

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Archive of SID

Archive of SID



عنوان طرح:

افزایش ماندگاری محصولات اکستروژن شده سین بایوتیک با استفاده از بسته بندی مناسب

کد طرح:

۲۳۰۶-۲۰

واحد سازمانی مجری:

پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی

گروه پژوهشی:

فرآوری مواد غذایی

مسئول اجرای طرح:

غلامعلی گلی موحد

ماه و سال اختتام طرح:

تیرماه ۱۳۹۷

Archive of SID

مشخصات مسئول و همکاران طرح مطابق پرسشنامه مصوب:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مسئولیت در طرح	تخصص	رتبه	جمع کل نفر ساعت همکاری در طرح
۱	غلامعلی گلی موحد	مجری	تبدیل مواد غذایی	مربی	
۲	الناز میلانی	همکار اصلی	میکروبیولوژی مواد غذایی	استادیار	
۳	شهرام بیرقی طوسی	همکار اصلی	مهندسی مواد غذایی	استادیار	

Archive of SID

عنوان	صفحه
چکیده فارسی.....	ذ.....
۲-۱- بیان مسأله .....	۲.....
۳-۱- اهمیت و ضرورت پژوهش .....	۳.....
۱-۲- اکستروژن مواد غذایی.....	۶.....
۲-۲- تکنولوژی پخت با اکستروژن.....	۶.....
۳-۲- مزایای اکستروژن مواد غذایی.....	۷.....
۴-۲- عدس .....	۸.....
۵-۲- پیشینه اکستروژن حبوبات و مخلوط های آن.....	۹.....
۶-۲- پژوهش های مربوط به بررسی ترکیبات و ارزش تغذیه ای عدس و فرایند جوانه زنی آن.....	۱۴.....
۷-۲- بسته بندی فعال.....	۱۶.....
۸-۲- گیرنده های اکسیژن.....	۱۹.....
۹-۲- روشهای گنجاندن ماده فعال در سیستم بسته بندی.....	۲۳.....
۱-۹-۲- وارد کردن ماده فعال در فیلم از راه افزودن آن به دستگاه اکسترودر.....	۲۳.....
۲-۹-۲- کاربرد افزودنی فعال در محیط به صورت کنترل شده.....	۲۴.....
۱۰-۲- پلیمرها.....	۲۴.....
۱-۱۰-۲- انواع پلیمرها.....	۲۵.....
۱-۱۰-۲- پلی اتیلن.....	۲۵.....
الف- چگالی.....	۲۵.....
ب- نمایه مذاب یا شاخص جریان مذاب.....	۲۶.....
ج- توزیع وزن مولکولی.....	۲۶.....
انواع پلی اتیلن.....	۲۶.....
الف- پلی اتیلن باتراکم بالا (پلی اتیلن سنگین یا پلی اتیلن نرم).....	۲۶.....
ب- پلی اتیلن با تراکم پایین (پلی اتیلن سبک یا پلی اتیلن چقرمه):.....	۲۷.....
ج- پلی اتیلن سبک خطی.....	۲۷.....
د- پلی اتیلن با دانسیته متوسط.....	۲۸.....
ه- پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا.....	۲۸.....
۲-۱۰-۲- پلی پروپیلن.....	۲۸.....
۱۱-۲- اکستروژن در صنعت پلیمر.....	۲۹.....
۱-۱۱-۲- سیستم سخت افزاری اکسترودر.....	۲۹.....
۱-۱۱-۲- سیستم خوراک دهی.....	۳۰.....
۲-۱۱-۲- سیستم ماریج / ماردون.....	۳۱.....

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۱۱-۳- ماریج	۳۲
۲-۱۱-۴- ماردون	۳۳
۲-۱۱-۵- سیستم هد/ دای	۳۵
۲-۱۱-۶- دای	۳۵
۲-۱۱-۲- نواحی عملکردی اکستروژن	۳۵
۲-۱۱-۳- انواع اکستروژن	۳۶
۲-۱۱-۳-۱- اکستروژن پروفیل (پروفایل)	۳۶
۲-۱۱-۳-۲- اکستروژن پوشش دهی سیم و کابل	۳۷
۲-۱۱-۳-۳- اکستروژن ورق و فیلم قالبگیری	۳۷
۲-۱۱-۳-۴- اکستروژن فیلم‌های جهت یافته	۳۸
۲-۱۱-۳-۵- اکستروژن فیلم دمشی	۳۹
۲-۱۱-۳-۶- اکستروژن آمیزه ساز	۴۰
۲-۱۱-۳-۷- اکستروژن همزمان	۴۰
۲-۱۱-۴- آزمونهای مربوط به اندازه گیری خصوصیات فیلم های اکستروژن شده	۴۱
۲-۱۲- پیشینه تحقیق در زمینه بستهبندی فعال	۴۱
۲-۱۳- فراورده های پروبیوتیک ها	۴۴
۲-۱۴- پروبیوتیک ها	۴۷
۲-۱۵- افزایش زنده مانى پروبیوتیکها	۴۹
۳-۱- مواد اولیه	۵۲
۳-۲- تولید عدس جوانه زده	۵۲
۳-۳- آزمون‌های شیمیایی	۵۲
۳-۳-۱- اندازه گیری رطوبت	۵۲
۳-۳-۲- اندازه گیری پروتئین	۵۳
۳-۳-۳- اندازه گیری میزان قند	۵۳
۳-۳-۴- اندازه گیری خاکستر	۵۳
۳-۳-۵- اندازه گیری چربی	۵۳
۳-۴- آماده سازی مخلوط پایه برای اکستروژن	۵۳
۳-۵- شرایط فرایند اکستروژن	۵۳
۳-۶- تعیین خصوصیات رنگی محصول	۵۴
۳-۷- آزمون‌های خصوصیات فیزیکی	۵۴
۳-۷-۱- تعیین ضریب انبساط شوندگی	۵۴
۳-۷-۲- اندازه گیری چگالی	۵۵

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۷-۳- تعیین سختی محصول.....	۵۵
۳-۸- آزمونهای خصوصیات عملکردی.....	۵۵
۳-۸-۱- اندازه گیری خصوصیات جذب آب و محلولیت در آب.....	۵۵
۳-۸-۲- اندازه گیری خصوصیت جذب روغن.....	۵۵
۳-۹- روش تولید فیلمها.....	۵۶
۳-۹-۱- آزمونهای مربوط به فیلم بسته بندی.....	۵۷
۳-۹-۱-۱- آزمون مهاجرت.....	۵۷
آزمون DPPH.....	۵۷
آزمون ABTS.....	۵۸
اندازه گیری آسکوربات.....	۵۸
۳-۹-۱-۲- اندازه گیری میزان نفوذپذیری به بخار آب (WVP).....	۵۸
۳-۹-۱-۳- اندازه گیری میزان نفوذپذیری به اکسیژن (OTR).....	۵۹
۳-۹-۱-۴- تعیین ریزساختار سطحی فیلمها.....	۵۹
۳-۹-۱-۵- اندازه گیری میزان کشش پذیری فیلم.....	۵۹
۳-۹-۱-۶- رنگ سنجی فیلمها.....	۶۰
۳-۹-۱-۷- آنالیز حرارتی فیلمها.....	۶۰
۳-۹-۱-۸- آزمون FTIR.....	۶۱
۳-۱۰- آماده سازی باکتری پروبیوتیک.....	۶۱
۳-۱۱- آماده سازی مواد تشکیل دهنده ریزپوشینه.....	۶۲
۳-۱۲- شمارش تعداد باکتریها.....	۶۲
۳-۱۳- افزودن میکروارگانسم پروبیوتیک به پوشش درآژه.....	۶۲
۳-۱۴- آماده سازی و بسته بندی نمونههای اسنک.....	۶۳
۳-۱۵- اندازه گیری عدد پراکسید به روش تیوسیانات.....	۶۳
۳-۱۵-۱- ترسیم منحنی کالیبراسیون.....	۶۳
۳-۱۵-۲- محاسبه میزان پراکسید در نمونه.....	۶۳
۳-۱۶- ارزیابی خصوصیات حسی.....	۶۴
۴-۱- ویژگیهای رنگ سنجی اسنک ذرت و جوانه عدس.....	۶۶
۴-۱-۱- ارزیابی متغیرهای فرآیند بر شاخص روشنی (L) اسنک تولید شده.....	۶۶
۴-۱-۲- ارزیابی متغیرهای فرآیند بر شاخص قرمزی (a) اسنک تولید شده.....	۶۷
۴-۱-۳- ارزیابی متغیرهای فرآیند بر شاخص زردی (b) اسنک تولید شده.....	۶۹
۴-۱-۴- بهینه یابی شرایط فرآیند جهت بهبود پارامترهای رنگی اسنک.....	۷۱
۴-۲- خواص عملکردی اسنک.....	۷۲



فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-۲-۴- میزان شاخص جذب آب اسنک تولید شده .....	۷۲
۲-۲-۴- میزان شاخص محلولیت در آب اسنک تولید شده .....	۷۳
۳-۲-۴- میزان خصوصیت جذب روغن اسنک تولید شده .....	۷۶
۴-۲-۴- بهینه یابی شرایط فرایند جهت بهبود خواص عملکردی .....	۷۸
۳-۴- پارامترهای خواص فیزیکی اسنک .....	۷۸
۱-۳-۴- میزان چگالی اسنک تولید شده .....	۷۸
۲-۳-۴- میزان شاخص انبساط شوندگی اسنک تولید شده .....	۸۰
۳-۳-۴- میزان سختی اسنک تولید شده .....	۸۳
۴-۴-۴- بهینه یابی شرایط فرایند جهت بهبود خواص فیزیکی .....	۸۵
۵-۴- بررسی آزمون های مهاجرت در فیلمها .....	۸۶
۶-۴- بررسی نفوذ پذیری به اکسیژن .....	۹۶
۷-۴- بررسی نفوذ پذیری به بخار آب .....	۱۰۰
۸-۴- بررسی ویژگی های مکانیکی فیلمها .....	۱۰۱
۹-۴- بررسی نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی .....	۱۰۸
۱۰-۴- بررسی طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه .....	۱۱۲
۱۱-۴- بررسی پایداری حرارتی فیلمها .....	۱۱۴
۱۲-۴- تغییرات بافتی محصول نهایی .....	۱۱۷
۱۳-۴- تغییرات رنگی محصول نهایی .....	۱۱۸
۱۴-۴- تغییرات پراکسید در محصول نهایی .....	۱۲۰
۱۵-۴- شمارش باکتری زنده در محصول نهایی .....	۱۲۲
۱۶-۴- ویژگیهای حسی محصول نهایی .....	۱۲۲
نتیجه گیری کلی .....	۱۲۶
۲-۵- پیشنهادها .....	۱۲۷
منابع .....	۱۲۸

عنوان	صفحه
شکل ۱- فیلم بسته بندی چند لایه فعال حاوی گیرنده اکسیژن.....	۲۲
شکل ۲- شمای ساختمان فضایی پلی اتیلن با تراکم بالا.....	۲۷
شکل ۳- شمای ساختمان فضایی پلی اتیلن با تراکم پایین.....	۲۷
شکل ۴- شمای ساختمان فضایی پلی اتیلن سبک خطی.....	۲۸
شکل ۵- پنج بخش سخت افزاری اکسترودر.....	۳۰
شکل ۶- نمای اجزاء قیف پر شده با مواد پلاستیکی.....	۳۱
شکل ۷- ماریپیچ اکسترودر داخل ماردون.....	۳۲
شکل ۸- یک ماریپیچ اکسترودر.....	۳۲
شکل ۹- لقی بین شیار و دیواره ماردون.....	۳۳
شکل ۱۰- پیکربندی عمومی در انتهای خروجی ماردون شامل سوراخ تعبیه شده در بخش پایینی.....	۳۴
شکل ۱۱- یک اکسترودر با منفذ گاززدایی در ماردون.....	۳۴
شکل ۱۲- مجموعه هد و دای.....	۳۵
شکل ۱۳- شش ناحیه عملکردی در اکسترودر.....	۳۶
شکل ۱۴- دستگاه اکستروژن پروفایل.....	۳۷
شکل ۱۵- اکستروژن ورق و فیلم قالبگیری.....	۳۸
شکل ۱۶- دستگاه اکستروژن فیلم دمشی.....	۴۰
شکل ۱۷- چگونگی تولید فیلم اکستروژن شده دو لایه و سه لایه به طور همزمان.....	۴۱
شکل ۱۸- قسمتی از عدسه‌های جوانه زده.....	۵۲
شکل ۱۹- اکسترودر دو ماردونه.....	۵۴
شکل ۲۰- پروفایل دمایی اکسترودر.....	۵۶
شکل ۲۱- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص روشنایی.....	۶۶
شکل ۲۲- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان شاخص روشنایی.....	۶۷
شکل ۲۳- اثر همزمان دو متغیر سرعت ماریپیچ و رطوبت بر میزان شاخص روشنایی.....	۶۷
شکل ۲۴- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص قرمزی.....	۶۸
شکل ۲۵- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان شاخص قرمزی.....	۶۸
شکل ۲۶- اثر همزمان دو متغیر سرعت ماریپیچ و رطوبت بر میزان شاخص قرمزی.....	۶۹
شکل ۲۷- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص زردی.....	۶۹
شکل ۲۸- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان شاخص زردی.....	۷۰
شکل ۲۹- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص جذب آب.....	۷۲
شکل ۳۰- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان شاخص جذب آب.....	۷۲
شکل ۳۱- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص محلولیت در آب.....	۷۴
شکل ۳۲- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان شاخص محلولیت در آب.....	۷۴
شکل ۳۳- اثر همزمان دو متغیر سرعت ماریپیچ و رطوبت بر میزان شاخص محلولیت در آب.....	۷۵
شکل ۳۴- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص جذب روغن.....	۷۶
شکل ۳۵- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان شاخص جذب روغن.....	۷۷
شکل ۳۶- اثر همزمان دو متغیر سرعت ماریپیچ و رطوبت بر میزان شاخص جذب روغن.....	۷۷
شکل ۳۷- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان چگالی.....	۷۹
شکل ۳۸- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان چگالی.....	۷۹
شکل ۳۹- اثر همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت ماریپیچ بر میزان چگالی.....	۸۰
شکل ۴۰- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص انبساط شونده‌گی.....	۸۰
شکل ۴۱- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان شاخص انبساط شونده‌گی.....	۸۱

