ارائه مدلی به منظور بررسی تأثیر بسته‌بندی فعال یا هوشمند بر بهبود عملکرد زنجیره تأمین مواد غذایی

علی رحیمی‌فرد*[۱]، عیسی نخعی کمال‌آبادی[۲]

چکیده

امروزه تغییر در نحوه تولید ، توزیع ، نگهداری و فروش مواد غذایی سبب تغییر در تقاضای مصرف‌کنندگان جهت افزایش کیفیت و زمان ماندگاری بسته‌های موادغذایی شده است. به منظور اطمینان از عملکرد مطلوب بسته بندی در زنجیره تامین مواد غذایی ،نوآوری هایی در این صنعت به وجود آمده است، از آن جمله می‌توان به روش های فعال[۳] یا هوشمند[۴] بسته بندی اشاره کرد، در این مقاله ابتدا به بررسی نقش این تکنیک‌ها در افزایش زمان ماندگاری محصول پرداخته و سپس مدل موجودی برای اقلام فساد پذیر[۵] در بسته‌های فعال یا هوشمند به منظور دستیابی به بیشینه سود با در نظر گرفتن کمبود پس افت جزیی[۶] و فروش از دست رفته[۷] را ارائه می‌دهیم، نرخ تقاضا وابسته به سطح موجودی بوده[۸] و نرخ فساد ثابت می باشد. در انتها با یک مثال عددی، اقتصادی بودن استفاده از تکنیک‌های فعال یا هوشمند بسته‌بندی بررسی شده است.

واژگان کلیدی: بسته‌بندی فعال و هوشمند ، اقلام فساد پذیر، پس افت جزیی

۱. مقدمه

امروزه بسته بندی حوزه بسیار مهمی از صنعت جهانی را به خود اختصاص داده است، براساس مطالعات صورت گرفته حدود ۲ درصد از تولید ناخالص ملی (GNP) [۹] در کشورهای توسعه یافته را به خود اختصاص داده است که ۵ درصد از سهم بازار این صنعت مربوط به بسته بندی مواد غذایی می باشد . پیش بینی ها حاکی از افزایش روز افزون صنعت بسته بندی در جهان می باشد.

در سالهای اخیر به منظور تامین نیازهای مشتریان درخصوص سلامت،کیفیت، و افزایش زمان ماندگاری

۱- کارشناس‌ارشد مهندسی صنایع عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف
۲- – استادیار دانشگاه تربیت مدرس
*- نویسنده مسؤول Alirahimifard59@gmail.com

3-Active
4-Smart
5-Deteriorating inventory model
6-Partial backlogging
7-Lost sale
8-Stock-dependent demand
9- Gross national product

مواد غـذایی سیـستم هـای جدیـد بـسته بنـدی توسـعه یافته‌اند. از سوی دیگر تغییر در نحوه ارائه محصولات به مشتری نظیر تمرکز فروشگاه ها و ایجاد فروشگاه هـایی که مـواد غـذایی را بـه صـورت بـسته بنـدی در اختیـار مشتریان قرار می دهند و ایجاد فواصل بین مراکز تـامین کننده و توزیع کننـده ، سـبب شـده اسـت تـا بـازنگری اساسی در نقش بسته بندی به منظور حفـظ و نگهـداری مواد صـورت گیـرد. سیـستم هـای سـنتی بـسته بنـدی عملیات توزیع محصول را ساده تر مـی کننـد، همچنـین وظیفه حفاظت از محصول در برابر شرایط محـیط ماننـد نور ، اکسیژن، رطوبت، میکروب ها ، فشار هـا و گـرد و غبار را بر عهـده دارد. محـدودیت ایـن سیـستمها عـدم اطلاع رسانی صحیح در مورد زمان مانـدگاری و کیفیـت محصول به مـشتری و همچنـین وجـود خطـا در تعیـین زمان مجاز برای نگهداری محصول می باشـد بـه همـین منظور و به جهت افـزایش کـارایی بـسته بنـدی جهـت برآورده ساختن موارد فوق نوآوری هایی در این صنعت بوجود آمده است که فعال یا هوشمند سازی بسته بنـدی از این موارد می باشـد. تمـامی ایـن تکنولـوژی هـا بـه منظور اطمینان بخشیدن از کیفیت محصول، تعیین زمـان دقیـق جهـت مانـدگاری محـصول و در نهایـت کـاهش شکایات مشتریان می باشد.در این مقاله با بهـره‌گیـری از تاثیر کاربرد سیستم های فعال یا هوشمند برافزایش زمان مانـدگاری محـصول و اسـتفاده از مـدل‌هـای کنتـرل موجودی اقلام فساد پذیر به تحلیل اقتصادی اسـتفاده از این تکنیک‌ها می پردازیم.

