشته باشد (۱،۲،۶،۷،۸). این خطر توأم با این حقیقت است که غذاهای دریایی بمزاتب کمتر از سایر مواد غذایی پخته می‌شوند. بنابراین، حل کردن موارد ایمنی مرتبط با غذاهای دریایی تازه ROP ممکن است کاربرد این تکنولوژی را برای بسیاری از مواد غذایی آسان نماید (۱۳).

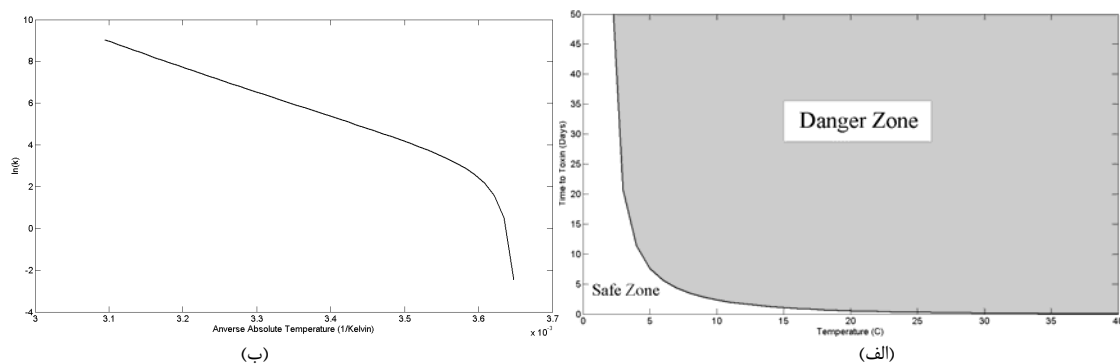
اگرچه مطالعات نشان داده‌اند که بسته‌بندی MAP احتمالاً قادر به طولانی کردن زمان ماندگاری ماهی تازه می‌باشد، اما استفاده از آن به دلیل خطر باکتری‌های پاتوژن که سبب ایجاد سمیت قبل از فساد آشکار می‌شوند، محدود می‌گردد (۴). کلستریدیوم بوتولینوم در دماهای بالاتر توکسین را با سرعت بیشتری نسبت به دماهای پایین‌تر تولید می‌کند (۷،۸،۹). حداقل دما برای رشد *C. botulinum* نوع E و غیر پروتئولیتیک نوع B و F حدود ۳/۳ درجه سانتی‌گراد است. هنگامی که زمان ماندگاری مواد غذایی سرد افزایش می‌یابد، زمان بیشتری برای *C. botulinum* در جهت رشد و تشکیل توکسین، در دسترس است. زمانی که دماهای نگهداری افزایش می‌یابد، زمان لازم برای تشکیل توکسین کاهش می‌یابد. FDA صنعت را به حفظ دماهای سرد، در طی نگهداری، توزیع، عرضه، یا حمل و نقل مواد غذایی سرد توسط مصرف‌کننده، معطوف می‌دارد (۳).

اسکینر و لارکین (۱۹۹۸) یک رابطه تجربی به شرح زیر برای پیش‌بینی زمان مورد نیاز برای مشاهده توکسین *C. botulinum* به عنوان تابعی از دما، ارائه نمودند:

$$\text{Log}(L) = 0.65 - 0.0525T + 2.74/T \quad (1)$$

که L زمان تأخیر سمی شدن (lag time) برحسب روز و T دما برحسب درجه سلسیوس است. شکل ۱ نمودار منحنی اسکینر و لارکین را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، منحنی اسکینر و لارکین یک مرز تجربی در اطراف تمامی شرایط شناخته شده برای رشد *C. botulinum* ارائه می‌دهد (۱۱).