عنوان	صفحه
شکل ۴۲- اثر همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت ماریپیج بر میزان شاخص انبساط شونده	۸۱
شکل ۴۳- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان سختی	۸۴
شکل ۴۴- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیج بر میزان سختی	۸۴
شکل ۴۵- اثر همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت ماریپیج بر میزان سختی	۸۵
شکل ۴۶- درصد بازدارندگی رادیکال دی پی پی اچ در مدل غذایی اتانولی	۸۷
شکل ۴۷- درصد بازدارندگی رادیکال دی پی پی اچ در مدل غذایی اتانولی	۸۷
شکل ۴۸- درصد بازدارندگی رادیکال دی پی پی اچ در مدل غذایی آبی	۸۸
شکل ۴۹- درصد بازدارندگی رادیکال دی پی پی اچ در مدل غذایی آبی	۸۸
شکل ۵۰- درصد بازدارندگی رادیکال ای بی تی اس در مدل غذایی اتانولی	۸۹
شکل ۵۱- درصد بازدارندگی رادیکال ای بی تی اس در مدل غذایی اتانولی	۹۰
شکل ۵۲- درصد بازدارندگی رادیکال ای بی تی اس در مدل غذایی آبی	۹۰
شکل ۵۳- درصد بازدارندگی رادیکال ای بی تی اس در مدل غذایی آبی	۹۱
شکل ۵۴- درصد رهايش سدیم آسکوربات در مدل غذایی اتانولی	۹۲
شکل ۵۵- درصد رهايش سدیم آسکوربات در مدل غذایی اتانولی	۹۲
شکل ۵۶- درصد رهايش سدیم آسکوربات در مدل غذایی آبی	۹۳
شکل ۵۷- درصد رهايش سدیم آسکوربات در مدل غذایی آبی	۹۳
شکل ۵۸- میزان نفوذ پذیری به اکسیژن در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و اتیلن وینیل الکل	۹۶
شکل ۵۹- میزان نفوذ پذیری به اکسیژن در فیلم‌های پلی اتیلن کم چگال با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف	۹۸
شکل ۶۰- میزان تنش کششی طولی در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و اتیلن وینیل الکل	۱۰۲
شکل ۶۱- میزان تنش کششی عرضی در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و اتیلن وینیل الکل	۱۰۳
شکل ۶۲- میزان تنش کششی طولی در فیلم‌های پلی اتیلن کم چگال با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف	۱۰۴
شکل ۶۳- میزان تنش کششی عرضی در فیلم‌های پلی اتیلن کم چگال با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف	۱۰۴
شکل ۶۴- درصد ازدیاد طول در جهت طولی در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و اتیلن وینیل الکل	۱۰۵
شکل ۶۵- درصد ازدیاد طول در جهت عرضی در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و اتیلن وینیل الکل	۱۰۶
شکل ۶۶- درصد ازدیاد طول در جهت طولی در فیلم‌های پلی اتیلن کم چگال با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف	۱۰۷
شکل ۶۷- درصد ازدیاد طول در جهت عرضی در فیلم‌های پلی اتیلن کم چگال با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف	۱۰۷
شکل ۶۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی؛ الف- فیلم پلی اتیلن کم چگال خالص، ب- فیلم حاوی ۵ درصد آسکوربات سدیم، پ- فیلم حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم، ت- فیلم حاوی ۱۵ درصد آسکوربات سدیم	۱۰۹
شکل ۶۹- طیف فیلم پلی اتیلن کم چگال خالص و	۱۱۳
شکل ۷۰- ساختمان شیمیایی آسکوربات سدیم	۱۱۴
شکل ۷۱- منحنی ترموگرام بدست آمده برای الف- فیلم پلی اتیلن کم چگال خالص، ب- فیلم حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم	۱۱۶
شکل ۷۲- اثر نوع بسته بندی، اسنک، دما و زمان نگهداری بر سختی محصول	۱۱۷
شکل ۷۳- اثر متقابل نوع بسته بندی، اسنک، دما و زمان نگهداری بر سختی محصول	۱۱۷
شکل ۷۴- اثر نوع بسته بندی، اسنک، دما و زمان نگهداری بر ضریب روشنی محصول	۱۱۸
شکل ۷۵- اثر متقابل نوع بسته بندی، اسنک، دما و زمان نگهداری بر شاخص روشنی محصول	۱۱۸
شکل ۷۶- اثر نوع بسته بندی، اسنک، دما و زمان نگهداری بر شاخص قرمزی	۱۱۹
شکل ۷۷- اثر متقابل نوع بسته بندی، اسنک، دما و زمان نگهداری بر شاخص قرمزی	۱۱۹
شکل ۷۸- اثر نوع بسته بندی، اسنک، دما و زمان نگهداری بر شاخص زردی	۱۲۰
شکل ۷۹- اثر متقابل نوع بسته بندی، اسنک، دما و زمان نگهداری بر شاخص زردی	۱۲۰
شکل ۸۰- اثر نوع بسته بندی، اسنک و زمان نگهداری بر تغییرات عدد پراکسید	۱۲۱
شکل ۸۱- اثر متقابل نوع بسته بندی، اسنک و زمان نگهداری بر تغییرات عدد پراکسید	۱۲۱

صفحه	عنوان
۱۲۲	شکل ۸۲ اثر نوع بسته بندی، اسنک، زمان نگهداری بر عطر و طعم محصول.....
۱۲۳	شکل ۸۳ اثر نوع بسته بندی، اسنک، زمان نگهداری بر ظاهر محصول.....
۱۲۳	شکل ۸۴ اثر نوع بسته بندی، اسنک، زمان نگهداری بر بافت محصول.....
۱۲۳	شکل ۸۵ اثر نوع بسته بندی، اسنک، زمان نگهداری بر رنگ محصول.....
۱۲۴	شکل ۸۶ اثر نوع بسته بندی، اسنک، زمان نگهداری بر پذیرش کلی محصول.....

Archive of SID

عنوان	صفحه
جدول ۱- مثالهایی از سیستم‌های بسته‌بندی فعال.....	۱۸
جدول ۲- مروری بر نام‌های تجاری جاذب‌های اکسیژن.....	۲۱
جدول ۳- میزان نفوذ پذیری به بخار آب.....	۱۰۰
جدول ۴- شاخص‌های نوری* فیلم‌های LDPE خالص، SA-LDPE، NSA-LDPE و EVOH-LDPE.....	۱۱۱
جدول ۵- شاخص‌های نوری* فیلم‌های LDPE با ضخامت‌ها . تعداد لایه‌های مختلف.....	۱۱۱
جدول ۶- پارامترهای TGA به دست آمده برای فیلم‌های فعال مورد مطالعه.....	۱۱۴

Archive of SID

## چکیده فارسی

این پژوهش با هدف بررسی اثر بسته‌بندی و زمان نگهداری بر خصوصیات کیفی اسنک حجیم سین‌بایوتیک انجام گردید. به این منظور ابتدا تولید اسنک حجیم از مخلوط ذرت و عدس جوانه زده بررسی شد. همچنین برای تولید اسنک حاوی کنجد و نخود از مطالعات پیشین استفاده گردید. به علاوه تولید فیلم بسته‌بندی حاوی جاذب اکسیژن بررسی شد. در نهایت سه نوع اسنک حاوی کنجد، نخود و عدس جوانه زده با طعم دهنده حاوی رنگ خوراکی طبیعی، اینولین و باکتری ریزپوشانی شده لاکتوباسیلوس ترموفیلوس پوشش دهی و در سه شرایط هوای معمولی، ازت و حاوی آسکوبات سدیم بسته‌بندی و در دو دمای محیط و ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۱ روز نگهداری گردید. برای تولید فیلم بسته‌بندی و اسنک نیز از اکسترودر استفاده گردید. برای فیلم بسته‌بندی آزمونهای مهاجرت، دی پی پی اچ، ای بی تی اس، میزان نفوذپذیری، ریزساختار، کشش پذیری، رنگ سنجی و آنالیز حرارتی انجام شد. برای اسنک عدس نیز میزان انبساط، چگالی، سختی، جذب آب و چربی و رنگ سنجی انجام شد. همچنین رنگ‌سنجی، بافت‌سنجی، شمارش باکتری، تغییرات عدد پراکسید و خصوصیات حسی در محصول نهایی انجام گردید.

کلمات کلیدی: اسنک حجیم، سین‌بایوتیک، آسکوبات سدیم، اکسترودر



Archive of SID

توسعه فراورده‌های غذایی نوین از جمله مهمترین نقش‌ها و کارکردهای تحقیق و پژوهش در حوزه صنایع غذایی به شمار می‌رود. تغییرات جمعیتی و فرهنگی، تغییر موجودی منابع اولیه، تغییرات اقتصادی و قدرت خرید و تغییرات فناوری تولید از عوامل تاثیر گذار بر الگوی تغذیه‌ای جوامع است. بر این اساس یکی از عوامل مهم بقای واحدهای تولیدی توجه به نیازها و ذایقه متغیر مشتریان است.

بسته‌بندی مناسب از عوامل تعیین کننده در حفظ کیفیت و ایمنی ماده غذایی و نیز سهولت حمل و نقل و انتخاب مشتری به شمار می‌رود. رشد فناوری بسته‌بندی چه در حوزه لفاف و مواد بسته‌بندی و چه ماشین‌آلات مورد نیاز دایره انتخاب تولیدکنندگان را افزایش داده است.

اکستروژن از جمله فرایندهای کارا در صنایع غذایی می‌باشد که با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد خود می‌تواند جایگزین بسیاری از روش متداول در فرآوری مواد غذایی شود. استفاده از این فرایند در تولید اسنک بر پایه ذرت، برنج، گندم و سیب‌زمینی در اشکال و انواع متنوع از سابقه زیادی برخوردار است.

حبوبات از جمله مهمترین منابع پروتئین در رژیم غذایی محسوب می‌شود به طوری که در بسیاری از مناطق جهان تامین کننده اصلی پروتئین به شمار می‌روند. براین اساس و نیز با توجه به افزایش جمعیت و کاهش تمایل به مصرف پروتئین حیوانی در کشورهای توسعه یافته اهمیت حبوبات رو به افزایش می‌باشد. با توجه به اینکه حبوبات از لحاظ اسیدهای آمینه گوگرددار (متیونین، سیستئین و تریپتوفان) فقیر بوده و در مقابل سرشار از اسید آمینه لایزین (عامل محدودکننده پروتئین غلات) می‌باشد از لحاظ تغذیه‌ای حبوبات و غلات مکمل هم محسوب می‌شوند. مزیت دیگر استفاده از حبوبات کاهش شاخص قندزایی محصول می‌باشد زیرا شاسته موجود در آنها که در مقایسه با غلات کمتر است.

اسنک‌ها محدوده وسیعی از محصولات غذایی را شامل می‌شود. این غذاها به عنوان غذاهای سبک یا جایگزین بخشی از یک غذای معمول استفاده می‌شوند. گاهی هنگام مسافرت یا تماشای برنامه‌های ورزشی یا سایر سرگرمی‌ها مصرف می‌شوند. فرایندهای مبتکرانه متعددی جهت تهیه این اسنک‌ها در صنعت وجود دارد که برای افزایش تعداد این غذاها به کار می‌روند و تعدادی از انواع مهم این فرایندها از اکستروژن به عنوان بخشی از خط تولید استفاده می‌کنند. بیش از ۶۰ سال است که صنعت تولید اسنک ارتباط نزدیکی با پیشرفت و استفاده از دستگاه‌های پخت با اکستروژن دارد. بطوریکه یکی از مهمترین کاربردهای فناوری اکستروژن در صنایع غذایی، تولید انواع مختلف اسنک‌های اکستروژن شده می‌باشد. اگرچه محصولات اسنکی از تاریخ ابداع اکستروژن قدیمی‌تر هستند و مبداء آنها به محصولات سنتی ساخته شده توسط دست در قرون گذشته بر می‌گردد. مثالی از انواع قدیمی اسنک شامل دانه‌های پف کرده، کراکر میگو و کرپوک مربوط به آسیای دور و اسنک‌های تورتیلا مربوط به آمریکای جنوبی است (۱۴۰). از سایر



کاربردهای فناوری اکستروژن در صنایع غذایی می‌توان به تولید پروتئین‌های گیاهی بافت داده شده قابل استفاده در مواد غذایی، ریزپوشانی ترکیبات و تولید فرآورده‌های خمیری (پاستا) اشاره کرد.

تعریف‌های مختلفی برای اسنک ارائه شده است از جمله "غذایی سبک که بین وعده‌های منظم استفاده می‌شود". اسنک‌ها بخش مهمی از صنایع غذایی محسوب می‌شوند. چپیس سیب‌زمینی اسنک غالب است و پس از آن اسنک‌های اکستروژن شده، چپیس ذرت، مغزها، اسنک‌های گوشت، پرتزل و ذرت پف‌داده قرار دارند (۱۹).

## ۱-۲- بیان مسأله

بسیاری از بیماری‌های مزمن مربوط به دوران بزرگسالی مانند چاقی، فشار خون، بیماری‌های تنفسی، دیابت، بیماری‌های قلب و عروق که در سال‌های اخیر شیوع بالایی یافته‌اند و صدمات بهداشتی و هزینه اقتصادی بالایی به جوامع تحمیل کرده‌اند، ریشه در تغذیه دوران کودکی دارد. بخش عمده‌ای از الگوهای رفتاری بزرگسالان بویژه الگو و عادات غذایی از همان سنین کودکی شکل می‌گیرد و در دوران بعدی زندگی کمتر قابل تغییر است. به عبارت دیگر بسیاری از علاقه‌مندی‌ها یا بی‌علاقه‌گی‌ها به غذاهای مختلف که بخشی از آنها می‌تواند نادرست و حتی خطر آفرین باشد در دوران کودکی ایجاد شده و تاثیر سوء آن در بزرگسالی خود را نشان می‌دهد.

میان وعده‌های غذایی در کنار وعده‌های اصلی نقش زیادی در تامین انرژی مورد نیاز روزانه و مواد مغذی مورد نیاز دارند. بیشتر کودکان و نوجوانان در طول روز حداقل یک میان وعده مصرف می‌کنند. بطور کلی درصد انرژی حاصل از دریافت میان وعده‌ها در مقایسه با وعده‌های اصلی، بیشتر از چربی یا قندهای ناشی می‌شود و درصد انرژی حاصل از پروتئین و نیز میزان دریافت ویتامین‌ها و مواد مغذی مثل آهن در میان وعده‌ها کمتر از وعده‌های اصلی است (۱۳۱).

فراورده‌های غذایی حجیم شده که اغلب از ذرت و تاحدودی غلات دیگر تولید می‌شوند بسیار مورد علاقه مصرف کنندگان بخصوص کودکان و نوجوانان هستند. غنی‌سازی این محصولات و ارتقای ارزش غذایی آنها می‌تواند در حفظ سلامتی جامعه موثر واقع شود.

یکی از مراحل اصلی توسعه محصولات غذایی بسته‌بندی مناسب و ارزیابی زمان ماندگاری آن می‌باشد. ترکیبات مواد غذایی به دلیل ماهیت متنوع خود مستعد انواع واکنش‌های فساد هستند که این باعث افت کیفیت، ارزش غذایی و پذیرش مصرف کننده می‌گردد. میان‌وعده‌های حجیم نیز با توجه به حضور ترکیبات چرب در ساختمان پوشش در معرض واکنش‌های زنجیره‌ای اکسایش هستند که ضمن ایجاد ترکیبات سمی باعث پیدایش عطر و طعم نامطبوع در محصول می‌شوند. از سوی دیگر، به دلیل ساختار متخلخل، فراورده‌های حجیم نسبت به رطوبت حساس هستند و با جذب آب، تردی بافت خود را به سرعت از دست می‌دهند.

بر این اساس در این پژوهش تولید فیلم جاذب اکسیژن و نیز ماندگاری محصول میان وعده حجیم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۱-۳- اهمیت و ضرورت پژوهش

اقتدار مختلف جامعه، تمایل زیادی به مصرف مواد غذایی سلامتی زا و کم چرب دارند و به همین دلیل تولید این دسته از مواد غذایی به شدت در حال افزایش است. تغذیه‌ی صحیح کودکان نوعی سرمایه گذاری در جهت سالم سازی آنها در سنین بالا می باشد. توجه به تغذیه صحیح و جلوگیری از تاثیر تبلیغات سوء در جهت تغییر ذائقه کودکان در بلند مدت، تاثیر بسزایی در جامعه دارد. نظر به صنعتی شدن جوامع و سهم بالای تولیدات صنعت غذا در تغذیه مردم، اطمینان حاصل کردن از کیفیت تغذیه‌ای و بهداشت آن اهمیت فراوان دارد.