۱-۱.تکنیک‌های بسته‌بندی فعال یا هوشمند

بسته بندی فعال، فعالیت سیستم‌هـای بـسته بنـدی، شرایط مواد غـذایی بـسته‌بنـدی شـده را بـرای افـزایش ماندگاری یا بهبود ایمنی یا خواص حسی در حـالی کـه کیفیت غذا را حفظ می کند، تغییر می‌دهد. شرایط مـوثر بر مواد غذایی شامل کلیه ویژگی‌هـایی اسـت کـه نقـش اساسی در تعیین عمر مواد غذایی بـسته‌بنـدی شـده دارد مانند فرآیند های فیزیولوژیکی، فیزیکی، شـیمیایی. ایـن شرایط را می توان بـا تنظیمـات خـاص از طریـق فعـال کردن بسته بندی تحـت کنتـرل قـرار داد. سیـستم بـسته بندی فعال تنها،یک تکنولوژی نیست بلکـه مجموعـه ای از تکنولوژیهاست برای پاسخگویی به مشکلات خـاص، و شامل سیستم‌هایی است که اکسیژن ، اتیلن یا رطوبـت جذب می‌کنند و یا ترکیباتی که ممکن است سبب فـساد شوند را ، از بسته خارج می کننـد. دیگـر سیـستم هـای بسته بندی فعال ، به طور عمدی و برنامه ریـزی شـده ، اجزایی را به داخل غذای بسته بندی شده، رهاسازی می کنند، (نظیر اتیلن، دی اکسید کـربن، دیگـر عوامـل ضـد میکروبی، آنتی اکسیدان، طعم‌ها ویا رنگ‌ها). بسته‌بنـدی هوشمند، شـرایط غـذاهای بـسته بنـدی شـده را پـایش می‌کند، تا اطلاعاتی درباره کیفیت غذای بسته‌بندی شـده در طی حمل و نقل و انبارش ارائه نمایـد. سیـستم‌هـای بسته‌بندی هوشمند می‌توانند به طور مثـال بـرای آشـکار سـازی نـشت گـاز در بـسته هـایی بـا اتمـسفر اصـلاح شده(MAP)[10] ، برای فراهم کردن تاریخچه دمـای یـک محصول در طی دوره زمانی یا برای نـشان دادن حـضور علائم فساد میکروبی به کار روند.[۱] و[۲]

در ایالات متحده، ژاپن، استرالیا، بـسته بنـدی هـای فعال وهوشمند هم اکنون به طور موفقیـت‌آمیـزی بـرای افزایش ماندگاری یا پایش کیفیت و ایمنی غـذا بـه کـار می‌روند. در اروپـا، توسـعه و کـاربرد ایـن سیـستم‌هـای بـسته‌بنـدی هنـوز محـدود اسـت. علـل اساسـی آن، محدودیت‌هـای قـانونی، دانـش انـدک دربـاره مـشتری پسندی و فواید این سیستم‌ها و دیگر عوامل اقتـصادی و

10 - Modified atmosphere packaging

محیطی در اروپا است که هیچ قاعده مشخص و ویژه ای برای سیستم های بسته‌بندی هوشمند و فعال نیست وموید آن است که سیستم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند باید با قواعد عمومی موجود برای مواد در تماس با غذا مطابقت نمایند. طبق این قوانین و قواعد ، انطباق این بسته بندی ها به این نیازمند است که کلیه اجزاء مورد استفاده برای ساخت این نوع بسته بندی ها باید در لیست (مواد در تماس با غذا – قابل قبول) تعریف شده باشد. این لیست تا کنون تکمیل نشده است اما صرفا اجزاء سازنده این مواد را در بر خواهد داشت و ساختار مورد استفاده برای دیگر مقاصد ، نظیر افزایش ماندگاری یا پایش آن برای بسته های مواد غذایی را شامل نمی گردد. بنابراین ، بیشترین عوامل هوشمندی و فعال نمودن بسته ، تا کنون وارد لیست نشده است. [۳]

در سال ۱۹۹۹ ، ۱۲ موسسه تحقیقاتی ، دانشگاهی و صنعتی ، پروژه سه ساله روی بسته بندی های فعال و هوشمند با عنوان ارزیابی ایمنی[11]، اثرات[12]، نتایج اقتصادی محیطی[13]و مشتری پسندی[14] بسته بندی های هوشمند و فعال (ACTIPAK)[15] را آغاز نمودند. هدف از اجرای این پروژه ، پیش نویس توصیه نامه‌ای برای اصلاح قوانین اروپایی بود. به طور مثال پیشنهاد اصلاحی برای قوانین مربوط به مواد در تماس با غذا، افزودنی های غذا و برچسب زنی، تا بسته‌بندی مواد غذایی هوشمند و فعال برای بهبود کیفیت و ایمنی غذا در اروپا ارائه گردید.

برنامه تحقیق شامل متون زیر بوده است:

•نگرش عمیق بر تکنولوژی ها ، قوانین ، بازار و نیازهای مصرف کنندگان و تجارت وابسته به سیستم‌های فعال و هوشمند، برای تهیه فهرستی از امکان پذیری ومحدودیت ها از منظر قواعد اروپایی برای مواد در تماس با غذا.