معمولاً تغییرات ایجاد شده در مواد غذایی سرد تازه نامطلوب است و نشان دهنده افت کیفیت ماده غذایی و یا افت ایمنی آن است. همچنین تشخیص داده شده است که سرعت این چنین تغییراتی با توجه به دما تغییر می‌کند. در حقیقت، معادله ۱ حساسیت دمایی آزادسازی توکسین توسط *C. botulinum* را نشان می‌دهد (۱۱). TTIها با استفاده از سیستم‌های فیزیکی و/یا شیمیایی نسبتاً ساده طراحی شده‌اند که خصوصیات حساسیت دمایی قابل فهمی دارند (۱۰،۱۲). TTIهای طراحی شده برای تضمین ایمنی غذاهای دریایی تازه ROP بایستی به ناظر اجازه دهند که تفسیر TTI را به رابطه اسکینر و لارکین (معادله ۱) ارتباط دهد. هدف این تحقیق توسعه مدلی بمنظور تعیین کارایی TTIها برای مواد غذایی مستعد رشد *C. botulinum* بخصوص غذاهای دریایی بسته‌بندی شده با اکسیژن کاهش یافته، می‌باشد. برای این منظور، معادلات TTIهای با رفتار درجه صفر و رابطه آرنیوس مرتبط با آنها، براساس مدل اسکینر-لارکین، بررسی و شبیه‌سازی شد. بعلاوه، برای TTIهای با کینتیک درجه یک نیز مدل اسکینر-لارکین توسعه داده شده و با مدل درجه صفر مقایسه گردیده است.



شکل ۱. (الف) منحنی اسکینر-لارکین: (ب) منحنی SKL0

مواد و روش‌ها:

به طور کلی، سرعت تغییر پارامتر قابل مشاهده TTI (A)، از معادله زیر تبعیت می‌کند:

¹ Reduced Oxygen Packaging



$$\pm \frac{dA}{dt} = kA^n \quad (2)$$

که k ثابت سرعت واکنش، و n درجه واکنش است. در سیستم‌های بسیار پیچیده نظیر مواد غذایی، تغییرات کلی غالباً منطبق بر کینتیک‌های درجه شبه صفر ($n=0$) یا درجه شبه اول ($n=1$) هستند. معمولاً فرآیندهای غالب در طبیعت دارای رفتار کینتیک درجه اول می‌باشند. در این حالت، سرعت تغییر A در هر زمان معین، متناسب است با مقدار آن است:

$$\pm \frac{dA}{dt} = kA \quad (3)$$

اگرچه که رفتار درجه صفر معمولاً در فرآیندهای طبیعی مشاهده نمی‌شود، اما به جهت سادگی تحلیل، همواره مورد توجه محققین بوده است [۴]. زیرا، در این حالت، سرعت تغییر A ثابت است:

$$\pm \frac{dA}{dt} = k \quad (4)$$

با حل معادلات (۴) و (۳)، می‌توان روابط حاکم بر رفتار TTI‌های درجه صفر و درجه یک را، به ترتیب مطابق با معادله‌های (۵) و (۶)، در زمان‌های معین بیان نمود:

$$n = 0 \Rightarrow \pm \int_{A_0}^A dA = k \int_0^t dt \Rightarrow A = A_0 \pm kt \quad (5)$$

$$n = 1 \Rightarrow \pm \int_{A_0}^A \frac{1}{A} dA = k \int_0^t \pm dt \Rightarrow A = A_0 e^{\pm kt} \quad (6)$$

همانطور که مشاهده می‌شود، کار با روابط کینتیک مرتبه صفر به دلیل شبه خطی بودن در مقایسه با روابط نمایی مربوط به مرتبه یک بسیار آسان‌تر می‌باشد. به عنوان مثال، اگر یک TTI درجه صفر در دمای ۲ درجه سانتیگراد طی ۱۰ روز منقضی شود (مثلاً M2-10 (vitsab®)، انتظار می‌رود که (به صورت خطی) در هر روز ۱۰٪ از کل پاسخ ($A_0=100\%$) مشاهده گردد (معادله ۵ را ببینید). این در حالی است که به جهت نمایی بودن روابط، برای یک TTI مشابه با درجه یک، پاسخ مشاهده شده در روزهای اول بسیار بیشتر از پاسخ در روزهای انتهایی خواهد بود (معادله ۶).