از این میان غذاهای فراسودمند (عملگر) جدید از یک طرف فرصت خوبی برای توسعه کیفیت غذاها در دسترس مصرف کنندگان ایجاد نموده و از طرف دیگر باعث رشد صنعت در جوامع مدرن شده است. بطور کلی، یک ماده غذایی هنگامی وظیفه خود را انجام می دهد که علاوه برمنافع مغذی ذاتی، ثابت شود که یک یا چند وظیفه مورد نظر در بدن مرتبط با سلامتی یا کاهش خطر بیماریها را ایفا میکند. امروزه، معروفترین غذاهای عملگر آنهایی هستند که شامل پرو و پری بیوتیک میباشند.

پروبیوتیک ها مکمل های غذایی حاوی میکروارگانیسم های زنده ای هستند که برای سلامتی میزبان مفید می باشند. بر اساس تعریف جدید ارائه شده توسط FAO/WHO پروبیوتیک ها میکروارگانیسم های زنده ای هستند که اگر در مقادیر کافی تجویز گردند اثرات مفید سلامتی بر روی میزبان خواهند داشت. بقای پروبیوتیک ها را می توان با کاربرد هیدرات کربن های پری بیوتیک افزایش داد.

ورود پروبیوتیک ها در ماتریس های غذایی و زنده نگه داشتن آن ها در طول دوره نگهداری مواد غذایی چالشی مهم محسوب می گردد. محصولات خشک اغلب در دمای اتاق نگهداری شده و بنابراین غلات یا شکلات های پرو بیوتیک باید در این دما نیز قابلیت زیست مناسب داشته باشند.

ریزپوشانی روشی است که باعث بهبود کار آبی میکرو ارگانیسم ها می شود. بر این اساس آزاد شدن مواد اینکپسوله شده با سرعت کنترل شده حائز اهمیت می باشد. آزاد سازی کنترل شده بدین معنی است که باکتری ها بر اثر مواجهه با شرایط نامساعد ضایع نخواهند شد. ریزپوشانی یک روش فیزیکی شیمیایی و یا مکانیکی است که در آن ذرات دارای مواد فعال، جهت حفاظت توسط یک لایه از مواد دیگر پوشش داده می شوند.

از میان مواد غذایی، تنقلات با تنوع و گستردگی زیاد (فراوده های حجیم شده، انواع بیسکویت، شکلات، تافی، چیپس، انواع مغزهای آجیلی، نوشیدنیها و میوه) جایگاه ویژه ای به خصوص در بین کودکان و نوجوانان دارند. از این رو می توانند هدف بسیار مهمی برای جهت بخشیدن به اصلاح نواقص تغذیه ای باشند.

مصرف بیش از حد چربی ها و روغن ها در رژیم غذایی، منجر به افزایش خطرات سلامتی و چاقی شده است. لذا تقاضا برای مواد غذایی کم کالری با طعم و بافت مناسب در حال رشد می باشد. به منظور حل برخی از مشکلات مربوط به حذف یا کاهش چربی، از طریق روش هایی همچون حذف به روش مستقیم، بهینه سازی فرمولاسیون، تغییر در روش

فرآوری و روش جامع، یکی از معمول‌ترین استراتژی‌ها استفاده از جایگزین‌های چربی بر پایه کربوهیدرات، پروتئین و چربی می‌باشد که نتایج حاصل بیانگر امکان استفاده از جایگزین‌های چربی به منظور تولید مواد غذایی کم کالری با بافتی مشابه محصولات پرچرب است.

Archive of SID



## ۱-۲- اکستروژن مواد غذایی

تکنولوژی اکستروژن به عنوان یک فرآیند با کارایی بالا در صنایع غذایی نقش و اهمیت ویژه‌ای دارد. این تکنولوژی نقش مهمی برای انتقال و شکل دادن اشکال نیمه جامد مواد مثل خمیرهای مختلف دارد. تکنولوژی پخت با اکستروژن برای محصولات غله ای و فرآوری پروتئین‌های غذایی و غذای حیوانات خانگی استفاده‌های زیادی دارد. دستگاه‌های اکستروژن در گذشته به شکل وسیله‌ای برای جابجایی مواد استفاده می‌شد، ولی امروزه به دستگاه‌های بسیار پیچیده تبدیل شده‌اند. امروزه عملیات واحد اکستروژن ممکن است شامل فعالیت‌های مختصر و متنوعی مثل جابجایی مواد، مخلوط کردن، اعمال نیروی برشی، جداسازی، حرارت دادن، سرد کردن، شکل دادن، اکستروژن همزمان دو ماده، خروج مواد معطر و طعم زا، خروج رطوبت، ایجاد مواد عطر و طعم زا، ریزپوشانی و استریل کردن باشد.

از اکستروژرها ممکن است برای فرآیند کردن مواد در دماهای نسبتاً پایین ( مثل تولید ماکارونی و خمیرهای حد واسط یا نیمه آماده) یا در دمای خیلی بالا ( مثل تولید اسنک‌های اکستروژ شده یا نان‌های مسطح) استفاده گردد. میزان فشار به کار گرفته شده در اکستروژرها برای شکل دادن مواد و نگهداری آب در یک محیط مایع با دمای خیلی بالا و افزایش نیروهای برشی در بعضی انواع ماریچ‌ها ممکن است از حدود ۱۵ تا ۲۰۰ اتمسفر متغیر باشد. ویژگی قابل توجه در فرآیند اکستروژن، پیوسته بودن آن است که در یک حالت پایدار دینامیکی عمل می‌نماید به طوری که میزان مواد ورودی معادل میزان مواد جامد خروجی است. بنابراین برای دستیابی به خواص ویژه‌ای در ماده اکستروژ شده، و یک سری پارامترهای خاص می‌بایست به طور صحیحی تنظیم گردد. متغیرهای وابسته در حال تغییر در داخل اکستروژر تعیین کننده شرایط و ویژگی‌های محصول اکستروژ شده هستند که خود تابعی از یکسری متغیرهای مستقل می‌باشند. بعد از اینکه رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته برای تولید محصول در داخل اکستروژر تعیین گردید، در آن صورت شرایط فرآیند باید در سطوح نزدیک به شرایط بهینه تثبیت و نگه داشته شوند (۱۴۰).

## ۲-۲- تکنولوژی پخت با اکستروژن

در توسعه فرآیندهای اکستروژن، پیشرفت‌های قابل توجهی هم در زمینه اکستروژرها و هم در زمینه سایر قسمت‌های موجود در خط تولید کامل یک محصول غذایی صورت گرفته است. اگرچه در سال‌های اخیر شناسایی و فهم بهتر سلسله عملیات‌های در حال انجام در داخل یک اکستروژر روز به روز از اهمیت ویژه‌تری برخوردار می‌شود. در این میان می‌توان به مطالعه و تعیین نقش و تاثیر هر یک از متغیرهای دستگاه اکستروژر بر خواص ماده اکستروژ شده نهایی و اندازه‌گیری تاثیرات مواد خام روی متغیرهای وابسته فرآیند اشاره نمود. خواص و ویژگی‌های مواد اولیه مورد استفاده در فرآیند اکستروژر روی پارامترهای مهمی همچون فشار و دمای اکستروژر و میزان انرژی مصرفی توسط موتور چرخاننده اکستروژر تاثیر گذاشته و باعث فراهم شدن شرایط برای بهم پیوستن و چسبیدن مواد داخل اکستروژر و تولید یک جریان شکل یافته از مواد می‌شود که نهایتاً به تولید یک محصول نهایی از فرآیند اکستروژن منتهی می‌گردد. تحقیقات متعدد و پیشرفت سطح دانش در مورد اکستروژرها باعث شده است که پیشرفت و بهبود قابل توجهی در استفاده از اکستروژرها در صنعت صورت گیرد و در جهت پیشرفت آن تلاش‌های خوبی انجام شود. استفاده از

اکسترودرها که از حالت کاملاً تجربی اولیه و با تولید محصولات اکستروود شده با اکستروودر تک مارپیچی در سال‌های ۱۹۴۰ شروع شد، امروزه کاملاً علمی شده و از مدل‌های ریاضی پیچیده‌ای برای بررسی و پیش‌بینی رفتار مواد در داخل اکستروودرها و همچنین ارزیابی کیفیت محصولات تولیدی استفاده می‌شود.

تکنولوژی پخت با اکستروژن طی دو دهه اخیر با استقبال گسترده‌ای روبرو شده است که دلایل آن عبارتند از :

تنوع محصولات تولیدی: با تغییرات اعمال شده در مواد اولیه، شرایط اکستروود کردن و تعویض قالب‌ها امکان تولید تعداد زیادی از محصولات متنوع با استفاده از یک تکنیک وجود دارد که به راحتی با سایر انواع فرایندها این امکان میسر نمی‌شود .

هزینه پایین: هزینه فرآیند اکستروژن پایین‌تر از بسیاری از تکنیک‌های دیگر پختن و شکل دادن است.

میزان تولید بالا: پیوسته بودن فرآیند تولید در اکستروودرها امکان تولید در سطح بالا را فراهم می‌کند.

کیفیت بالای محصول: اکستروژن به عنوان یک فرآیند دمای بالا و زمان کوتاه محسوب می‌شود و به همین دلیل بسیاری از ترکیبات حساس به حرارت در طی فرآیند اکستروژن از بین نمی‌روند.

مخاطره پایین زیست محیطی: با توجه به اینکه فرآیند پخت با اکستروژن در شرایط خشک و در حضور مقادیر کم رطوبت صورت می‌گیرد همین امر باعث می‌شود که میزان فاضلاب تولیدی به ازای واحد تولید پایین بوده و هزینه تامین آب و تصفیه فاضلاب پایین آید (۱۴۰).

## ۲-۳- مزایای اکستروژن مواد غذایی

در اکستروودرها معمولاً در طی فرآیند مواد غذایی و یا در تولید غذای حیوانات یک یا چند عملیات به طور همزمان انجام می‌شود که به شرح ذیل لیست این عملیات‌ها ذکر می‌شود: مخلوط کردن؛ خروج هوای بین اجزای مواد اولیه؛ هموژن نمودن مواد اولیه؛ خرد کردن؛ اعمال نیروی برشی؛ ژلاتینه کردن نشاسته (پخت نشاسته)؛ غیرطبیعی کردن پروتئین‌ها و بافت‌دهی به آنها؛ اصلاح و تغییر بافت؛ از بین بردن آنزیم‌ها؛ پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون مواد غذایی و از بین بردن میکروارگانیسم‌های مضر و بیماری‌زا؛ پخت حرارتی مواد؛ افزایش حجم مواد؛ بهم پیوستن مواد اولیه و تبدیل آنها به مواد دانه‌ای؛ خشک کردن و خروج آب از سیستم مواد غذایی؛ ادغام چند عملیات و انجام آنها با یکدیگر.

تکنولوژی اکستروژن نسبت به سایر روش‌های فرآیند مواد غذایی مورد استفاده غذاهای انسان و غذاهای حیوانات دارای مزایای متعددی است که عبارتند از :

با حداقل تغییرات در مواد اولیه و یا در شرایط فرآیند اکستروژن امکان تولید مواد غذایی متنوع و مختلف فراهم

می‌گردد.

<sup>1</sup> Dies

مواد غذایی با اشکال، بافت، رنگ و ظاهر مختلف را می‌توان با یک دستگاه اکسترودر و فقط با تغییرات محدود در مواد اولیه، ساختار اکسترودر و یا شرایط فرآیند تولید نمود.

میزان بازدهی استفاده از انرژی در اکستروژن معمولاً بالاتر از سایر روش‌ها می‌باشد و به همین دلیل هزینه جاری فرآیند کاهش می‌یابد.

در اکستروژن با توجه به زمان کوتاه اعمال فرآیند حرارتی، صدمات حرارتی وارده به اجزا مواد غذایی کم و محدود می‌باشد و اجزا حساس به حرارت کمتر از بین می‌روند.

در سیستم تولید با اکستروژن افزایش ظرفیت تولید از حالت آزمایشگاهی و نیمه صنعتی به حالت صنعتی به آسانی صورت می‌گیرد (۱۲۸).

## ۲-۴- عدس

حبوبات به عنوان یکی از مهمترین منابع گیاهی غنی از پروتئین بعد از غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به شمار می‌روند. این گیاهان با تثبیت زیستی نیتروژن ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، به صورت گیاهان پوششی و یا در تناوب با بسیاری از گیاهان زراعی در جلوگیری از فرسایش خاک موثر بوده و نقش مهمی در پایداری نظام‌های کشاورزی ایفا می‌نمایند و برای تنوع بخشی به نظام‌های کشت مبتنی بر غلات به عنوان محصولات ممتاز در نظر گرفته می‌شوند. علاوه بر آن، گیاهانی کم توقع‌اند که برای کشت در نظام‌های زراعی کم نهاده مطلوب هستند و لذا از نظر اکولوژیکی و زیست محیطی، ارزش مهمی در جلوگیری از افزایش آلودگی اراضی دارند.

رشد جمعیت و توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور در دو دهه اخیر باعث شده است تا مصرف مواد پروتئینی به ویژه گوشت قرمز افزایش چشمگیری یابد. براین اساس افزایش تولید مواد پروتئینی به ویژه پروتئین‌های گیاهی که منابع ارزشمندتری در تغذیه هستند، اجتناب ناپذیر است و لذا افزایش تولید حبوبات به عنوان مکمل منابع پروتئینی در برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور نیز مورد توجه قرار گرفته است (۱۳۲).

عدس به عنوان پنجمین حبوبات مهم دنیا بیشتر در نواحی نیمه خشک به ویژه در شبه قاره هند و نواحی خشک خاورمیانه کشت می‌شود. از میان ۵۱ کشور که به کشت و کار عدس می‌پردازند اخیراً کانادا به عنوان بزرگترین تولید کننده این محصول ظاهر شده است و پس از آن نیز کشورهای هندوستان ترکیه، استرالیا، نپال، بنگلادش، سوریه و ایران قرار دارند. این کشورها تا ۸۷٪ تولید جهانی را به خود اختصاص داده اند (۱۳۲). میزان تولید عدس در سال ۲۰۱۲ در سطح جهان معادل ۴/۷ میلیون تن گزارش گردیده است.

سطح زیر کشت عدس در ایران بالغ بر ۲۴۰ هزار هکتار است که در میان کشورهای جهان چهاردمین رتبه را به خود اختصاص داده است. طی دو دهه گذشته سطح زیر کشت این محصول در کشور ۴ برابر افزایش نشان داده است ولی افزایش تولید آن در کشور چیزی بیش از دو برابر بوده است که دلیل عدم تناسب بین افزایش تولید و سطح زیر کشت، کاهش عملکرد از ۷۶۶ به ۴۹۴ کیلوگرم در هکتار رسیده است. سطح زیر کشت عدس در کشور در حدود یک

سوم نخود می‌باشد و این دو محصول ۸۷٪ سطح زیر کشت حبوبات در کشور را شامل می‌شوند. ۹۲٪ سطح زیر کشت عدس در ایران در شرایط دیم کشت می‌شود (۱۳۲).