•مطالعه برای تجزیه اجزاء سازنده و رفتار سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند و فعال برای دست‌یابی یک طبقه بندی در منظر محدودیت ها و امکان‌پذیری قوانین موجود.

•بررسی ایمنی سیستم‌های طبقه بندی شده با آنالیز ایمنی میکروبی و ارزیابی ریسک .

•مطالعه اثرات این سیستم‌ها با بررسی ظرفیت افزایش ماندگاری حسی، میکروبی وشیمیایی و بازدهی سیستم‌ها.

•انتخاب سیستم‌های بسته بندی فعال وهوشمند مناسب و آزمون های ارزیابی خواص سمی، دیگر اثرات اقتصادی محیطی و علاقمندی و گرایش شهروندان و مصرف کنندگان اروپایی به این سیستم‌های نوین .

• ایجاد امکان پذیری برای به کار گیری استفاده ایمن از سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند در دستورالعمل های اروپایی برای مواد در تماس با غذا با توسعه آزمون‌های ویژه وتهیه اصلاحیه برای بهبود در قوانین موجود با در نظر داشتن تائیدهایی در سطوح ملی و اروپایی.

در شروع این پروژه ، بر اساس اطلاعات قابل دسترس از تامین کنندگان مواد بسته بندی و از اینترنت، بازنگری روی کلیه سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند موجود انجام شد. به علاوه، منابع موجود پنج ساله گذشته جمع آوری شد و برای انجام بازنگری عمیق تر مورد استفاده قرار گرفت. این بازنگری شامل اطلاعاتی در مورد تکنولوژی ، بازار مقصد ، نیاز های مصرف کنندگان و قوانین موجود در اروپا و کشور های خارج از آن بود. نتیجه گیری مهم از بازنگری این منابع،

11-Evaluating safty
12-Effectiveness
13-Economic environmental impact
14-Consumer acceptance
15-Active and intelligent packaging

این است که هیچ یک از قوانین جاری اروپایی، استفاده از بسته بندی فعال و هوشمند را تحت پوشش قرار نمی دهند. این قواعد استاندارد که شامل حد مهاجرت کلی و لیست اجزاء و ذرات مورد تائید است ممکن است شامل ملاحظات مربوط به بسته بندی هوشمند و فعال نباشد. پس از آماده کردن بازنگری، سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند از منظر قواعد جاری اروپایی به منظور شناسایی مغایرت ها با قوانین جاری کل سیستم ها (۲۰ سیستم فعال و ۶ سیستم هوشمند) از نظر آنالیز در صد ترکیب ها و رفتار مهاجرت کلی بررسی شدند. نتایج نشان داد که تعداد کمی از سیستم های آزمون شده ، مطابق با حدود مهاجرت کلی مندرج در قوانین است وشامل فقط اجزایی است که در لیست مورد تائید مواد در تماس با غذا آورده شده اند. عموما این توانست منتج به گشوده شدن باب جدیدی در قوانین اروپایی شود. تا این مواد بتوانند وارد بازار اتحادیه اروپایی شوند و ایمنی استفاده از آنها در اروپا تضمین گردد و نتایج به عنوان نقطه شروعی برای تهیه پیش نویس توصیه ای و توسعه روش های تعیین مهاجرت به کار گرفته شد. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز اجزاء و رفتار مهاجرت ، سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند برای مطالعات ارزیابی – انطباق انتخاب شد. تناسب ، امنیت میکروبی، ظرفیت افزایش ماندگاری و اثرات این سیستم ها به منظور دستیابی به ملاحظات ایمنی آنها در اروپا ارزیابی شد. محصولات غذایی با ماندگاری بالا و ماندگاری پایین برای این بررسی ها انتخاب شدند.