نتایج و بحث:

کینتیک درجه صفر:

Welt و همکاران در سال ۲۰۰۳ معادلات TTI‌های درجه صفر و رابطه آرنیوس مرتبط با آنها را، براساس مدل اسکینر-لارکین برای رشد کلوستریدیوم بوتولینوم در غذاهای دریایی بسته‌بندی شده با اکسیژن کاهش یافته، بررسی و شبیه‌سازی نموده‌اند (۱۳). برای این منظور، آنها فرمول تجربی اسکینر و لارکین (۱۹۹۸) (۱۱) را به رابطه متناظر آرنیوس آن تبدیل نمودند. به عبارت دقیق‌تر، رابطه آرنیوس که بیانگر چگونگی تغییرات ثابت سرعت واکنش (k) با دمای مطلق (T) است مطابق با معادله زیر تعریف می‌شود:

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RK}\right) \quad (7)$$

که $K=273.15+T$ دما برحسب درجه کلوین و k_0 مقداری ثابت است. به طور کلی، ثابت سرعت واکنش با دما افزایش می‌یابد. بدیهی است که حساسیت ثابت سرعت به دما بوسیله انرژی فعالسازی E_a کنترل می‌شود. به عبارت دقیق‌تر، برای دو TTI با مقادیر E_a متفاوت، به ازای یک تغییر دمای معین، ثابت سرعت واکنش در TTI با انرژی فعالسازی بزرگ‌تر، بیشتر تغییر خواهد کرد. به طور کلی، پارامترهای آرنیوس k_0 و E_a با استفاده از نمودار $\ln(k)$ برحسب عکس دمای مطلق ($1/K$) بدست می‌آیند. زیرا مطابق معادله زیر، در دستگاه مختصات مذکور، معادله آرنیوس به صورت خطی با شیب $-E_a/R$ و عرض از مبدا $\ln(k_0)$ بیان می‌شود:

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{RK} \quad (8)$$

با قواعد طبیعی، پایان زمان تأخیر اسکینر و لارکین (L)، همزمان با جوانه‌زنی اسپوره‌های *C. botulinum*، رشد باکتری‌ها و آزادسازی توکسین می‌باشد. بنابراین، یک TTI ایده‌آل باید در هر دما، دقیقاً در زمان تأخیر L متناظر با آن دما، منقضی گردد. به عبارت دقیق‌تر، اگر TTI از درجه صفر باشد باید در زمان $L(T)$ مقدار $A=0$ گردد. لذا، با جایگذاری مقادیر اخیر در معادله (۵) می‌توان نوشت ($A_0=100$):

$$k(T) = \frac{A_0}{L(T)} \quad (9)$$

برای رسم معادله اخیر در صفحه $\ln(k)$ برحسب $1/K$ (به منظور مقایسه با معادله ۸) از دوطرف معادله فوق \ln گرفته می‌شود. لذا، با استفاده از معادله (۱) می‌توان نوشت:

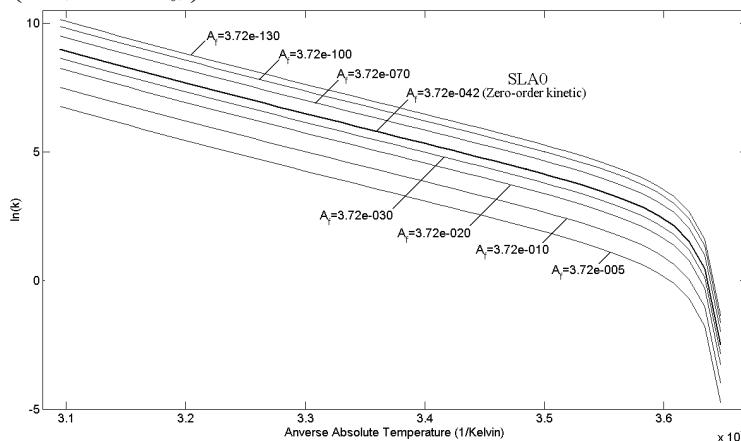
$$\ln(k) = \ln(A_0) - \ln(L) = \ln(100) - \frac{\log L}{\log 2.7183} = 3.11 + 0.1209T - \frac{6.31}{T} \quad (10)$$



نمودار مربوط به معادله فوق، که به نام منحنی S&L-Arrhenius مرتبه صفر (SLA0) شناخته می‌شود، در شکل ۲ نشان داده شده است. Welt و همکاران پیشنهاد نمودند که برای آنکه TTI قبل از تولید سم منقضی شود لازم است نمودار مربوط به آن، در همه دماها، بالای منحنی S&L-Arrhenius قرار گیرد. آنها در کار دیگری، صحت تئوری خود را با بررسی تجربی عملکرد vitsab® M2-10 TTI در دماهای مختلف تایید نمودند (۵).
آزمون مرتبه صفر:

از آنجا که منحنی SLA0 تنها برای TTI‌های مرتبه صفر معتبر می‌باشد، لازم است که ابتدا از کینتیک مرتبه صفر TTI مورد نظر اطمینان حاصل کرد. روش پیشنهادی ما برای این منظور (که آزمون مرتبه صفر نامیده می‌شود) مقایسه مقادیر ثابت سرعت واکنش حاصل از معادله واکنش (۵) و معادله آرنیوس (۹) می‌باشد. به عبارت دقیق‌تر، کارخانه سازنده مشخص می‌کند که TTI معین در چه دمایی (T_0) و ظرف چه مدت (L_0) منقضی می‌شود و همچنین با بدست آوردن پارامترهای k_0 ، E_a مربوط به TTI مورد نظر و با جایگذاری مقادیر پارامترهای مذکور در معادله‌های (۵) و (۹)، خواهیم داشت:

$$\begin{cases} (a) & k' = \frac{100}{L_0} \\ (b) & k'' = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(273.15 + T_0)}\right) \end{cases} \quad (11)$$



شکل ۲. منحنی SKL1 به ازای مقادیر مختلف A_f شامل 3.72E-130، 3.72E-100، 3.72E-70، 3.72E-42 (معادل با SKL0)، 3.72E-30، 3.72E-20، 3.72E-10 و 3.72E-5

طبق آزمون مرتبه صفر، TTI دارای کینتیک مرتبه صفر می‌باشد اگر و تنها اگر رابطه $k'=k''$ برقرار باشد:

$$k' = k'' \Leftrightarrow \text{TTI's kinetic is of zero - order} \quad (12)$$

در این حالت، معادلات واکنش و آرنیوس با یکدیگر سازگار شده و کینتیک مرتبه صفر را تأیید می‌نمایند. بدیهی است که هرچه اختلاف k' و k'' بیشتر باشد، رفتار TTI از کینتیک مرتبه صفر دورتر (و منطبق بر کینتیک مرتبه یک) خواهد بود. با وجود این، از آنجاییکه واکنش‌های طبیعی معمولاً دارای کینتیک درجه یک می‌باشند، فرض درجه صفر (یا شبه صفر) بودن TTI خوش‌بینانه می‌باشد.
کینتیک درجه یک:

انتظار کلی از TTI آن است که توصیف‌کننده شرایط واقعی محصول بسته‌بندی شده باشد. به عبارت دیگر، همانطور که دیر منقضی شدن TTI (بعد از تولید توکسین) ممکن است منجر به بروز مشکلات بهداشتی گردد، خیلی زود منقضی شدن آن نیز می‌تواند موجب خسارت اقتصادی قابل توجه برای تولید کننده و شبکه توزیع گردد. بنابراین، TTI ایده‌آل برای یک محصول باید کمی قبل از تولید توکسین (و نه خیلی زودتر از آن) منقضی گردد. در این بخش، نشان می‌دهیم که شرط منحنی SLA0 برای TTI‌های درجه یک معتبر نبوده و نمی‌تواند منجر به انتخاب TTI نزدیک به ایده‌آل گردد. سپس، با معرفی منحنی‌های SLA1، روشی مطمئن برای انتخاب یک TTI درجه یک ایده‌آل ارائه می‌گردد.