عدس از زمان‌های قدیم به طور قابل توجهی در رژیم غذایی انسان استفاده شده است. این منبع ارزان قیمت و غنی از پروتئین که هم توسط انسان و هم حیوان مصرف می‌شود، از آنجا که حاوی چندین فاکتور ضد تغذیه‌ای از قبیل ساپونین، اسید فیتیک و تانن‌ها است به عنوان غذای اصلی دارای مقبولیت کمی می‌باشد. برای بهبود ارزش تغذیه‌ای عدس پیش فرآیند جوانه‌زنی مطرح شده است که هم‌اکنون نیز به عنوان یکی از ارزان‌ترین و موثرترین روش‌ها کاربرد دارد. در طول فرآیند جوانه‌زنی، واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گونه‌های فعال و کمپلکس رخ می‌دهد، که باعث تغییرات وسیعی در ترکیب و یا مورفولوژی می‌شود. در طول این فرآیند، تجزیه وسیع ترکیبات ذخیره شده دانه و سنتز پروتئین‌های ساختاری رخ می‌دهد. ویتامین‌ها و ترکیبات ثانویه به طور چشمگیری در طول جوانه زنی تغییر می‌کنند. اسید فیتیک و فیبر که در جذب ترکیبات معدنی و مغذی در دستگاه گوارش موثرند در طول فرآیند جوانه‌زنی به صورت متفاوتی تغییر می‌کنند. دیگر فاکتورهای ضد تغذیه‌ای از قبیل عوامل تولید نفخ شکم، آلفا گالاکتوزیداز، و بازدارنده‌های تریپسین و کیموتریپسین که در هضم پروتئین‌ها موثرند نیز بعد از جوانه زنی کاهش می‌یابند. از طرف دیگر جوانه زنی منجر به بهبود مقادیر آمینواسیدهای گوگردی (متیونین، سیستئین) و افزایش حلالیت نیتروژن می‌شود.

فرآیند جوانه‌زنی به طور کلی، خیساندن دانه حبوبات در آب می‌باشد که در آن از مواد ذخیره شده در دانه‌ها برای تنفس و قسمتی برای سنتز ترکیبات سلولی جدید و رشد جنین در طول جوانه زنی استفاده می‌شود. از این رو همان‌طور که گفته شد این فرآیند باعث تغییرات مهمی در خصوصیات حسی، تغذیه‌ای و بیوشیمیایی حبوبات می‌شود.

## ۲-۵- پیشینه اکستروژن حبوبات و مخلوط‌های آن

در تحقیقی که توسط آندریانا لازو و همکارانش (۲۰۱۰) انجام گرفت، خصوصیات عملکردی محصول اکستروژن شده ذرت و مخلوط ذرت و عدس تحت شرایط اکستروژن، که شامل سرعت خوراک‌دهی (۶/۸-۲/۵ کیلوگرم بر ساعت)، رطوبت خوراک (۱۹-۱۳ درصد) و دمای اکستروژن (۲۳۰-۱۷۰ درجه سانتیگراد) مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس عدس به نسبت ۵۰-۱۰٪ در مخلوط استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که شاخص جذب آب محصول اکستروژن شده با دمای اکستروژن و رطوبت خوراک افزایش یافته و با سرعت خوراک‌دهی و نسبت بین عدس و ذرت کاهش می‌یابد. هم‌چنین شاخص حلالیت آب محصول اکستروژن شده با دما افزایش یافته، اما با محتوی رطوبت خوراک و سرعت خوراک‌دهی کاهش می‌یابد. علاوه بر این شاخص جذب روغن محصول اکستروژن شده با دمای اکستروژن افزایش یافته و با سرعت خوراک‌دهی، رطوبت خوراک و نسبت بین عدس و ذرت کاهش می‌یابد. در مجموع نتایج تحقیق فوق نشان داد که محصولات اکستروژن شده حاصل از ذرت در مقایسه با مخلوط ذرت با عدس دارای ویژگی عملکردی بالاتری می‌باشند (۸۰).



آندریانا لازو و همکارانش (۲۰۱۱) تحقیقی روی خصوصیات حرارتی اسنک‌های اکستروود شده بر پایه ذرت و عدس در شرایط مختلف فرآیند از جمله سرعت خوراک‌دهی (۶/۸۴-۲/۵۲ کیلوگرم بر ساعت)، دمای اکستروژن (۱۷۰-۲۳۰ درجه سانتیگراد) و رطوبت خوراک (۱۳-۱۹ درصد) انجام دادند. سپس از نسبت ۱۰ تا ۵۰٪ مخلوط عدس با ذرت استفاده گردید. مشاهدات نشان داد که انرژی مخصوص مکانیکی در طول پخت اکستروژن با دمای اکستروژن، سرعت خوراک‌دهی و رطوبت خوراک کاهش می‌یابد. از سوی دیگر خصوصیات جذب اسنک‌های مخلوط ذرت و عدس در دمای اتاق با موفقیت توسط مدل گب ۲ به صورت S شکل توصیف گردید. بررسی‌ها نشان داد که دمای گذرای شیشه‌ای محصول اکستروود شده، با سرعت خوراک‌دهی، دمای اکستروژن و نسبت عدس به ذرت افزایش می‌یابد. همچنین معادله گوردون-تیلور<sup>۲</sup> برای توصیف پلاستیسیزیشن مناسب، مورد استفاده قرار گرفت. شواهد حاکی از آن بود که عمدتاً با کاهش رطوبت سرعت گذرای شیشه‌ای نیز کاهش می‌یافت. تشکیل کمپلکس آمیلوز-لیپید با وجود پیک اندوترمیک، در طول اسکن افتراقی محصولات اکستروود شده ذرت-عدس تایید شد (۸۱).

در مطالعه‌ای دیگر، خصوصیات حسی محصولات اکستروود شده بر پایه ذرت و عدس تحت تاثیر فرآیند اکستروژن توسط آندریانا لازو و همکارانش (۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفت. مشاهدات نشان داد که دمای اکستروژن ویژگی‌های ظاهری (ساختار همگن، تخلخل و قطر)، طعم شیرین، تردی و سختی محصول را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، سرعت خوراک‌دهی ویژگی‌های ظاهری را بهبود می‌بخشد اما سختی نمونه‌ها را نیز افزایش می‌دهد. محتوی رطوبتی خوراک احساس سختی محصول اکستروود شده را افزایش داده اما ویژگی‌های ظاهری و سیال شدن آن‌ها را کاهش می‌دهد. بعلاوه عدس به تیره شدن محصول می‌انجامد، که ناخوشایند است (۸۲).

در تحقیقی که توسط بزورک و همکارانش (۱۹۸۳) صورت گرفت، تاثیر پخت اکستروژن بر روی ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی مورد ارزیابی قرار گرفت که از اثرات مفید آن می‌توان به کاهش فاکتورهای ضد تغذیه‌ای و ژلاتینه شدن نشاسته اشاره کرد. اما از سوی دیگر واکنش میلارد که در اثر واکنش بین پروتئین و قند رخ می‌دهد منجر به کاهش ارزش تغذیه‌ای پروتئین شده و همچنین باعث می‌شود ویتامین‌های حساس به حرارت در مقادیر متفاوتی از بین بروند (۲۵).

اکستروژن دو ماریپیچی برنج قهوه ای پیش جوانه زده شده توسط چانلات و همکاران (۲۰۱۱) مورد بررسی قرار گرفت. هدف این مطالعه، بررسی اثر رطوبت خوراک (۲۲/۳-۱۵/۶ درصد)، سرعت ماریپیچ (۳۳۴-۲۶۴ دور بر دقیقه) و نسبت آرد برنج قهوه ای پیش جوانه زده حاوی گلوتن (۶-۶۳٪ درصد) بر روی خصوصیات فیزیکی شیمیایی (نسبت انبساط شوندگی، دانسیته، سختی، شکنندگی، شاخص جذب آب، شاخص محلولیت در آب اسنک‌های اکستروود شده بود. بررسی‌ها نشان داد که افزایش رطوبت خوراک دانسیته، سختی و شاخص جذب آب را افزایش داده و نسبت انبساط شوندگی، شکنندگی و شاخص محلولیت در آب را کاهش می‌دهد. افزایش سرعت ماریپیچ نسبت انبساط شوندگی،

<sup>2</sup> GAB

<sup>3</sup> Gordon-Taylor

شکندگی شاخص جذب آب و شاخص محلولیت در آب افزایش و دانسیته و سختی را کاهش می دهد. افزایش سطح آرد برنج قهوه ای پیش جوانه زده حاوی گلوتن نسبت انبساط شوندگی، شکندگی، شاخص محلولیت در آب و گابا را افزایش و دانسیته، سختی و شاخص جذب آب را کاهش می دهد، همچنین مشخص شد رطوبت خوراک و سرعت ماریپیج اثر قابل توجهی بر روی محتوی گابا نداشته است. بر طبق نتایج بدست آمده خصوصیات نمونه اسنک های اکستروود شده از آرد برنج قهوه ای با استفاده از اکستروودر دو ماریپیچی عمدتاً به رطوبت خوراک و نسبت برنج قهوه ای پیش جوانه زده حاوی گلوتن وابسته بود (۳۱).

بهاتا کاریا و همکاران (۱۹۹۴) مخلوط آرد برنج و گونه خاصی از نخود حاوی رطوبت ۲۰٪ را از میان اکستروودر تک ماریپیچی اکستروود کردند. هدف این مطالعه، اندازه گیری میزان گشتاور در طول اکستروژن و خصوصیات محصول از قبیل نسبت انبساط شوندگی، دانسیته و اصطحکام برشی از طریق آنالیز سطح پاسخ بوده است. متغیرهای فرآیند اکستروژن شامل: نسبت مواد تشکیل دهنده (نسبت برنج به نخود ۱۰:۹۰، ۱۰:۸۰:۲۰)، و دمای دای (۱۲۵، ۱۰۰، ۱۵۰، درجه سانتیگراد) می باشد. نتایج نشان داد که افزایش نسبت نخود در مخلوط پایه میزان گشتاور و انبساط شوندگی محصول را در طول فرآیند اکستروژن کاهش می دهد. تاثیر دمای دای بر روی این پارامترها به صورت خطی می باشد. و در شرایط بهینه اکستروژن گشتاور و دانسیته حداقل می باشند، و این امر زمانی رخ می دهد نسبت مواد ۸۴/۳ درصد برنج و دمای دای ۱۴۱/۴ درجه سانتیگراد یا ۱۰۰٪ برنج و دمای دای ۱۸۸/۳ درجه سانتیگراد باشد. و براساس این گزارش نسبت مواد در مقایسه با دمای دای ظاهراً تاثیر بیشتری بر روی گشتاور و خصوصیات محصول داشته است (۲۳).

لیو و همکاران (۲۰۰۰) تاثیر متغیرهای فرآیند از جمله سرعت ماریپیج (۳۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ دور بر دقیقه)، میزان رطوبت (۱۹، ۱۸، ۲۱، ۵ درصد)، و ۴ نسبت متفاوت آرد جودوسر (۵۵، ۸۵/۱۰۰، ۷۰ درصد) بر روی خصوصیات فیزیکی (انبساط شوندگی، دانسیته و خصوصیات بافتی) و ویژگی های حسی محصولات اکستروود شده مخلوط آرد جودوسر و ذرت بررسی نمودند. مشاهدات نشان داد که افزایش درصد آرد جودوسر منتج شده به محصولات اکستروود شده ای با طول مخصوص کمتر، دانسیته بالاتر، شفافیت کمتر، قرمزی بیشتر، زردی، صمغی بودن، برگشت پذیری و قابلیت جویدن کمتر می شود. محتوی رطوبتی بالاتر به استثناء مقدار ۱۰۰٪ آرد جودوسر باعث کاهش انبساط شوندگی می شود. سرعت ماریپیج تاثیر قابل توجهی بر روی دانسیته، طول مخصوص و نسبت انبساط شوندگی ندارد. آنالیز مولفه های اصلی نشان می دهد که کاهش رطوبت و افزایش سرعت ماریپیج باعث افزایش دمای محصول که ارتباط زیادی با ویژگی های محصول از قبیل شفافیت، تردی، درخشندگی و یک ساختار سلولی باز دارد. با سرعت ماریپیج و دمای بالاتر محصول احتمالاً عطر و طعم ذرت افزایش بیشتری پیدا می کند. مشاهدات نشان داد که درصد آرد جودوسر و محتوی رطوبتی اثر قابل توجهی بر روی ویژگی های حسی و فیزیکی داشته است. اما اثر سرعت ماریپیج قبل توجه نیست. بعلاوه ارتباط بالایی بین خصوصیات فیزیکی و حسی از طریق آنالیز مولفه های اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی مشاهده شده است (۸۶).

آلتان و همکاران (۲۰۰۸) مخلوطی از آرد جو و تفاله گوجه فرنگی در اکسترودر دو ماریچی فرآیند کرده به طوریکه متغیرهای مستقل شامل دمای دای (۱۶۰-۱۴۰ درجه سانتیگراد) سرعت ماریچ (۲۰۰-۱۵۰ دور بر دقیقه) و نسبت تفاله گوجه فرنگی (۱۰-۲ درصد) می باشد. هدف این مطالعه، بررسی اثر این متغیرها بر روی پارامترهای سیستم انرژی مخصوص مکانیکی<sup>۴</sup>، دمای ذوب قالب و فشار قالب) و متغیرهای وابسته (انبساط شوندگی، دانسیته، جذب آب و محلولیت در آب، بافت و رنگ) می باشد. معادله رگرسیون اثر تیمارها را بر روی متغیرهای وابسته و پارامترهای سیستم توصیف می کرد. پارامترهای سیستم و متغیرهای وابسته اکثرا تحت تاثیر تغییرات دما، نسبت تفاله و اندکی به سرعت ماریچ قرار داشتند. محصول اکسترودر شده با نسبت ۱۰ و ۲٪ تفاله گوجه در ۱۶۰ درجه سانتیگراد و ۲۰۰ دور بر دقیقه از نظر فاکتورهای رنگ، بافت، مزه و پذیرش کلی مناسب تر بوده است. طبق نتایج بدست آمده پارامترهای سیستم و متغیرهای وابسته اکثرا به دما و نسبت تفاله وابسته بودند (۱۰).

دینگ و همکاران (۲۰۰۵) تاثیر شرایط اکستروژن که شامل نسبت خوراک (۳۲-۲۰ درصد)، میزان رطوبت خوراک (۲۲-۱۴ درصد)، سرعت ماریچ (۳۲۰-۱۸۰ دور بر دقیقه)، و دمای پوسته (۱۰۰-۱۴۰ درجه سانتیگراد) بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی (دانسیته، انبساط شوندگی، شاخص جذب آب)، و شاخص محلولیت در آب و ویژگی‌های حسی (سختی و تردی) اسنک‌های بر پایه برنج بررسی نمودند. مشاهدات نشان داد که افزایش نسبت خوراک منجر به افزایش انبساط شوندگی، سختی و کاهش محصول اکسترودر شده می شود. افزایش محتوی رطوبتی خوراک منجر به افزایش دانسیته، سختی و کاهش انبساط شوندگی، شاخص محلولیت در آب و تردی محصول اکسترودر شده می شود. بالا بودن دمای پوسته باعث افزایش انبساط شوندگی، شاخص محلولیت در آب و تردی و کاهش دانسیته محصول اکسترودر شده می شود. در مجموع نتایج تحقیق فوق نشان داد که نسبت خوراک، رطوبت خوراک و دمای پوسته اثر قابل توجهی بر روی ویژگی‌های مختلف محصول اکسترودر شده داشته و با توجه به اینکه محتوی رطوبتی بیشترین تاثیر را داشته است، در حالیکه سرعت ماریچ اثر قابل توجهی نداشت (۴۵).