اثرات سیستم‌های بسته بندی فعال و هوشمند بوسیله آنالیز ظرفیت جذب و رهاسازی یا ظرفیت مورد نظر تعیین شده، طبق ادعای تولید کنندگان شان به طور چشمگیری موثر بودند. به هر جهت بعضی از سیستم ها رفتار مطلوب و مورد انتظاری نشان ندادند. نشانگرها و یا موارد مورد انتظار ، تحت شرایطی که بهترین حالت را ارائه کنند ، توصیف شدند. امنیت میکروبی سیستم های بسته بندی ، بوسیله آنالیز شرایط میکروبی بسته غذایی آزمونی و نگهداری شده در سیستم های بسته بندی فعال تعیین شد. به علاوه ریسک mis-indication برای سیستم های بسته بندی هوشمند آزمون شد. ظرفیت سیستم های بسته بندی فعال با بهبود پایداری میکروبی و افزایش پایداری شیمیایی و حسی غذا ، برای چند ترکیب مختلف غذا مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعات ماندگاری ، توانست به این منتج شود که چند سیستم فعال به راستی برای طولانی تر کردن ماندگاری غذاهای بسته بندی شده می تواند به کار رود. همچنین نتایج آنالیز نشان داد که مرحله بحرانی ، در انتخاب درست ترکیب فرآورده غذایی و سیستم بسته بندی مرتبط به آن است . برای هر ترکیب مطلوب و دلخواه، این تناسب باید قبل از استفاده از سیستم بسته بندی ارزیابی گردد، زیرا ممکن است سیستم های بسته بندی فعال رفتار نامطلوب در ترکیب با هر ماده غذایی نشان دهند. این دلیل بر آن است که اجزاء مورد استفاده در بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند باید قبل از آن که اجازه تماس با غذا را داشته باشد توسط کمیته علمی غذا ارزیابی گردد. سیستم های بسته بندی فعال وهوشمند که تناسب و امنیت آنها پذیرفته شد به منظور برقراری مشتری پسندی اروپایی این سیستم ها ، در سطح مشتریان و مصرف کنندگان بین المللی نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند . نتایج حاکی از آن بود که، اگر در خصوص وسایل هوشمند وفعال ، آمادگی پذیرش در اروپا در آینده ای بسیار نزدیک هست ، حضور این نوع بسته بندی در بازار و دادو ستد بازرگانی به اطلاع رسانی ویژه جهت شناساندن فوائد و چگونگی عملکرد آنهانیازمند است و این سیستم ها صرفا به خاطر افزایش

ماندگاری مورد پذیرش و تمایل نخواهند بود.

گرایش جهت استفاده از این نوع بسته بندی‌ها در سراسر اروپا به جزء در اسپانیا و تا حدودی ایتالیا بسیار کم بود. مصرف کنندگان در اسپانیا آمادگی بیشتری برای پذیرش وسائل هوشمند (جاذب ها شامل بسته‌های یکبار مصرف) داشتند . در ایتالیا نسبت به دیگر کشورهای اروپایی اشتیاق بیشتری وجود دارد، این ممکن است بیانگر این باشد که بسته بندی‌های فعال وهوشمند در مناطق گرم تر بیشتر به کارمی‌آید. ارزیابی پیامدهای اقتصادی و جوانب محیطی برای این سیستم‌ها انجام گرفته است و نتایج حاکی از آن است که استفاده از نشانگرهای دما –زمان زباله های تولید شده در طولانی مدت را کاهش می دهد و بنابراین اجازه می‌دهد که بازارها، فرآورده هایی با کیفیت بالا را پیشنهاد دهند. برای افزایش کاربری های آینده سیستم‌های بسته‌بندی فعال وهوشمند مناسب در اروپا، همراه با حفظ امنیت بسته غذایی،اصلاحیه و توصیه نامه برای به کارگیری سیستم‌های هوشمند و فعال در دستورالعمل‌های اروپایی، پیش نویس شد. برای این منظور ، تبادل نظر با تائید کنندگان قوانین اروپایی بعد از تکمیل و اتمام پروژه ادامه خواهد داشت.

توسعه و ارزیابی روش ها ، برای آزمون رفتار مهاجرت بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند نیز ادامه خواهد داشت. دیگر قوانین نظیر، افزودنی‌های مواد غذایی، طعم دهنده ها ، مواد سمی و خطرناک، بهداشت غذا، بر چسب گذاری، ایمنی محصول و زباله در حال مطالعه است. این قوانین، عموما سد راه جدی برای سیستم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند نیستند و دستورالعمل بهداشت غذا، هنوز بر روی استفاده از سیستم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند متمرکز است.[۴]

۱-۲.مدلهای موجودی برای اقلام فساد پذیر

در دنیای واقعی فساد پذیری و خرابی در مورد اکثر محصولات، از جمله مواد غذایی اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد و در سالهای اخیر محققین زیادی به مطالعه این موضوع پرداخته اند .برای اولین بار بحث فساد شدن کالا را Wagner و Whitin [۵] مطرح نمودند، Ghare و Schrader [۶] اولین کسانی بودندکه بحث فساد پذیری را برای محصولات با تابع چگالی عمر نمایی در شرایط تقاضای ثابت بررسی کردند .Covert و Philip [۷] کار ایشان را برای محصولاتی با تابع چگالی عمر وایبول توسعه دادند.Padmanabhan و Vrat [۸] مدلی برای اقلام فساد پذیر با تقاضای وابسته به سطح موجودی و کمبود از نوع کامل یا فروش از دست رفته ارائه کردند. Abad [۹] و [۱۰] مدلی با در نظر گرفتن پس افت جزیی ارائه نمود . Dye و Ouyang [۱۱] مدلی بادر نظر گرفتن پس افت جزیی وابسته به زمان و فروش از دست رفته به همراه تقاضای وابسته به سطح موجودی را ارائه نمودند، همچنین Dye و همکاران [۱۲] مدلی بادر نظر گرفتن پس افت جزیی با تابع نمایی ارائه دادند.در این مقاله با بهره گیری از مفایم فوق و در نظر گرفتن تاثیر بسته بندی فعال یا هوشمند برکاهش نرخ فساد محصولات غذایی مدل بهینه سود ارائه شده است.