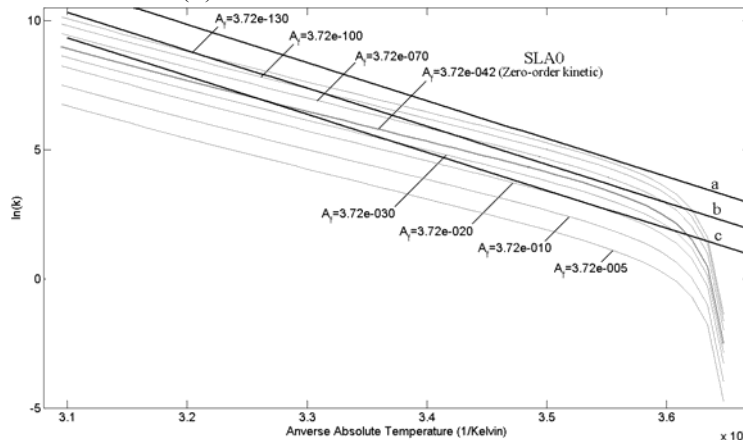
همواره فرض می‌شود که در ابتدای فرآیند انقضای TTI، $A=A_0=100\%$ بوده و در طول فرآیند کاهش یابد. در TTI‌های مرتبه صفر، در انتهای فرآیند انقضا A به $A=0\%$ کاهش می‌یابد. اما با توجه به معادله (۶)، در یک TTI مرتبه یک، A تنها در زمان $t=\infty$ صفر می‌شود. لذا می‌توان چنین فرض نمود که در یک TTI مرتبه یک، هنگامی که کمیت قابل مشاهده A به مقدار $0 < A_f$ کاهش یابد، TTI منقضی خواهد شد. اگرچه A_f ممکن است خیلی کوچک باشد، اما صفر نخواهد بود. محاسبه A_f برای یک TTI درجه یک بسیار آسان می‌باشد. برای این منظور کافی است برای دمای T_0 ، مقادیر ثابت سرعت واکنش $k=k''$ و $A_0=100$ و $L=L_0$ در معادله (۶) قرار گیرد. با فرض کاهش بودن معادله واکنش داریم:

$$A_f = 100 \exp(-k''L_0) = 100 \exp\left(-k_0 L_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(273.15 + T_0)}\right)\right) \quad (13)$$



همانند بحث مربوط به کینتیک مرتبه صفر، برای آنکه یک TTI مرتبه یک شرط منحنی اسکینر-لارکین را برآورده سازد باید همزمان با (یا قبل از) تولید توکسین منقضی شود. برای این منظور، باید در زمان $L(T)$ کمیت قابل مشاهده TTI به مقدار A_f برسد. لذا، می‌توان نوشت:

$$A_f = 100 \exp(-kL(T)) \Rightarrow k = \frac{\ln(100) - \ln(A_f)}{L(T)} \quad (14)$$



شکل ۳. سه منحنی آرنیوس نمونه در صفحه منحنی SLA1 به ازای A_f های مختلف

همانطور که مشاهده می‌شود، در مقایسه با معادله (۹) (کینتیک مرتبه صفر)، در معادله فوق (برای TTI مرتبه یک) تنها صورت کسر از ثابت ۱۰۰ به عبارت ثابت $-\ln(A_f/100)$ تغییر نموده است. بنابراین، برای آنکه یک TTI مرتبه صفر و یک TTI مرتبه یک با k یکسان، همزمان با هم منقضی گردند باید شرط $\hat{A}_f = 100e^{-100} = 3.72E-42$ برقرار باشد. به عبارت دیگر، اگر A_f بیشتر از \hat{A}_f باشد، TTI مرتبه یک زودتر و اگر کمتر باشد، دیرتر از TTI مرتبه صفر متناظر (با k مشابه) منقضی می‌گردد.

برای رسم معادله (۱۱) در صفحه $\ln(k)$ برحسب $1/K$ (به منظور مقایسه با معادله (۸)، پس از اعمال \ln بر دو طرف معادله (۱۴))، داریم:

$$\ln(k) = \ln\left(\ln\left(\frac{100}{A_f}\right)\right) - \ln(L(T)) = \ln\left(\ln\left(\frac{100}{A_f}\right)\right) - 1.50 + 0.1209T - \frac{6.31}{T} \quad (15)$$

نمودار حاصل از رسم معادله فوق در دستگاه مختصات $\ln(k)$ برحسب $1/K$ را منحنی $SLA1(A_f)$ می‌نامیم. همانطور که مشاهده می‌شود، عرض از مبدا منحنی $SLA1$ وابسته به A_f می‌باشد. به طوری که هرچه A_f کوچکتر باشد، عرض از مبدا منحنی $SLA1$ افزایش می‌یابد و برعکس. در حالت خاص، منحنی $SLA1(\hat{A}_f)$ بر منحنی $SLA0$ منطبق می‌گردد. به عبارت دیگر، منحنی $SLA1$ شکل توسعه یافته $SLA0$ می‌باشد. برای آنکه یک TTI مرتبه یک قبل از تولید توکسین منقضی شود، لازم است منحنی آرنیوس آن در دستگاه مختصات $\ln(k)$ برحسب $1/K$ در همه دماها بالاتر از $SLA1(A_f)$ باشد.