در تحقیقی مشابه تاثیر شرایط اکستروژن که شامل سرعت خوراک دهی (۳۲-۲۰ کیلوگرم بر ساعت)، میزان رطوبت خوراک (۲۲-۱۴ درصد)، سرعت ماریچ (۳۲۰-۱۸۰ دور بر دقیقه)، و دمای پوسته (۱۰۰-۱۴۰ درجه سانتیگراد) بر روی خواص عملکردی (دانسیته، انبساط شوندگی، شاخص جذب آب و شاخص محلولیت در آب) و ویژگی‌های فیزیکی (دانسیته، انبساط شوندگی و خصوصیات بافتی) اسنک‌های بر پایه گندم توسط دینگ و همکاران (۲۰۰۶) بررسی شده بود. مشاهدات نشان داد که افزایش سرعت خوراک دهی باعث افزایش سختی و کاهش انرژی سوراخ شدن نمونه می شود. افزایش محتوی رطوبتی خوراک باعث افزایش دانسیته، شاخص محلولیت در آب و سختی و کاهش انبساط شوندگی، شاخص جذب آب و کاهش انرژی سوراخ شدن محصول اکسترودر شده می شود. افزایش سرعت ماریچ منجر به کاهش اندک دانسیته و سختی محصول اکسترودر شده گندم می شود. افزایش دمای پوسته منجر به کاهش دانسیته، شاخص جذب آب و سختی شده و شاخص محلولیت در آب، انرژی سوراخ شدن محصول اکسترودر شده

<sup>4</sup> SME

را افزایش می‌دهد. در مجموع نتایج تحقیق فوق نشان داد سرعت خوراک دهی، رطوبت خوراک، سرعت ماریپیج و دمای پوسته اثر قابل توجهی بر روی ویژگی‌های مختلف محصول اکستروژن شده داشته و میزان رطوبت و دمای پوسته بیشترین تاثیر را داشتند (۴۴).

در تحقیقی که توسط باتیستا و همکاران (۱۹۹۱) انجام گرفت. از روش سطح پاسخ جهت بهینه سازی فرایند پخت اکستروژن جهت تولید اسنک نخود استفاده شد. شرایط اکستروژن، که شامل درجه حرارت (۱۳۷-۱۲۳ درجه سانتیگراد) و رطوبت خوراک (۲۷-۱۳ درصد) در ۵ سطح انتخاب شده بود. نتایج به دست آمده نشان داد که نسبت انبساط شونده‌ی بطور پیوسته با کاهش رطوبت افزایش می‌یابد که مشابه اکستروژن غلات می‌باشد. نواحی ماکزیمم برای مقاومت برشی و ارزیابی حسی مشاهده شد که این دو ویژگی با یکدیگر ارتباط خطی دارد. در مجموع نتایج تحقیق فوق نشان داد که محصولات اکستروژن شده حاصل از نخود اکستروژن شده به عنوان جایگزینی با میزان پروتئین بالاتر نسبت به اسنک‌های بر پایه ذرت و غلات مقبولیت بیشتری نزد مصرف کننده داشت (۱۸).

گوئیز و همکاران (۲۰۰۴) تحقیقی روی بر روی تغییرات فیزیکیوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی مخلوط نشاسته گندم و کازئین در طول پخت اکستروژن که منجر به واکنش بین این دو بیوپلیمر می‌گردد در شرایط مختلف فرآیند شامل درجه حرارت (۱۹۴-۱۲۶ درجه سانتیگراد) رطوبت (۲۹-۱۸ درصد) و مخلوط نشاسته و کازئین (۹۵-۵ درصد) انجام دادند. مشاهدات نشان داد که این متغیرهای اکستروژن بر روی خواص فیزیکیوشیمیایی و بافتی بیوپلیمرها اثر معنی داری داشته است. از سوی دیگر بالاترین میزان انبساط شونده‌ی و شاخص جذب آب با حضور نسبت نشاسته بالاتر در مخلوط و درجه حرارت ۱۲۶ درجه سانتیگراد پوسته و محتوی رطوبتی بالاتر از ۲۵ درصد حاصل می‌شود. با افزایش دمای پوسته از ۱۲۶ به ۱۹۴ درجه سانتیگراد شاخص محلولیت در آب و فاکتور رنگ افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان داد که ویسکوزیته اولیه و ویسکوزیته در ۹۰ درجه سانتیگراد تحت تاثیر دمای پوسته در ۱۹۴ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد. اگرچه ویسکوزیته در ۵۰ درجه سانتیگراد تحت تاثیر هیچکدام از متغیرهای فرایند اکستروژن و همچنین نسبت بیوپلیمر در مخلوط قرار نمی‌گیرد. شواهد حاکی از آن بود که نیروی فشاری به شدت وابسته به رطوبت و نسبت کازئین در مخلوط می‌باشد. مقادیر بالاتر نیروی فشاری در غلظت‌های نشاسته با محدوده رطوبتی ۵۰ و ۲۵ درصد حاصل شده و برای مقادیر بالاتر و پایین‌تر از این محصول اکستروژن شده نرم‌تری حاصل شده و در نتیجه میزان نیروی فشاری کمتر شده است (۵۰).

در مطالعه‌ای دیگر اثرات سرعت ماریپیج و کنجاله کنجد نیمه چربی گرفته شده بر روی اکستروژن ذرت و خصوصیات تغذیه‌ای، بافتی، حسی و ریز ساختار درونی آن توسط ناسکی‌منتو و همکارانش (۲۰۱۲) مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس مخلوطی از کنجاله کنجد نیمه چربی گرفته شده (۰-۲۰ درصد) و بلغور ذرت در اکستروژن تک ماریپیج در محدوده سرعت ماریپیج ۳۲۴ تا ۳۸۷ دور بر دقیقه جهت بهبود ارزش تغذیه‌ای محصول ذرت اکستروژن شده فرایند گردید. نتایج نشان داد که پروتئین، چربی و خاکستر ذرت اکستروژن شده افزایش پیدا کرده در حالیکه میزان کربوهیدرات کاهش پیدا کرده بود. علاوه بر این انبساط شونده‌ی بخشی کنجاله کنجد نیمه چربی ذرت اکستروژن شده

کاهش یافته و نیروی سوراخ شوندگی آن افزایش یافته بود. محصول اکستروود شده مخلوط کنجاله کنجد نیمه چربی - ذرت نسبت به بدون کنجاله کنجد نیمه چربی آن تیره تر بود. افزایش کنجاله کنجد نیمه چربی تعداد سلول‌های مشابه ذرت‌های اکستروود شده موجود در بازار با سلول‌های کوچک را افزایش می‌دهد. آنالیز حسی نشان می‌دهد محصول اکستروود شده ذرت با ۲۰٪ کنجاله کنجد نیمه چربی از نظر تغذیه ای متعادل تر و قابل قبول تر می‌باشد. استفاده از ۲۰٪ کنجاله کنجد نیمه چربی در محصول اکستروود شده ذرت باعث بهبود ارزش تغذیه ای و حفظ ویژگی‌های حسی خوب می‌گردد (۱۰۳).

در تحقیقی که توسط سینگ و همکارانش (۲۰۰۷) صورت گرفت، اثر رطوبت خوراک (۲۴-۱۸ درصد) دمای اکستروژن (۱۷۰-۱۳۰ درجه سانتیگراد) و میزان بلغور نخود (۳۰-۰ درصد) بر روی رفتار اکستروژن و ویژگی ماده اکستروود شده از بلغور برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش از چند جمله ای درجه دوم جهت مقایسه پارامترهای اکستروودر و خصوصیات محصول به عنوان تابعی از رطوبت خوراک، دمای اکستروژن و میزان بلغور نخود استفاده شده است (۱۱۳).

## ۲-۶- پژوهشهای مربوط به بررسی ترکیبات و ارزش تغذیه‌ای عدس و فرایند جوانه زنی آن

کلیین و همکارانش (۱۹۷۵) آنالیز تقریبی مواد معدنی و ویتامین‌های دانه‌های خام و پخته‌ی یونجه، عدس، لوبیا و سویا را گزارش کردند. محتوی پروتئینی همه دانه‌های جوانه زده شده نسبت به دانه‌های اولیه بیشتر بود (افزایش از ۱۰۶۶٪ در عدس تا ۱۱۹٪ در لوبیا و ماش) که به از دست رفتن بخشی از قند و پوشش دانه در طول جوانه زنی و تا حدی نیز به سنتز پروتئین نسبت داده شد. چربی به محض جوانه زنی در همه آزمایش‌ها کاهش یافت. تغییرات تیامین در طول جوانه زنی اندک بود ولی محتوی نیاسین همه دانه‌های جوانه زده شده نسبت به دانه‌های اولیه بیشتر بود. محتوی ریوفلاوین دانه‌های جوانه زده برای دانه یونجه تا سه برابر و برای دانه لوبیا و سویا تا ۲ برابر افزایش یافت. سه نوع دانه جوانه زده حاوی مقادیر اسید آسکوربیک بیشتری نسبت به دانه‌هایشان هستند. محتوی مواد معدنی به جز آهنی که اندکی کلسیم از آب آشامیدنی جذب می‌کنند معمولاً یکسان باقی می‌ماند. از دست دادن مواد مغذی در نتیجه پخت به جز در جوانه یونجه به علت از دست دادن نیاسین و اسید آسکوربیک ناچیز بوده است. آنها پس از تجزیه تحلیل‌های صورت گرفته گزارش دادند دانه‌های جوانه زده در مقایسه با دانه‌های بدون جوانه، موجب افزایش مواد مغذی در رژیم غذایی انسان خواهند شد (۷۶).

آیت و همکارانش (۱۹۹۷) تاثیر جوانه زنی تحت شرایط محیطی متفاوت را بر روی ترکیبات ضد تغذیه‌ای ساپونین‌ها، اسید فیتیک و تانن‌ها در عدس بررسی کردند. مشاهدات نشان داد که در طی جوانه زنی در تاریکی به همراه عوض کردن آب در بیش از ۶ روز، مقدار ترکیبی خاص در عدس تا ۲ برابر مقدار آن در دانه‌ی خام افزایش پیدا می‌کند. در شرایطی مشابه بیشترین کاهش در اینوزیتول فسفات و تانن مشاهده شد. کاهش در نسبت تانن و کاتچین (تانن با درجه پلیمریزاسیون کمتر) در آبیاری روزانه مشاهده شد. همچنین در مشاهدات آنها مقدار کل اسید فیتیک بعد از سه روز جوانه زنی کاهش یافت اما بعد از ۶ روز جوانه زنی این کاهش چشم‌گیرتر بود. از اینرو در این پژوهش شرایط بهینه

جوانه زنی به جهت افزایش کیفیت تغذیه ای عدس‌ها با حذف برخی از فاکتورهای ضد تغذیه ای (اسید فیتیک و تانن‌ها) برای ۶ روز جوانه زنی دانه در تاریکی به همراه تعویض آب تعیین شده بود (۱۵).

اوربانا و همکارانش (۱۹۹۵) به مطالعه‌ی ارزش تغذیه‌ای عدس‌ها با هدف دستیابی به آرد عدس با فاکتورهای ضد تغذیه‌ای کمتر نسبت به حبوبات خام با استفاده از تیمار حرارتی و جوانه زنی و ارزیابی عدس‌های فرآیند شده با روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که در فرآیند جوانه زنی حذف کامل آلفا گالاکتوزیداز و افزایش قابل توجه در تیامین، ریوفلاوین و نیاسین عدس حاصل می‌شود. همچنین، محتوی کل نشاسته و فعالیت بازدارنده تریپسین با حرارت‌دهی خشک و فرآیند جوانه زنی کاهش می‌یابد (۱۲۱).

در تحقیقی که توسط سلیمان و همکاران (۲۰۰۸) صورت گرفت، اثر جوانه زنی بر روی ترکیبات شیمیایی، انرژی و محتوی آمینو اسیدی سه نوع عدس کشت داده شده در سودان که برای ۳ و ۶ روز جوانه زده بودند بررسی شد. در طول جوانه زنی چربی خام و فیبر افزایش یافته بود در حالیکه نیتروژن آزاد و انرژی غذایی کاهش یافته بود. جوانه زنی بر روی آمینواسیدهای دانه تاثیر داشته و نشان داده بخشی و یا همه اسیدهای آمینه ضروری و غیر ضروری با تغییرات اندکی بین کشت‌ها افزایش یافته است. در وارینه سلامی جوانه زنی در طی ۳ روز به جز متیونین باعث افزایش همه اسیدهای آمینه ضروری شده و با افزایش جوانه زنی به مدت ۶ روز کاهش در اسیدهای آمینه هیستیدین، لیزین و آرژینین مشهودتر بود. همچنین برای گونه روباتاب اسیدهای آمینه ضروری به دلیل جوانه زنی به جز متیونین و لیزین افزایش یافته بود. در گونه نادی که در طول ۳ روز جوانه زده اسید آمینه ضروری و غیر ضروری افزایش یافته بود. در کل در همه گونه‌های عدس اسیدهای آمینه گوگردی (متیونین و سیستئین) کاهش یافته بودند. مشاهدات نشان داد در عدس آمینو اسیدهای گوگردی کم بود، و جوانه زنی منجر به بهبود مقادیر آمینو اسیدهای ضروری و غیر ضروری گردید (۱۱۷).

هسو و همکاران (۱۹۸۰) در تحقیقی اثر جوانه زنی را بر روی میزان مواد مغذی و خصوصیات پخت نخود فرنگی خشک، عدس و لوبیای فابا مطالعه کردند. هدف این مطالعه تعیین اثر شرایط جوانه زنی بر روی کیفیت جوانه‌ها و تعیین تغییرات اسیدآسکوربیک، ریوفلاوین و ترکیبات اسید آمینه نخود فرنگی زرد خشک، گونه خاصی از عدس و لوبیای فابا در طول جوانه زنی و خصوصیات پخت نان مخلوط آرد گندم با دانه‌های جوانه زده و زده نخود سبز، لوبیا فابا و عدس و مقایسه آنها با هم بوده است. خیساندن و شستشو به همراه ۵۰ پی پی ام کلرینه کردن در کنترل رشد میکروبی در طول جوانه زنی نخود موثر می‌باشد. میزان اسید آسکوربیک نخود زرد خشک، عدس و لوبیا فابا افزایش ۸۶-۲۹ برابر داشته و میزان ریوفلاوین نخود بعد از ۴ روز جوان زنی ۲ برابر شده است، جوانه زنی تاثیر کمی بر روی ترکیبات آمینو اسیدی پروتئین‌های حبوبات دارد. جایگزین کردن آرد گندم با ۱۵٪ آرد حبوبات اثر تخریبی کمی بر روی حجم نان دارد. ۴ روز جوانه زنی اثر تخریبی بر روی کیفیت پخت نخود و عدس داشته و منجر به کاهش حجم نان و عطر، طعم نامطلوب و تیره شدن نان می‌شود. اگرچه خصوصیات پخت آرد لوبیا فابا تحت تاثیر جوانه زنی نبوده است (۶۲).