۲. مفروضات و نمادها

۱- نرخ بازپرسازی نامحدود بوده و Lead time صفر می‌باشد.

۲- توزیع زمان فساد محصولات نمایی با پارامتر θ می باشد. (نرخ ثابت فساد)

۳- C، هزینه خریدبرای هرواحد و i، ضریب هزینه نگهداری برای هر واحد در واحد زمان

٤- S هزینه فروش هر واحد و A هزینه سفارش‌دهی

٥- Wهزینه فعال یا هوشمند سازی بسته بندی

٦- λ نرخ کاهش فساد محصولات در اثر فعال یا هوشمند سازی بسته بندی

٧- Tسیکل کامل سفارش دهی

٨- t_1 مدت زمانی که موجودی مثبت می‌باشد.

٩- $D(t)$ تابع نرخ تقاضا به صورت قطعی بوده که وابسته به سطح موجودی I(t) می‌باشد:

$$D(t)=\begin{cases}\alpha+\beta I(t) & 0\le t<t_1\\ \alpha & t_1\le t<T\end{cases}$$

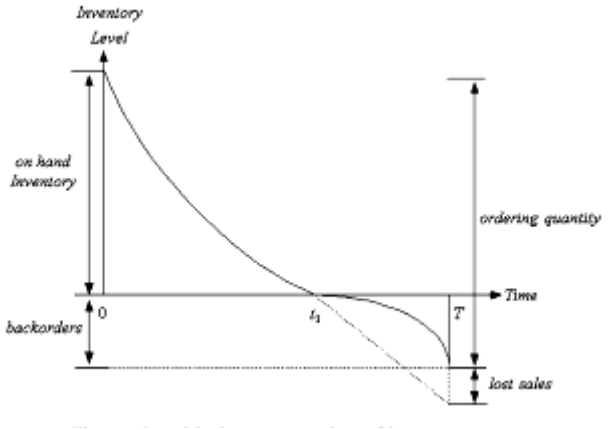
که α و β مقادیر ثابت و مثبتی هستند .

١٠ – کمبود موجودی مجاز بوده و تقاضاهای برآورد نشده با نرخ $\frac{1}{[1+\delta(T-t_1)]}$ پس افت می‌شوند، δ پارامتر پس افت ، مقداری ثابت و مثبت می‌باشد، در بازه $t_1\le t<T$ کمبود صورت می‌گیرد، همچنین C_2 هزینه کمبود برای هر واحد در واحد زمان بوده و Rهزینه فرصت برای فروش از دست رفته می باشد.

١١- $P(t_1,T)$ تابع سود در واحد زمان می باشد .

٣. ارائه مدل

همانطور که در شکل شکل شماره ١ مشخص شده است در فاصله $[0,t_1)$به دلیل ترکیب اثر تقاضا و فساد محصولات، موجودی در حال کاهش است و در فاصله $[t_1,T]$ تقاضا به صورت پس افت خواهد بود ، از اینرو تغییرات سطح موجودی ، $I(t)$ نسبت به زمان توسط معادله دیفرانسیل زیر نمایش داده می‌شود:



شکل ١ ، نمودار وضعیت موجودی سیستم

$$\frac{dI(t)}{dt}=\begin{cases}-\alpha-\beta I(t)-(\theta-\lambda)I(t) & 0\le t<t_1\\ \dfrac{-\alpha}{[1+\delta(T-t)]} & t_1\le t<T\end{cases}\qquad(١)$$

با توجه به شرایط مرزی $I(t_1)=0$ و حل معادله دیفرانسیل (١) ، داریم :

$$I(t)=\begin{cases}\dfrac{\alpha[e^{(\beta+\theta-\lambda)(t_1-t)}-1]}{\beta+\theta-\lambda} & 0\le t<t_1\\ \dfrac{-\alpha\{Ln[1+\delta(T-t_1)]-Ln[1+\delta(T-t)]\}}{\delta} & t_1\le t<T\end{cases}\qquad(٢)$$

بر اساس رابطه (٢) تابع سود شامل موارد زیر خواهد بود :

١ – هزینه سفارش دهی برای هر سیکل : A

٢ – هزینه نگهداری برای هر سیکل :

$$(C+W)i\int_0^{t_1}\frac{\alpha[e^{(\beta+\theta-\lambda)(t_1-t)}-1]}{\beta+\theta-\lambda}dt$$

٣- هزینه کمبود برای هر سیکل :

$$C_2\int_{t_1}^{T}\frac{\alpha\{Ln[1+\delta(T-t_1)]-Ln[1+\delta(T-t)]\}}{\delta}dt$$

۴- هزینه فروش از دست رفته (هزینه فرصت) در هر سیکل :

$$\alpha R\int_{t_1}^{T}\{1-\frac{1}{1+\delta(T-t_1)}\}dt$$

۵- هزینه خرید برای هر سیکل :

$$\frac{\alpha(C+W)[e^{(\beta+\theta-\lambda)t_1}-1]}{\beta+\theta-\lambda}+\frac{\alpha(C+W)Ln[1+\delta(T-t_1)]}{\delta}$$