در شکل ۲، منحنی $SLA1$ برای مقادیر مختلف A_f شامل $3.72E-130$ ، $3.72E-100$ ، $3.72E-70$ ، $3.72E-42$ (معادل با SKL0)، $3.72E-30$ ، $3.72E-20$ ، $3.72E-10$ و $3.72E-5$ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، به ازای $\hat{A}_f < A_f$ منحنی $SLA1$ در زیر $SLA0$ قرار می‌گیرد. در نتیجه، نتایج حاصل از $SLA0$ برای این دسته از TTI‌های مرتبه اول سخت‌گیرانه خواهد بود؛ یعنی، وجود دارد TTI مرتبه اولی که منحنی آرنیوس آن در زیر $SLA0$ و بالای $SLA1$ قرار گیرد. در این حالت، به دلیل قرار گرفتن منحنی در بالای $SLA1$ ، TTI قبل از تولید توکسین منقضی خواهد شد. اما در مقابل، برای $A_f < \hat{A}_f$ منحنی $SLA1$ در بالای $SLA0$ قرار می‌گیرد که در این حالت، نتایج حاصل از $SLA0$ برای TTI‌های مرتبه اول خوش‌بینانه خواهد بود. یعنی می‌توان TTI مرتبه اولی یافت که منحنی آرنیوس آن در بالای $SLA0$ و در زیر $SLA1$ قرار گیرد. در این حالت، با اینکه منحنی آرنیوس در بالای $SLA0$ قرار گرفته اما باز هم ممکن است TTI بعد از تولید توکسین منقضی گردد (زیرا منحنی آرنیوس در زیر $SLA1$ قرار گرفته است). به عبارت دیگر، انتخاب TTI مرتبه اول براساس منحنی $SLA0$ می‌تواند منجر به نتایج غلط و بروز مشکلات بهداشتی جدی گردد. به عنوان مثال، در شکل ۳، سه منحنی آرنیوس مختلف a، b و c در صفحه $SLA1$ رسم شده است. با فرض کینتیک مرتبه صفر، منحنی‌های a و b (که بالای $SLA0$ هستند) قابل قبول و منحنی c (که بخشی از آن در زیر $SLA0$ قرار گرفته است) غیرقابل قبول می‌باشد. اما با فرض کینتیک مرتبه یک، باید مقدار A_f برای هر یک از منحنی‌های مذکور در دست باشد. روشن است که منحنی‌های a، b و c به ترتیب به ازای $3.72E-130 < A_f < 3.72E-42$ و $42 < A_f < 3.72E-20$ قابل قبول می‌باشند (زیرا در بالای منحنی مربوطه قرار گرفته‌اند). به عبارت دیگر، با اینکه منحنی b از دیدگاه منحنی $SLA0$ (کینتیک مرتبه صفر) قابل قبول است اما ممکن است، بسته به مقدار A_f ، از دیدگاه منحنی $SLA1$ غیرقابل قبول باشد. بعلاوه، منحنی c نیز که در زیر منحنی $SLA0$ قرار گرفته، در صورتی که دارای A_f به اندازه کافی بزرگ باشد، از دیدگاه کینتیک مرتبه یک (منحنی $SLA1$) می‌تواند مورد قبول واقع شود. بنابراین، قضاوت درباره TTI‌های مرتبه یک با استفاده از منحنی $SLA0$ خالی از اشکال نبوده و می‌تواند منجر به نتایج نادرست گردد.