المهدی و همکاران (۱۹۸۵) تاثیر جوانه زنی بر روی کیفیت تغذیه ای ۲ نوع دانه عدس متفاوت بررسی کردند. جوانه زنی از طریق کاهش هموآگلوتینین و فعالیت بازدارنده تریپسین، تانن‌ها و پنتوزان‌ها و با افزایش قابلیت هضم پروتئین و حلالیت نیتروژن و نیتروژن آمینو اسید آزاد باعث بهبود ارزش تغذیه ای عدس می‌شود. به استثناء آهن، خاکستر و مواد معدنی دیگر که تحت تاثیر جوانه زنی قرار نمی‌گیرند (۴۸).

اثر شرایط مختلف جوانه زنی در مقیاس نیمه صنعتی بر روی قندهای محلول در دسترس، آلفاگالاکتوزیدها، ویتامین‌های B1، B2 و اینوزیتول فسفات‌های لوبیا، عدس و نخود فرنگی توسط ویدال و همکاران (۲۰۰۲) مورد مطالعه قرار گرفته بود. نتایج به دست آمده نشان داد در جوانه زنی تغییر ترکیبات مغذی حبوبات وابسته به نوع حبوبات و شرایط جوانه زنی است. ترکیبات ذخیره شده موجود در دانه خشک (آلفا گلیکوزیدها و اشکال بیشتر اینوزیتول فسفات‌ها) کاهش یافته به خاطر هیدرولیز آنها به گلوکز، فروکتوز، IP4 و IP3 و موادی که می‌تواند به عنوان منابع جدید انرژی برای گیاهان دیگر استفاده شوند. ویتامین B2 بعد از جوانه زنی افزایش داشته در حالیکه B1 تغییر قابل توجهی نداشته است. برای دست یافتن به آرد حبوباتی با ارزش تغذیه ای بالا ۶ روز جوانه زنی در حضور نور برای لوبیا و عدس و برای نخود در تاریکی پیشنهاد شده است (۱۲۴).

## ۲-۷- بسته‌بندی فعال

مهمترین مفاهیم در بسته‌بندی فعال شامل جذب‌های اتیلن و اکسیژن، جذب‌ها و آزاد کننده‌های دی اکسید کربن، تنظیم کننده‌های رطوبت، بسته‌بندی ضد میکروبی و آزاد کننده‌ها و جذب‌های طعم و بو می‌باشد. تکنیک‌های بسته‌بندی فعال به سه دسته طبقه بندی می‌شوند: جذب کننده‌ها، سیستم‌های آزاد کننده و سایر سیستم‌ها (جدول ۱).

جذب کننده‌ها، ترکیبات نامطلوب مثل اکسیژن، دی اکسید کربن، اتیلن، آب اضافی و بوها را حذف می‌نماید. سیستم‌های آزاد کننده، فعالانه ترکیباتی را به داخل بسته آزاد می‌نماید. سایر سیستم‌ها ممکن است وظایف متنوعی داشته باشد مثل خود گرمایی و خود سرمایی (۷۱).

بر مبنای شکل فیزیکی سیستم‌های فعال، جذب کننده‌ها و آزاد کننده‌ها می‌توانند به شکل بالشتک، برچسب یا فیلم باشند. بالشتک‌ها بطور آزادانه در فضای سر بسته قرار داده می‌شوند. برچسب‌ها در داخل درپوش بسته قرار می‌گیرند. فیلم‌ها یا موادی که خصوصیات ضد میکروبی دارند شامل دو گروه هستند: مهاجرتی، آن‌هایی که فعالانه مواد فعال را به داخل بسته رها می‌سازند. غیرمهاجرتی، شامل دسته‌ای است که بطور موثر از رشد میکروب‌ها پیشگیری می‌نماید بدون این که عوامل فعال را به داخل بسته آزاد نماید، در این حالت ماده غذایی باید مستقیماً در تماس با مواد فعال باشد. پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از فیلم‌های ضد میکروب در مقایسه با افزودن مستقیم ماده ضد میکروب بسیار موثرتر است، زیرا ترکیب ضد میکروب به کندی از سطح بسته‌بندی به ماده غذایی آزاد می‌شود و در غلظت مورد نیاز برای جلوگیری از رشد میکروبی حفظ می‌گردد.



آزاد شدن تدریجی عامل ضد میکروب از فیلم به سطح ماده غذایی از راه تبخیر در مقایسه با غوطه‌ور سازی ماده غذایی در محلول ضد میکروب یا پاشش آن بر سطح ماده غذایی مزیت دیگری نیز در بردارد. در روش‌های اخیر احتمال کاهش سریع فعالیت ضد میکروبی به دلیل غیرفعال شدن آن در اثر تماس با مواد تشکیل دهنده ماده غذایی یا انتشار سریع از سطح به توده ماده غذایی و در نتیجه کاهش مقدار موثر ترکیب ضد میکروب به علت انتقال به توده ماده غذایی وجود دارد. با توجه به دلایل یاد شده استفاده از فیلم‌های چند لایه (لایه شاهد / لایه بستر / لایه حصار) پیشنهاد شده است. در این فیلم‌ها سرعت انتشار ترکیب فعال توسط لایه داخلی کنترل می‌شود، درحالی که لایه بستر حاوی ترکیب-های فعال و لایه حصار یا محافظ برای جلوگیری از انتقال عامل فعال به خارج از بسته‌بندی عمل می‌کند. فیلم فعال باید در برابر دامنه گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها در غلظت کم موثر باشد و موجب هیچ گونه تغییر در ویژگی‌های حسی فرآورده نشود، همچنین مفرون به صرفه بوده و با قوانین موجود همخوانی داشته باشد (۱۳۳).



## جدول ۱- مثال‌هایی از سیستم‌های بسته‌بندی فعال (۷۱)

سیستم بسته‌بندی فعال	مکانیسم‌ها	کاربردهای غذایی
گیرنده‌های اکسیژن	بر پایه آهن فلز/اسید نایلون MXD6 کاتالیست فلز(مانند پلاتینیوم) اسکوربات/ نمک‌های فلزی بر پایه آنزیم	نان، کیک‌ها، برنج پخته، بیسکویت‌ها، پیتزا، پاستا، پنیر، گوشت و ماهی عمل آوری شده، قهوه، غذاهای اسنک، مواد غذایی خشک و نوشیدنی‌ها
گیرنده/ساطع کننده‌های دی‌اکسید کربن	اکسید آهن / هیدروکسید کلسیم کربنات فرو/هالید فلزی اکسید کلسیم / کربن فعال اسکوربات/بیکربنات سدیم	قهوه، گوشت و ماهی تازه، آجیل‌ها و دیگر فراورده‌های غذایی اسنک و کیک‌های اسفنجی
گیرنده‌های اتیلن	پرمنگنات پتاسیم کربن فعال رس‌های فعال شده/زئولیت‌ها	میوه، سبزی‌ها و دیگر محصولات باغی
آزاد کننده‌های مواد نگهدارنده	اسیدهای آلی زئولیت نقره عصاره‌های ادویه جات و گیاهان آنتی‌اکسیدان‌های BHA/BHT آنتی‌اکسیدان ویتامین E دی‌اکسید کلرین / دی‌اکسید سولفور	غلات، گوشت، ماهی، نان، پنیر، غذاهای اسنک، میوه و سبزی‌ها
ساطع کننده‌های اتانول جاذب‌های رطوبت	اتانول ریزپوشانی شده PVA blanket رس‌های فعال شده و مواد معدنی سیلیکاژل	پیتزا، کیک‌ها، نان، بیسکویت‌ها، ف‌راورده‌های ماهی و پخت ماهی، گوشت‌ها، غذاهای اسنک، غلات، مواد غذایی خشک شده، ماکیان، فراورده‌های لبنی و میوه
جاذب‌های طعم / بو	تری استات سلولز کاعذ استیله شده اسید سیتریک نمک فرو/اسکوربات کربن فعال /رس‌ها/ زئولیت‌ها	عصاره‌های میوه، غذاهای اسنک سرخ شده، ماهی، غلات، ماکیان، فراورده‌های لبنی و میوه
بسته‌بندی‌های با کنترل دما	پلاستیک‌های Non-woven کخازن دو جداره گاز هیدروفلوروکربن آهک سریع /آب نیترات آمونیوم / آب کلرید کلسیم / آب آلیاژهای فوق خورنده / آب نمک پرمنگنات پتاسیم / گلیسرین	غذاهای آماده، گوشت، ماهی، ماکیان و نوشیدنی‌ها
فیلم‌های جبران کننده دما	پلیمرهای قابل کریستاله شدن با زنجیره جانبی	میوه، سبزی‌ها و دیگر محصولات باغی

## ۲-۸- گیرنده‌های اکسیژن

اکسیژن می‌تواند اثرات زیانبار قابل توجهی بر مواد غذایی داشته باشد. بنابراین گیرنده‌های اکسیژن (همچنین جاذب‌های اکسیژن) می‌توانند به حفظ کیفیت فرآورده‌های غذایی از طریق کاهش متابولیسم مواد غذایی، کاهش تندی اکسایشی، ممانعت از اکسایش نامطلوب رنگ‌ها و ویتامین‌های ناپایدار، کنترل رنگبری آنزیمی و ممانعت از رشد میکروارگانیسم‌های هوازی کمک کنند. گیرنده‌های اکسیژن توجه بسیاری از تولیدکنندگان و خرده فروشان مواد غذایی را به خود جذب کرده اند و چشم انداز رشد بازار جهانی آنها بسیار جدی است.

بر طبق برآورد Pira International Ltd. بازار جهانی گیرنده‌های اکسیژن ۱۲ بیلیون واحد در ژاپن، ۵۰۰ میلیون در آمریکا و ۳۰۰ میلیون در اروپای غربی در سال ۲۰۰۰ بود. همچنین پیش بینی شد این بازار تا ۱۴/۴ بیلیون در ژاپن، ۴/۵ بیلیون در آمریکا و ۵/۷ بیلیون در اروپای غربی در سال ۲۰۰۷ رشد کند. علاوه بر این شرکت بین المللی Pira تخمین زد که ارزش جهانی این بازار در سال ۲۰۰۵، ۵۸۸ میلیون دلار بوده است و پیش بینی شد که این بازار به ۹۲۴ میلیون دلار در سال ۲۰۱۰ برسد. افزایش شهرت بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات (PET) گیرنده اکسیژن، بطری‌هایی که برای آبجو و دیگر نوشیدنی‌ها در بندی می‌شوند به میزان زیادی در این رشد تاثیرگذار بودند (۷۱).

گیرنده‌های اکسیژن از لحاظ تجاری مهمترین زیر گروه بسته‌بندی فعال فرآورده‌های غذایی هستند. در جدول ۲ تولید کنندگان انتخاب شده و نام تجاری گیرنده‌های اکسیژن که شامل هم آن‌هایی که هنوز در حال توسعه می‌باشند و هم آن‌هایی که به دلیل کنترل مقررات معلق شده‌اند لیست شده است.

حضور اکسیژن در بسته‌بندی مواد غذایی دلیل اصلی محدودیت در ماندگاری محصول است. با وجود استفاده از تکنیک اتمسفر تغییر یافته و بسته‌بندی تحت خلاء این تکنیک‌ها نمی‌توانند باقیمانده اکسیژن را در بسته بطور مناسبی حذف نمایند و حدود ۰/۱ تا ۲ درصد اکسیژن در داخل خلل و فرج غذا باقی می‌ماند علاوه بر این اکسیژن ورودی از طریق بسته‌بندی نیز در این روش‌ها حذف نمی‌شود. در حضور این مقدار اکسیژن هنوز رشد میکروارگانیسم‌ها ادامه دارد. جاذب‌های اکسیژن قادر هستند میزان اکسیژن را به کمتر از ۰/۰۱ درصد کاهش دهند در این مقدار نگه دارند (۲۶، ۷۱).

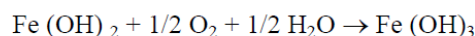
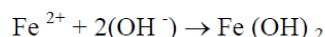
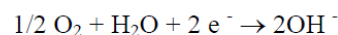
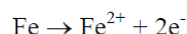
جاذب‌های اکسیژن سوبستراهایی هستند که به راحتی اکسید می‌شوند و به منظور حذف اکسیژن به وسیله واکنش‌های شیمیایی در سیستم‌های بسته‌بندی قرار می‌گیرند (۴۲).

در حال حاضر برای جذب اکسیژن از اکسایش آهن، اکسایش اسید آسکوربیک، اکسایش رنگ حساس به نور، اکسایش آنزیمی (مثل گلوکز اکسیداز به همراه کاتالاز و اتانول اکسیداز)، اسیدهای چرب غیر اشباع (مثل اسید اولئیک، اسید لینولیک و اسید لینولئیک) و مخمرهای تثبیت شده در یک بستر جامد استفاده می‌شود (۱۱۸، ۱۲۳).

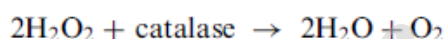
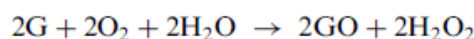
عمومی ترین سیستم‌های مورد استفاده برای جذب اکسیژن استفاده از تکنولوژی اکسایش آهن می‌باشد. تخمین زده می‌شود که یک گرم آهن می‌تواند با ۳۰۰ سی سی از اکسیژن واکنش دهد. اگر میزان اکسیژن اولیه و مقدار

<sup>5</sup> Photo-sensitive dye oxidation

اکسیژن ورودی مشخص شود، می توان با انتخاب یک جاذب مناسب از عدم حضور اکسیژن در طول نگهداری اطمینان حاصل نمود (۱۲۳).

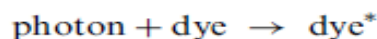


جاذب دیگر اکسیژن استفاده از آنزیم می باشد که می تواند با برخی از سوبستراها، اکسیژن ورودی را جذب نماید. ترکیبی از دو آنزیم، گلوکز اکسیداز و کاتالاز جهت حذف اکسیژن استفاده می شود. آنزیم گلوکز اکسیداز با تبدیل گلوکز (G) به گلوکونولتالاکتون، تولید پراکسید هیدروژن می نماید. چون  $\text{H}_2\text{O}_2$  یک محصول جانبی قابل توجه می باشد، کاتالاز باعث شکستن آن می شود (۲۶، ۱۲۳).



این سیستم آنزیمی چون به تغییرات pH، فعالیت آبی، محتوی نمک، دما و سایر فاکتورها بسیار حساس است در غذاهایی که حاوی آب کمتر هستند نمی تواند بطور موثر استفاده گردد (۷).

اسید آسکوربیک جاذب اکسیژن دیگری می باشد که به عنوان عامل کاهنده عمل می کند. یک فلز واسط ترجیحاً مس جهت کاتالیز واکنش اکسایش مورد استفاده قرار می گیرد. آسکوربیک اسید اغلب در واشرهای موجود در درب بطرهای حاوی آبجو و بطرهای حاوی آب میوه جهت جذب اکسیژن که از درب پلاستیکی این محصولات عبور می کند، استفاده می شود (میرزایی و محمدی، ۱۳۸۹). تکنیک جاذب اکسیژن دیگر شامل بسته‌هایی از ماریچج‌های کوچکی از یک فیلم اتیل سلولز محتوی رنگ حساس به نور و یک پذیرنده اکسیژن یگانه در هد اسپیس بسته‌بندی‌های شفاف می باشد. به علت درخشندگی فیلم در حضور نور با طول موج مناسب، مولکول‌های رنگ برانگیخته شده مولکول‌های اکسیژن را حساس می نمایند که به داخل پلیمر به حالت یگانه نفوذ می کند. این اکسیژن یگانه با پذیرنده مولکول‌ها واکنش می دهد و بنابراین مصرف می شود (۱۲۳).