۶- درآمد حاصل از فروش در هر سیکل :

$$S\{\int_{0}^{t_1}\alpha+\beta I(t)d(t)+\int_{t_1}^{T}\frac{\alpha}{[1+\delta(T-t)]}dt\}$$

در نهایت تابع سود در واحد زمان به صورت زیر خواهد بود :

$$\begin{aligned}P(t_1,T)=&\frac{\alpha[\beta S-(i+\beta+\theta-\lambda)(C+W)]}{(\beta+\theta-\lambda)^2T}[e^{(\beta+\theta-\lambda)t_1}-1-(\beta+\theta-\lambda)t_1]\\&+\frac{\alpha(S-C-W)}{\delta T}Ln[1+\delta(T-t_1)]-\frac{A}{T}+\frac{\alpha(S-C-W)t_1}{T}\\&-\frac{\alpha(C_2+R\delta)}{\delta^2T}\{\delta(T-t_1)-Ln[1+\delta(T-t_1)]\}\end{aligned}\qquad(۳)$$

به منظور تعیین مقدار بهینه t_1^* و T^* به صورت زیر عمل می کنیم :

$$\begin{aligned}\frac{\partial P(t_1,T)}{\partial t_1}=&\frac{\alpha[\beta S-(i+\beta+\theta-\lambda)(C+W)]}{(\beta+\theta-\lambda)T}[e^{(\beta+\theta-\lambda)t_1}-1]\\&+\frac{\alpha[C_2+\delta(R+S-C-W)](T-t_1)}{[1+\delta(T-t_1)]T}=0\end{aligned}\qquad(٤)$$

و

$$\begin{aligned}\frac{\partial P(t_1,T)}{\partial T}=&-\frac{\alpha[\beta S-(i+\beta+\theta-\lambda)(C+W)]}{(\beta+\theta-\lambda)^2T^2}[e^{(\beta+\theta-\lambda)t_1}-1-(\beta+\theta-\lambda)t_1]\\&-\frac{\alpha(S-C-W)}{\delta T^2}Ln[1+\delta(T-t_1)]+\frac{\alpha(S-C-W)}{T[1+\delta(T-t_1)]}+\frac{A}{T^2}\\&-\frac{\alpha(S-C-W)t_1}{T^2}+\frac{\alpha(C_2+R\delta)}{\delta^2T^2}\{\delta(T-t_1)-Ln[1+\delta(T-t_1)]\}\\&-\frac{\alpha(C_2+R\delta)(T-t_1)}{T[1+\delta(T-t_1)]}=0\end{aligned}\qquad(۵)$$

پس از ساده کردن معادلات(٤) و(۵) روابط زیر به دست می آید:

$$\frac{\beta S-(i+\beta+\theta-\lambda)(C+W)}{\beta+\theta-\lambda}[e^{(\beta+\theta-\lambda)t_1}-1]=-\frac{[C_2+\delta(R+S-C-W)](T-t_1)}{1+\delta(T-t_1)}\qquad(۶)$$

و

$$\frac{-\alpha[\beta S-(i+\beta+\theta-\lambda)(C+W)]}{(\beta+\theta-\lambda)^2}[e^{(\beta+\theta-\lambda)t_1}-1+(\beta+\theta-\lambda)t_1]$$
$$-\frac{\alpha(S-C-W)}{\delta}Ln[1+\delta(T-t_1)]+\frac{\alpha(S-C-W)}{1+\delta(T-t_1)}+A-\alpha(S-C-W)t_1$$
$$+\frac{\alpha(C_2+\delta R)}{\delta^2}\{\delta(T-t_1)-Ln[1+\delta(T-t_1)]\}-\frac{\alpha(C_2+\delta R)T(T-t_1)}{1+\delta(T-t_1)}=0 \qquad (۷)$$

از حل همزمان معادلات (٦) و (۷) مقدار بهینه t_1^* و T^* تعیین می‌گردد که با جایگذاری آنها در رابطه (۳) می‌توان میزان بهینه سود را مشخص کرد.در ادامه با یک مثال عددی به توجیه اقتصادی استفاده از روشهای هوشمند یا فعال بسته‌بندی می‌پردازیم.