نتیجه گیری کلی:

TTIها ابزاری برای کنترل ایمنی مواد غذایی مستعد رشد کلوستریدیوم بوتولینوم، بخصوص غذاهای دریایی بسته بندی شده با اکسیژن کاهش یافته، می باشند. از آنجاییکه واکنش های طبیعی معمولا دارای کینتیک درجه یک می باشند، فرض درجه صفر بودن TTI سهل انگارانه به نظر می رسد. لذا روش پیشنهادی ما در این تحقیق برای حصول اطمینان از مرتبه صفر بودن کینتیک TTI مورد نظر، آزمون مرتبه صفر می باشد. در مواقعی که منحنی آرنیوس یک TTI مرتبه اول در زیر SLA0 و بالای SLA1 قرار گیرد، یعنی TTI قبل از تولید توکسین منقضی می گردد. در نتیجه، نتایج حاصل از SLA0 برای این دسته از TTIهای مرتبه اول سخت گیرانه خواهد بود. اما در مقابل، در شرایطی که منحنی آرنیوس یک TTI مرتبه اول در بالای SLA0 و در زیر SLA1 قرار گیرد، نتایج حاصل از SLA0 برای TTIهای مرتبه اول خوش بینانه خواهد بود. از اینرو قضاوت درباره TTIهای مرتبه یک با استفاده از منحنی SLA0 خالی از اشکال نبوده و می تواند منجر به نتایج نادرست گردد. به عبارت دیگر، انتخاب TTI مرتبه اول براساس منحنی SLA0 می تواند منجر به نتایج غلط و بروز مشکلات بهداشتی جدی گردد.

منابع:

- (1) Cann, D.C., B.B. Wilson, G. Hobbs, J.M. Shewan. 1965. The growth and toxin production of Clostridium botulinum type E in certain vacuum packaged fish. J Appl Bacteriol. 28(3):431-6.
- (2) Eklund, M.W. 1982. Significance of Clostridium botulinum in fishery products preserved short of sterilization. Food Technol. 1982(Dec):107-12, 115.
- (3) [FDA] Food and Drug Administration. 2001. Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guide: 3rd Ed. Washington, D.C.: FDA.
- (4) Hong, L.C., E.L. Leblanc, Z.J. Hawrysh, R.T. Hardin. 1996. Quality of Atlantic mackerel (Scomber scombrus L.) fillets during modified atmosphere storage. J Food Sci. 61(3):646-51.
- (5) Mendoza, T.F., B.A. Welt, S. Otwell, A.A. Teixeira, H. Kristonsson and M.O. Balaban. 2004. Kinetic parameter estimation of time-temperature integrators intended for use with packaged fresh seafood. Journal of Food science. 69(3): 90-96.
- (6) Post, L.S., D.A. Lee, M. Solberg, D. Furgang, J. Specchio, C. Graham. 1985. Development of botulinal toxin and sensory deterioration during storage of vacuum and modified atmosphere packaged fish fillets. J Food Sci. 50:990-6.
- (7) Reddy, N.R., A. Paradis, M.G. Roman, H.M. Solomon, E.J. Rhodehamel. 1996. Toxin development by Clostridium botulinum in modified atmosphere-packaged fresh Tilapia fillets during storage. J Food Sci. 61(3):632-5.
- (8) Reddy, N.R., M.G. Roman, M. Villanueva, H.M. Solomon, D.A. Kautter, E.J. Rhodehamel. 1997a. Shelf life and Clostridium botulinum toxin development during storage of modified atmosphere-packaged fresh catfish fillets. J Food Sci. 62(4):878-83.
- (9) Reddy, N.R., H.M. Solomon, H. Yep, M.G. Roman, E.J. Rhodehamel. 1997b. Shelf life and toxin development by Clostridium botulinum during storage of modified atmosphere-packaged fresh aquacultured salmon fillets. J Food Protect. 60(9):1055-63.
- (10) Shimoni, E., E.M. Anderson, T.P. Labuza. 2001. Reliability of time-temperature indicators under temperature abuse. J Food Sci. 66(9):1337-40.
- (11) Skinner, G.E., G.W. Larkin. 1998. Conservative prediction of time to Clostridium botulinum toxin formation for use with time-temperature indicators to ensure the safety of foods. J Food Prot. 61(9):1154-60.
- (12) Taoukis, P.S., T.P. Labuza. 1989b. Reliability of time-temperature indicators as food quality monitors under nonisothermal conditions. J Food Sci. 54(4):789-92.
- (13) Welt, B.A., D.S. Sage, K.L. Berger. 2003. Performance specification of time-temperature integrators designed to protect against botulism in refrigerated fresh foods. J Food Sci. 68(1):2-9.