جدول ۲- مروری بر نام‌های تجاری جاذب‌های اکسیژن

شکل بسته‌بندی	مکانیسم گیرندگی	نام تجاری	کشور	تولید کننده
و برچسب Sachets	بر پایه آهن	Ageless	ژاپن	Mitsubishi Gas Chemical Co. Ltd
sachets	بر پایه آهن	Freshilizer	ژاپن	Toppan Printing Co. Ltd
sachets	بر پایه آهن	Vitalon	ژاپن	Toagosei Chem. Industry Co. Ltd
sachets	بر پایه آهن	Seagul	ژاپن	Nippon Soda Co. Ltd
sachets	بر پایه آهن	Sanso-Cut	ژاپن	Finetec Co. Ltd
سینی‌های پلاستیکی	بر پایه آهن	Oxyguard	ژاپن	Toyo Seikan Kaisha Ltd.
و برچسب Sachets	بر پایه آهن	Oxyeater	ژاپن	Ueno Seiyaku Co. Ltd.
برچسب‌ها	بر پایه آهن	FreshMax FreshPax Fresh Pack ActiTUF	امریکا	Multisorb Technologies, Inc.
برچسب‌ها	بر پایه آهن		ایتالیا	M&G
برچسب‌ها	کوپلی استر PET	Shelfplus O2	سوئیس	Ciba Speciality Chemicals
فیلم، بطری و ظروف پلاستیکی	اکریلات بنزیل	N/A	امریکا	Chevron Chemicals
فیلم پلاستیکی	اسکوربات/نمک‌های فلزی	PureSeal	امریکا	W.R. Grace Co. Ltd
درب‌های بطری	اسکوربات	DarExtend	امریکا	Grace Darex Packaging
درب‌های بطری	رنگ حساس به نور/ترکیبات آلی	ZerO2	استرالیا	Food Science Australia
فیلم، بطری و ظروف پلاستیکی	اکسایش پلیمر کاتالیز شده با کبالت	Oxbar	فرانسه	CMB Technologies
بطری‌های پلاستیکی	اکسایش پلیمر کاتالیز شده با کبالت	OS2000 OS1000	امریکا	Cryovac Sealed Air Corporation
فیلم‌های پلاستیکی Sachets	بر پایه آهن	ATCO Oxycap	فرانسه	Standa Industrie
درب بطری	بر پایه آهن			
برچسب‌ها	بر پایه آهن	ATCO	انگلیس	EMCO Packaging System
برچسب‌ها	کاتالیست فلزی گروه پلاتینوم	N/A	انگلیس	Johnson Matthey Plc
sachets	بر پایه آنزیم	Bioka	فنلاند	Bioka Ltd
درب بطری	ناشناخته	O2-Displacer	انگلیس	Alcoa CSI Europe

سوپستراها معمولاً در sachet‌های (بالشتک‌های کوچک) قرار می‌گیرند که این بسته‌ها از موادی ساخته شده‌اند که نسبت به هوا نفوذپذیرند اما گاهی در درب بطری و یا ماتریکس فیلم‌های پلاستیکی هم از جاذب‌های اکسیژن استفاده می‌شود. جاذب‌ها به دو نوع تقسیم می‌شوند:

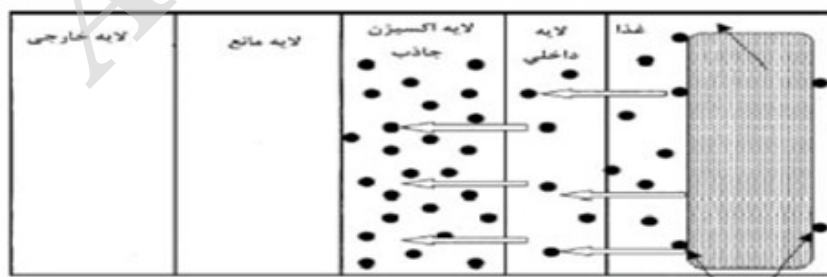
نوع خود واکنشی (واکنش همان لحظه که جاذب در معرض ماده غذایی قرار می‌گیرد شروع می‌شود)

وابسته به رطوبت (واکنش بعد از این که رطوبت از ماده غذایی جذب می‌شود اتفاق می‌افتد)

در هر دو مورد آب برای واکنش شیمیایی ضروری است. سرعت واکنش جاذب‌ها نیز متغیر است: واکنش سریع (۵/۰ تا ۱ روز)، واکنش آرام (۴ تا ۶ روز) (۴۲).

سیستم جاذب اکسیژن به صورت بالشتک اولین بار در بازار بسته بندی غذا توسط کمپانی گاز شیمیایی میتسویشی معرفی شد. نوع و مقدار جاذب مورد استفاده در یک بالشتک، وابسته به اولین سطح اکسیژن در بسته بندی، مقدار حلالیت اکسیژن موجود در غذا، قابلیت نفوذ پذیری در بسته بندی مواد، ماهیت (اندازه، شکل، وزن و غیره) و فعالیت آب در غذا می‌باشد. سیستم جاذب اکسیژن مبتنی بر فلز، توانایی جذب اکسیژن در برخی غذاهای با رطوبت بالا، متوسط یا کم و حاوی چربی را دارد. سیستم جاذب اکسیژن آنزیمی نسبت به سیستم‌های مبتنی بر فلز گرانتر هستند. سیستم‌های اکسیداسیون آنزیمی نیز نفوذپذیری بالایی در بالشتک‌ها دارند. بنابراین استفاده از این سیستم‌های مبتنی بر آنزیم محدوده گسترده‌ای دارد.

بالشتک‌های جاذب اکسیژن برای غذاهای مایع مناسب نیستند زیرا برخورد مستقیم مایع با بالشتک‌ها باعث ریختن محتوای کیسه می‌شود. به علاوه بالشتک‌ها ممکن است به طور تصادفی با غذا مصرف شده یا توسط بچه‌ها خورده شوند. فروش بالشتک‌های جاذب اکسیژن در ایالات متحده نیازمند داشتن برچسب "آشامیدنی نیست" می‌باشد. تلفیقی از جاذب‌ها در غشای بسته بندی راه بهتری جهت حل مشکل مصرف بالشتک‌ها است. جاذب‌ها ممکن است هر کدام جداسازی شده در یک جامد، پراکنده در پلاستیک یا به صورت معمولی در لایه‌های گوناگون بسته بندی باشند که شامل لاک و الکل چسبنده یا لعاب لایه‌ها هستند. جاذب اکسیژن چند لایه اثر بیشتری در جذب اکسیژن نسبت به سیستم‌های جاذب یک لایه دارند. تلفیقی از سیستم جاذب اکسیژن چند لایه در شکل یک نشان داده شده است (۱۴۲).



شکل ۱- فیلم بسته‌بندی چند لایه فعال حاوی گیرنده اکسیژن

مشکل دفع اکسیژن اولیه موجود در بسته‌بندی که منجر به نیاز به وجود گیرنده‌های اکسیژن گردیده است به دو دسته تقسیم می‌گردد. در مرحله اول اکسیژن موجود در فضای سر بسته و اکسیژن محلول در زمان بسته‌بندی در اکثر

بسته‌های مواد غذایی و نوشیدنی‌ها است. دفع مقداری یا همه این اکسیژن جهت جلوگیری از فرآیندهای تخریبی که در چنین مواد غذایی رخ می‌دهد لازم است. به این منظور به‌گیرنده‌های اکسیژنی که در فضای سر قوطی قرار بگیرند نیاز است. در وهله دوم اکسیژنی که از طریق نفوذ یا نشت بعد از دربندی وارد بسته می‌شود ترجیحاً قبل از تماس با ماده غذایی باید دفع گردد. گیرنده اکسیژن مورد نیاز در این مورد یک مانع شیمیایی تقویت یافته است. ترکیب پلیمری گیرنده فضای سر قوطی  $\text{Protoype ZerO}_2$  که هر دو این نیازها را پوشش می‌دهد از پلیمرهای تجاری با درجه غذایی سنتز شده و داخل فیلم اکستروژن شده است. گیرندگی اکسیژن از فاز گازی در مدت چند دقیقه در دماهای بالا و چندین ساعت تا یک یا دو روز در دمای اتاق می‌تواند انجام شود (۷۱).

نوشیدنی‌ها به ویژه به دلیل اکسایش یا در برخی موارد به دلیل رشد میکروبی مستعد تجزیه کیفی هستند. بسته به توزیع این دسته از مواد غذایی گاهی به زمان‌های ماندگاری تا بیش از یک سال در شرایط معمولی نیاز است که منجر به نیاز به وجود یک مانع اکسیژن تقویت یافته برای پلاستیک‌ها می‌شود.

پنیر و گوشت‌های فرآوری شده مثال‌هایی از مواد غذایی سرد هستند که به طور طبیعی تحت اتمسفر تغییر یافته بسته‌بندی می‌شوند. اکسیژن فضای سر بسته است که دوره انبارداری این فرآورده را محدود می‌کند.

پنیر به طور طبیعی نیاز به حضور دی اکسید کربن و همچنین مقادیر اکسیژن زیر یک درصد دارد. نتایج بسته‌بندی در لمینت‌ها با و بدون لایه  $\text{ZerO}_2$  نشان داده اند که قارچ‌های مولد فساد رایج می‌توانند به طور کامل با کمی یا بدون دی اکسید کربن بازداشته شوند.

همچنین هنگامی که لمینت بسته‌بندی غلظت اکسیژن اولیه را از ۴ درصد تا مقادیر خیلی کم کاهش می‌دهد، از تغییر رنگ گوشت ران تکه شده و دود داده شده می‌تواند تحت شرایط نور، کابینت سرد جلوگیری شود.

توسعه پلیمرهای  $\text{ZerO}_2$  با ویژگی‌های ممانعتی شیشه مانند، در بازداری دامنه وسیع از فرآیندهای تخریبی ماده غذایی با دخالت اکسیژن مورد توجه واقع شده اند. مثال‌های مطالعه شده توضیح داده اند که برخی واکنش‌های تخریبی اکسایشی سریع می‌توانند با موفقیت باز داشته شوند. این احتمال وجود خواهد داشت که استفاده از چنین مواد بسته‌بندی گیرنده اکسیژن بر تمایل مشتری به ظروف پلاستیکی برای بسته‌بندی نوشیدنی‌های حساس به اکسیژن مانند آبجو، شراب و آبمیوه‌ها بجای شیشه و فلز تاثیر بگذارد (۷۱).

## ۲-۹- روش‌های گنجاندن ماده فعال در سیستم بسته بندی

### ۲-۹-۱- وارد کردن ماده فعال در فیلم از راه افزودن آن به دستگاه اکسترودر

هنگامی که فیلم کواکستروژن شده تولید می‌شود از این روش استفاده می‌گردد. این روش از لحاظ اقتصادی چندان مقرون به صرفه نیست زیرا ماده فعال در سطح فیلم قرار ندارد و به منظور فعالیت به طور کامل در دسترس نیست. در عین حال دمای بالا و برش لازم جهت فرآوری اکستروژن می‌تواند باعث تخریب افزودنی فعال گردد (۱۳۳).

## ۲-۹-۲- کاربرد افزودنی فعال در محیط به صورت کنترل شده

روش جایگزین فرآوری اکستروژن که عبارتست از کاربرد افزودنی فعال در محیط به صورت کنترل شده به گونه‌ای که به طور کامل مورد استفاده قرار گیرد و از دست نرود. برای نمونه می‌توان آن را در لایه‌ای که در تماس با ماده غذایی در بسته بندی چند لایه که معمولاً به عنوان لایه دربندی یا دوخت حرارتی داخلی هم به کار می‌رود قرار داد. این روش دارای این مزیت است که افزودنی فعال به صورت کنترل شده آزاد شده و در معرض دماهای بالا یا نیروهای برشی طی فرآوری اکستروژن قرار نمی‌گیرد. همچنین پوشش می‌تواند در مرحله بعد امکان مجاورت فرآورده را با عوامل آلاینده به کمترین اندازه برساند. پوشش می‌تواند به عنوان حامل ترکیب‌های ضد میکروب عمل کند که به نوبه خود می‌تواند غلظت نگهدارنده را در سطح ماده غذایی در حد بالا حفظ کند (۱۳۳).

فعالیت طبیعی بر مبنای انتقال یا آزاد شدن ماده فعال از راه تبخیر به فضای درون بسته بندی است. در مورد سیستم‌هایی که از عوامل غیرفعال استفاده می‌کنند و فعالیت طبیعی بر اساس انتقال ترکیب‌های فعال به ماده غذایی است می‌توان به رزین‌های نقره به صورت استخلافی اشاره کرد که در ژاپن مورد استفاده قرار گرفته است. در این رزین‌ها برخی از اتم‌های سطحی با نقره جایگزین شده‌اند. رزین به صورت غشایی با ضخامت ۶ میکرومتر روی سطح پلیمر لامینیت شده قرار دارد که با ماده غذایی تماس پیدا می‌کند و به واسطه آزاد کردن یون‌های نقره به صورت محلول آبی از ماده غذایی در مجاور حفرات موجود در ساختار متخلخل قرار گرفته و در برابر محدوده گسترده‌ای از آنزیم‌های متابولیکی از اثر ضد میکروبی برخوردار است. میزان نقره موجود در پوشش AgIon® کمتر از ۰/۰۰۱ درصد است. باکتریوسین می‌تواند به صورت جذب شده بر سطح پلیمر یا به صورت پوششی روی آن به کار رود. برای نمونه می‌توان به پوشش‌های حاوی مخلوط متیل سلولز/ نایسین (نایسین برای فیلم‌های پلی اتیلن و پوشش‌های نایسین برای ماکیان) بر مبنای جذب به پلی اتیلن، اتیلن وینیل استات، پلی پروپیلن، پلی آمید، پلی استر آکریلیک و پلی وینیلیدین کلراید اشاره نمود. مینگ و همکاران (۱۹۹۷) باکتریوسین‌ها را روی سطح داخلی کیسه‌های پلاستیکی مورد استفاده در بسته بندی تحت خلاء به کار برده و نتیجه گرفتند پوشش‌های دارای نایسین و پدیوسین می‌توانند رشد لاکتوباسیلوس مونوسی‌توزن را در گوشت بوقلمون و گوساله نگهداری شده در دمای یخچال مهار کنند (۹۸).

بنابر پژوهش‌های انجام شده چند نکته باید در ارتباط با بسته‌بندی فعال در نظر گرفته شود که عبارتند از: ماهیت فیلم یا پوشش از لحاظ ثبات گرمایی، ویژگی‌های ترکیب فعال و واکنش آن با مواد تشکیل دهنده ماده غذایی، دمای نگهداری از لحاظ تاثیر آن بر فعالیت ماده، ضریب انتقال جرم ماده بسته بندی به دلیل تاثیر آن بر انتقال و سرعت آزاد شدن ماده فعال از فیلم و خواص فیزیکی ماده بسته بندی که ممکن است تحت تاثیر ماده فعال قرار گیرد (۱۳۳).

## ۲-۱۰-۲- پلیمرها

پلیمر مولکول بزرگی است که از تعداد زیادی مولکول‌های کوچک‌تر ساخته شده است. این مولکول‌های بزرگ ممکن است خطی، نسبتاً شاخه دار یا دارای اتصالات داخلی متعددی باشند. در صورت وجود اتصالات داخلی شبکه‌ای بزرگ و سه بعدی ایجاد خواهد شد. مولکول‌های کوچکی که به عنوان قطعات سازنده این مولکول‌های بزرگ به کار

می روند، مونومر نامیده می‌شوند. واحدهای تکرار شونده در پلیمر نشان دهنده مونومری است که پلیمر از آن ساخته شده است.