٤. روش حل و ارائه مثال عددی

به منظور تشریح اهداف مدل، از داده های موجود در مدل Dye و Ouyang[۱۱] به صورت زیر استفاده می کنیم:

$\alpha=600$ ،$\beta=0.3$ ،$A=250$ ،$\theta=0.05$ ،
$C=5$ ،$i=0.35$ ،$C_2=3$ ،$R=5$ و $\delta=10$

همچنین پارمتر های مربوط به هوشمند یا فعال سازی بسته بندی را بگونه زیر به آن می افزائیم :

$\lambda=\{0,0.007,0.013,0.019,0.025,0.031,0.037\}$

و

$W=\{0.01,0.02,0.03,0.04,0.05,0.06,0.07,0.08\}$

با توجه به مقادیر فوق ودر نظر گرفتن معادلات (٦) و (۷) و استفاده از نرم افزار Mathematica ورژن ۵،۲ و به کارگیری تکنیک FindRoot به حل مدل می پردازیم که نتایج حاصل در جدول زیر نشان داده شده است، در این جدول منظور از P_0 سود نهایی مدل قبل از استفاده از تکنیک های فعال یا هوشمند بسته بندی است و یا به عبارت دیگر در حالتی که $\lambda=0,W=0$ در نظر گرفته شوند، در هر مرحله نیز میزان سود با $P_0=531.4$ مقایسه شده است، و منظور از W/λ ضریبی است که هزینه فعال یا هوشمند سازی بسته‌بندی را برتغییرات نرخ فساد محصول نشان می‌دهد.

از جدول صفحه بعد نتایج زیر به دست می‌آید:

۱.در صورتیکه Wثابت در نظر گرفته شود سود با افزایش λ ($0\le\lambda\le\theta=0.05$) افزایش می‌یابد ، البته باید در نظر داشت که افزایش λ با محدودیت‌هایی در اجرا همراه است که بستگی به نوع محصول و شرایط بسته بندی آن دارد به عبارت دیگر $\lambda=\theta=0.05$فقط در حالت تئوری توجیه پذیر می‌باشد.

۲.در صورتیکه λثابت فرض شود با افزایش W میزان بهینه سود کاهش می یابد.

۳.در این مثال عددی فقط در صورتیکه $W\le0.08$ و $W/\lambda\le1.63$ باشند، استفاده از تکنیک‌های فعال یا هوشمند بسته بندی توجیه اقتصادی دارد، چون با افزایش Wبه مقداری بیش از ۰،۰۸ و برای افزایش سود به مقداری بزرگتر یا مساوی P_0 ، λنیز باید مقداری بیش از ۰،۰۵ اختیار کند ، که امکان پذیر نمی‌باشد.

W		λ								
		0	0.007	0.013	0.019	0.025	0.031	0.037	0.043	0.049
0.01	t_1	0.6599	0.7099	0.7184	0.7271	0.7361	0.7455	0.7551	0.7652	0.7756
	T	0.7767	0.7277	0.7360	0.7445	0.7532	0.7624	0.7718	0.7816	0.7918
	P	523.49	532.28	539.56	546.93	554.38	561.92	569.56	577.29	585.12
	$P-P_0$	-7.91	0.88	8.16	15.53	22.98	30.52	38.16	45.89	53.72
	W/λ	∞	1.43	0.77	0.53	0.40	0.32	0.27	0.23	0.20
0.02	t_1	0.6988	0.7082	0.7167	0.7253	0.7343	0.7436	0.7532	0.7632	0.7736
	T	0.7169	0.7261	0.7343	0.7427	0.7515	0.7605	0.7699	0.7797	0.7898
	P	516.34	524.73	532	539.26	546.81	554.35	561.98	569.7	577.52
	$P-P_0$	-15.06	-6.67	0.6	7.86	15.41	22.95	30.58	38.3	46.12
	W/λ	∞	2.86	1.54	1.05	0.80	0.65	0.54	0.47	0.41
0.03	t_1	0.6971	0.7065	0.7149	0.7235	0.7325	0.7417	0.7513	0.7612	0.7715
	T	0.7154	0.7245	0.7326	0.741	0.7497	0.7588	0.7681	0.7778	0.7878
	P	508.8	517.18	524.45	531.81	539.25	546.78	554.4	562.12	569.93
	$P-P_0$	-22.6	-14.22	-6.95	0.41	7.85	15.38	23	30.72	38.53
	W/λ	∞	4.29	2.31	1.58	1.20	0.97	0.81	0.70	0.61
0.04	t_1	0.6953	0.7049	0.7132	0.7218	0.7307	0.7399	0.7494	0.7593	0.7695
	T	0.7138	0.7229	0.7310	0.7394	0.748	0.757	0.7663	0.7759	0.7859
	P	501.26	509.64	516.91	524.26	531.69	539.219	546.83	554.54	562.35
	$P-P_0$	-30.14	-21.76	-14.49	-7.14	0.29	7.819	15.43	23.14	30.95
	W/λ	∞	5.71	3.08	2.11	1.60	1.29	1.08	0.93	0.82
0.05	t_1	0.6939	0.7032	0.7115	0.72	0.7289	0.738	0.7475	0.7573	0.7675
	T	0.7123	0.7213	0.7294	0.7377	0.7463	0.7552	0.7649	0.774	0.784
	P	493.73	502.1	509.36	516.71	524.14	531.65	539.26	546.97	554.77
	$P-P_0$	-37.67	-29.3	-22.04	-14.69	-7.26	0.25	7.86	15.57	23.37
	W/λ	∞	7.14	3.85	2.63	2.00	1.61	1.35	1.16	1.02
0.06	t_1	0.6923	0.7015	0.7098	0.7183	0.7271	0.7362	0.7456	0.7554	0.7655
	T	0.7108	0.7198	0.7278	0.736	0.7446	0.7335	0.7626	0.7721	0.782
	P	486.2	494.57	501.83	509.16	516.59	524.1	531.7	539.4	547.19
	$P-P_0$	-45.2	-36.83	-29.57	-22.24	-14.81	-7.3	0.3	8	15.79
	W/λ	∞	8.57	4.62	3.16	2.40	1.94	1.62	1.40	1.22
0.07	t_1	0.6907	0.6999	0.7081	0.7166	0.7253	0.7344	0.7437	0.7534	0.7635
	T	0.7092	0.7182	0.7262	0.7344	0.7429	0.7517	0.7608	0.7703	0.7801
	P	478.68	487.04	494.29	501.63	509.48	516.55	524.14	531.83	539.62
	$P-P_0$	-52.72	-44.36	-37.11	-29.77	-21.92	-14.85	-7.26	0.43	8.22
	W/λ	∞	10.00	5.38	3.68	2.80	2.26	1.89	1.63	1.43
0.08	t_1	0.6891	0.6983	0.7064	0.7148	0.7236	0.7326	0.7419	0.7515	0.7616
	T	0.7077	0.7166	0.7246	0.7328	0.7412	0.75	0.7591	0.7685	0.7783
	P	471.16	479.52	486.76	494.09	501.5	509	516.59	524.27	532.05
	$P-P_0$	-60.24	-51.88	-44.64	-37.31	-29.9	-22.4	-14.81	-7.13	0.65
	W/λ	∞	11.43	6.15	4.21	3.20	2.58	2.16	1.86	1.63

۵. نتیجه گیری

در این مقاله در ابتدا به بررسی تاثیر بسته بندی فعال یا هوشمند برافزایش زمان ماندگاری محصولات غذایی پرداخته شده است و سپس با ارائه مدلی تحلیل اقتصادی استفاده از این تکنیک ها صورت گرفته است.در این مدل، توزیع نمایی برای فساد ، تقاضا وابسته به سطح موجودی ، کمبود کالا به صورت پس افت جزیی و فروش از دست رفته در نظر گرفته شده است.محاسبات مربوط به سطح موجودی به کمک معادلات دیفرانسیل ساده انجام شده و در نهایت با داشتن مولفه های مختلف تابع سود، قادر خواهیم بود تا به سادگی مقدار بیشینه سود را محاسبه کنیم.

به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی می توان بر روی سیستم هایی با توابع عمر مختلف برای فساد اقلام از جمله وایبول به مطالعه پرداخت.همچنین بررسی تاثیر سیستم های هوشمند یا فعال بسته بندی در یک زنجیره تامین چند سطحی از جمله سایر مواردی است که به نظر می رسد مدل فوق را بیشتر به دنیای واقعی نزدیک می سازد.

۵. مراجع

[1]Ahvenainen,R.A.,Novel food packaging techniques , Cambridge ,Woodhead Publishing Limited ,2003 .

[2]Ozdemir,M.U.,Floros,J.D.,Active food packaging technologies , Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44,2004,185–193.

[3]Kruijf,N.D.,Beest, M.V., Malm,T.S,Losada,P.P,Meulenaer,B.D.,Active and intelligent packaging : applications and regulatory aspects,Food Additives and Contaminants, 19,2002,144-162.

[4]Jong,A.R., Boumans,H., Slaghek,T.,Veen,J.V., Rijk,R., Van,M., Active and intelligent packaging for food : is it the future?, Food Additives and Contaminants, 22 , 2005,975-979.

[5]Whitin, T.M., Wagner,H.M, Dynamic version of the economic lot size model,Management Science , 5 , 1958 , 89-96.

[6]Ghare, P.M., Schrader, S.F., A model for exponentially decaying inventory , Journal of Industrial Engineering , 14, 1963, 238-243.

[7]Covert , R.P.,Philip, G.C, An EOQ model for items whit weibull distribution deterioration . AIIE Transactions, 5, 1973 , 309-326.

[8]Padmanabhan , G.,Vrat, P., EOQ model for perishable items under stock dependent selling rate , European Journal of Operational Research ,86,1995,281-292.

[9]Abad,P.L., Optimal pricing and lot-sizing under conditions of perishability and partial backlogging, Management Science, 42 , 1996 , 1093-1104.

[10] Abad,P.L ., Optimal price and order sizing for reseller under partial backordering, Computres and Operations Research, 28 , 2001 , 53-65 .

[11]Dye,C.Y.,Ouyang, L.Y., An EOQ model for perishable items under stock-dependent selling rate and time-dependent partial backlogging, European Journal of Operational Research, 163 , 2005 , 776-783.

[12]Dye,C.Y.,Hsieh,T.P., Ouyang, L.Y.,Determining optimal selling price and lot size with a varing rate of deterioration and exponential partial backlogging, 181,2007,668-678.