اندازه یک مولکول پلیمر می‌تواند بر حسب جرم آن یا تعداد واحدهای تکرار شده در مولکول به دست آید. تعداد این واحدها درجه پلیمریزاسیون (degree of polymerization) نامیده می‌شود. بنابراین جرم مولی نسبی پلیمر از حاصلضرب جرم مولی نسبی واحد تکرار شونده در DP به دست می‌آید (۲۹).

روش‌های مختلفی برای طبقه بندی پلیمرها وجود دارد. یکی از آن‌ها بررسی رفتار در برابر حرارت است و طبق این بررسی می‌توان آن‌ها را به دو دسته ترموپلاست و ترموست طبقه بندی نمود. ترموپلاست‌ها پلیمرهایی هستند که هنگام حرارت‌دهی ذوب شده و هنگام سرد کردن جامد می‌شوند. در حالی که ترموست‌ها پلیمرهایی هستند که هنگام حرارت‌دهی ذوب نشده و در دماهای بسیار بالا به صورت برگشت ناپذیر تجزیه می‌گردند. مزیت این روش طبقه بندی ایجاد تمایز بین دو گروه از مواد شیمیایی است. ترموپلاست‌ها مولکول‌های خطی یا شاخه‌های کم می‌باشند ولی ترموست‌ها ترکیباتی با اتصالات عرضی و شبکه سه بعدی گسترده از پیوندهای شیمیایی کوالانسی هستند (۲۹).

## ۲-۱۰-۱- انواع پلیمرها

### ۲-۱۰-۱-۱- پلی اتیلن

این پلیمر ساده ترین ساختار مولکولی  $[\text{CH}_2\text{CH}_2]_n$  را دارد و در حال حاضر پرمصرف‌ترین ماده پلاستیکی در دنیاست. این ماده اولین بار در سال ۱۹۳۹ به عنوان عایق الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت. نام ایوپاک مونومر آن بر خلاف آن چه که در گذشته اتیلن ذکر شده، اتن می‌باشد. بنابراین نام ایوپاک این پلیمر پلی اتن است اما معمولاً با نام متداول خود یعنی پلی اتیلن به کار می‌رود.

به طور کلی پلی اتیلن‌ها دارای مزایای ذیل می‌باشند: قیمت پایین؛ خواص الکتریکی مطلوب؛ مقاومت شیمیایی بالا؛ شفافیت مناسب در فیلم‌های نازک؛ بدون بوی زننده و سمیت و نفوذ ناپذیری خوب در برابر آب در هنگام استفاده در بسته‌بندی و در کاربردهای کشاورزی و ساختمانی.

معایب کلی آن‌ها نیز به شرح ذیل است: مورد اکسایش قرار می‌گیرد؛ در حالت توده، کدر می‌شود؛ ظاهر شبیه به پارافین دارد و مقاومت کم در مقابل خراشیدن (۲۹).

مهم‌ترین ویژگی‌های ذاتی پلی اتیلن‌های تجاری برای کاربردهای اصلی عبارتند از: چگالی، MFI یا نمایه مذاب و توزیع وزن مولکولی که در ذیل هر یک به اختصار توضیح داده می‌شود.

## الف- چگالی

چگالی انواع پلی اتیلن‌ها در محدوده ۰/۹۱ تا ۰/۹۶۵ دارد و علت این که آن را تا سه رقم اعشار ذکر می‌کنند این است که ۰/۰۰۳ واحد تغییر در چگالی باعث تغییر قابل توجه‌ای در ویژگی‌های آن می‌شود. به طور کلی با افزایش چگالی، خطی بودن، سفتی، استحکام کششی، استحکام پارگی، دمای نرم شدن، شکنندگی، عمر خمشی و تمایل به



ترک برداشتن افزایش می‌یابد. پلی‌اتیلن‌ها بسته به چگالی، به چهار گونه اصلی به نام‌های پلی‌اتیلن با چگالی زیاد (HDPE)، پلی‌اتیلن با چگالی کم (LDPE)، پلی‌اتیلن با چگالی کم خطی (LLDPE) و پلی‌اتیلن با چگالی متوسط (MDPE) تقسیم می‌شوند.

### ب- نمایه مذاب یا شاخص جریان مذاب<sup>۶</sup>

کاربردی‌ترین نشانه ارتباط دهنده ویژگی‌های پلی‌اتیلن به متوسط وزن مولکولی است. نمایه مذاب وزن (گرم) پلی‌اتیلنی است که در عرض ده دقیقه از میان یک روزنه ثابت در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد بیرون می‌آید، و این در حالی است که وزنه استاندارد روی پیستون محفظه رانش که حاوی مقداری پلی‌اتیلن است، قرار دارد. نمایه مذاب تا حدودی (اما نه دقیق) نسبت معکوس با گرانروی مذاب دارد. بنابر این با افزایش وزن مولکولی متوسط، کاهش می‌یابد. نمایه مذاب بیشتر، نشان دهنده روانی بیشتر در دماهای فرایند است. این نماد در اصل برای نشان دادن ویژگی‌های سیلانی (روانی) به عنوان معیاری از قابلیت اکستروژن شدن است. به طور کلی با افزایش نمایه مذاب، استحکام کششی، مقاومت پارگی و دمای نرم شدن پلی‌اتیلن کاهش می‌یابد.

### ج- توزیع وزن مولکولی

توزیع وزن مولکولی (Mw/Mn) نیز اثر بارزی روی ویژگی‌های آن دارد. با افزایش نسبت Mw/Mn استحکام کششی، دمای نرم شدن و چقرمگی کاهش می‌یابد و شکنندگی و تمایل به ترک برداشتن افزایش می‌یابد.

### انواع پلی‌اتیلن

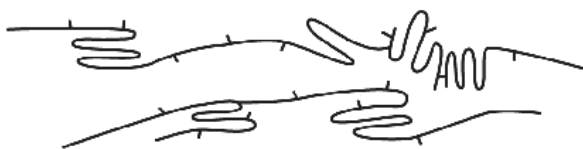
ضمن انجام واکنش پلیمریزاسیون، تعدادی شاخه جانبی نیز در طول زنجیره اصلی ایجاد می‌شود که تفاوت تعداد و طول این زنجیره‌های جانبی باعث به وجود آمدن چند نوع پلی‌اتیلن می‌شود که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

#### الف- پلی‌اتیلن با تراکم بالا<sup>۷</sup> (پلی‌اتیلن سنگین یا پلی‌اتیلن نرم)

هرگاه طی فرآیند پلیمریزاسیون پلی‌اتیلن تعداد زنجیره‌های جانبی کم و طول آن‌ها کوتاه باشد (بین ۲ تا ۴ اتم) امکان نزدیک شدن زنجیره‌های اصلی به یکدیگر و تشکیل ساختار بلوری (با سرد شدن مذاب پلی‌اتیلن) به وجود می‌آید که به این نوع پلی‌اتیلن، HDPE می‌گویند (شکل دو)؛ بلورینگی این پلیمر ۸۰ تا ۹۵ درصد است و چگالی این محصول بالای ۰/۹۴۱ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. از مهم‌ترین ویژگی‌های HDPE که سبب کاربرد وسیع آن شده است می‌توان به هزینه پائین تولید، فرآیند پذیری آسان و نفوذ ناپذیری خوب در برابر رطوبت اشاره کرد. این پلیمر در تهیه ظروف خانگی، اسباب بازی، لوازم پزشکی، فیلم‌ها و ظروف بسته‌بندی، بطری‌های قالب گیری شده دمشی و انواع قالب گیری تزریقی کاربرد دارد.

<sup>۶</sup> Melt Flow Index (MFI)

<sup>۷</sup> High Density Polyethylene (HDPE)



HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)

شکل ۲- شمای ساختمان فضایی پلی اتیلن با تراکم بالا

### ب- پلی اتیلن با تراکم پایین<sup>۸</sup> (پلی اتیلن سبک یا پلی اتیلن چقرمه):

هرگاه در طی فرآیند پلیمریزاسیون پلی اتیلن تعداد زنجیره‌های جانبی زیاد و طول آن‌ها متوسط و بلند باشد، امکان نزدیک شدن زنجیره‌های اصلی به یکدیگر کاهش می‌یابد و بی‌نظمی آن‌ها (با سرد شدن مذاب پلی اتیلن) افزایش می‌یابد که به این نوع پلی اتیلن، LDPE می‌گویند (شکل سه)؛ بلورینگی این پلیمر ۵۰ تا ۷۰ درصد است و چگالی این محصول بین ۰/۹۱۰ تا ۰/۹۲۵ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. چون این پلیمر در فشار و درجه حرارت پایین تهیه می‌گردد با صرفه‌تر بوده و هزینه تولید کمتری دارد. این پلیمر در درجه حرارت ۱۳۰ درجه سانتیگراد ذوب می‌شود.

حدود نیمی از LDPE و LLDPE مصرفی در بسته‌بندی به صورت انواع فیلم که به دو روش دمشی و اکستروژن تولید می‌شوند، مصرف می‌شود. همچنین در ساخت انواع ظروف خانگی و بهداشتی مثل: سطل، زنبیل، جعبه‌های حمل و نقل، انواع اسباب بازی و انواع لوازم پزشکی و صنعتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دیگر کاربردهای LDPE می‌توان به انواع قالب گیری‌های تزریقی و دمشی برای تولید قطعات و ظروفی که نیاز به نرمی و انعطاف پذیری بالا دارند و همچنین مواردی که ظرف تحت فشار است نام برد.



LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)

شکل ۳- شمای ساختمان فضایی پلی اتیلن با تراکم پایین

### ج- پلی اتیلن سبک خطی<sup>۹</sup>

هرگاه طی فرآیند پلیمریزاسیون پلی اتیلن تعداد زنجیره‌های جانبی زیاد و طول آنها کوتاه باشد، پلیمر حاصل شده خواصی بین LDPE و HDPE (خواص به LDPE نزدیک تر است) را دارا می‌باشد که به آن LLDPE می‌گویند (شکل چهار)؛ بلورینگی این پلیمر ۵۰ تا ۷۰ درصد است و چگالی این محصول تقریباً در محدوده چگالی LDPE (یعنی ۰/۹۱۰ تا ۰/۹۳۰) می‌باشد.

<sup>8</sup> Low Density Polyethylene (LDPE)

<sup>9</sup> Linear Low Density Polyethulene (LLDPE)

تفاوت LDPE و LLDPE در این است که خواص خانواده LDPE مانند استحکام پارگی، مقاومت ضربه، کشش و انعطاف پذیری با افزایش چگالی کاهش می یابد (هرگاه تعداد و طول زنجیره‌های جانبی کاهش پیدا کند این امر سبب نزدیک شدن زنجیره‌های اصلی به هم و کاهش بی نظمی و افزایش بلورینگی و در نتیجه افزایش چگالی می‌شود). به عنوان مثال بین سختی و چگالی رابطه مستقیم وجود دارد یعنی با افزایش چگالی، سختی نیز افزایش می یابد، همچنین مقاومت پائین LDPE در برابر روغن با افزایش چگالی بهبود می یابد. فیلم پلی اتیلن به تنهایی نمی تواند خلاء را نگه دارد زیرا مقاومت آن در برابر نفوذ گازها کم است و این مشکل نیز در LLDPE با نزدیک شدن زنجیره‌های اصلی به هم کمتر دیده می‌شود. محدودیت‌های دیگر LDPE نظیر مقاومت خراش پائین، نفوذ بو بالا، جذب گرد و غبار (استاتیک) و مقاومت کم در برابر روغن‌ها نیز در LLDPE کمی بهبود می یابد. از مهم ترین کاربردهای LLDPE فیلم‌های استرچ است که برای نگهداری بارها در حمل و نقل استفاده می‌شود. (اتیلن وینیل استات EVA نیز یکی دیگر از مواد لفاف پیچی پرمصرف است). همچنین فیلم‌های شرینگ نیز برای لفاف پیچی کلی محصولات و یا نگهداری چند واحد با یکدیگر برای حمل و نقل استفاده می‌شوند.



LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE (LLDPE)

شکل ۴- شمای ساختمان فضایی پلی اتیلن سبک خطی

#### د- پلی اتیلن با دانسیته متوسط<sup>۱۰</sup>

MDPE در تولید لوله‌های پلاستیکی و اتصالات لوله کشی استفاده می‌شود.

#### ه- پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا<sup>۱۱</sup>

این پلیمر با وزن مولکولی ۳ تا ۶ میلیون، با استفاده از پلیمریزاسیون کاتالیزور متالوسن تهیه می‌شود. UHMWPE برای ساخت فیبرهای (الیاف) بسیار قوی برای جابجایی کولار، برای استفاده در جلیقه‌های ضد گلوله به کار می رود همچنین ورقه‌های بزرگ این پلیمر، به جای یخ برای زمین‌های یخی اسکیت وهاکی روی یخ استفاده می‌شود.

انواع دیگر پلی اتیلن شامل HDXLPE، VLDPE، XPE می‌شوند.

#### ۲-۱-۱۰-۲- پلی پروپیلن

پس از آزمایشاتی که ناتا روی کاتالیزورهای لازم برای تهیه پلیمرهایی با جرم مولی نسبی بالا از آلکن‌ها انجام داد، پلی پروپیلن که دارای ساختار  $[-CH_2CH(CH_3)-]_n$  است، به عنوان یک ماده صنعتی شناخته شد. این پلیمر در سال ۱۹۵۷ برای اولین بار وارد بازار شد.

<sup>10</sup> Medium Density Polyethylene (MDPE)

<sup>11</sup> Ultra High Molecular Weight Polyethylene (HMWPE)

نام ایوپاک آن پلی پروپن می باشد. هنگامی که برای اولین بار پلی پروپیلن ساخته شد، به دو نوع مختلف به دست آمد. یکی از آن ها به پلی اتیلن شبیه بود ولی سختی بیشتری داشت. نوع دیگر آمورف بود و از مقاومت کمتری برخوردار بود. امروزه مشخص شده که نوع اول ایزوتاکتیک است و هر اتم کربن آن دارای استریوشیمی و یا ساختار شیمیایی فضایی منظمی است. نوع دیگر آتاکتیک است و هر اتم کربن دارای گروه متیل بوده و استریوشیمی متفاوت و اتفاقی را نشان می دهد.

پلی پروپیلن صنعتی معمولاً ۹۰ تا ۹۵ درصد ایزوتاکتیک بوده و به پلی اتیلن شباهت زیادی دارد با این تفاوت که:

- دارای دانسیته کمتری است (۰/۹۰ گرم بر سانتیمتر مکعب)؛
  - دارای نقطه ذوب بالاتری بوده و می تواند در دماهای بالا مورد استفاده قرار گیرد؛
  - به آسانی اکسید می شود چون در آن پیوندهای C-H نوع سوم وجود دارد که شکستن آن نسبتاً آسان است؛
  - در برابر عوامل زیست محیطی مقاوم نیست.
- از پلیمرهای دیگر می توان به پلی متیل متاکریلات، پلی استایرن، پلی وینیل کلراید، نایلون ها، پلی تترافلوروئتیلن، رزین های اپوکسی و غیره اشاره کرد که بسته و ساختار و ویژگی های شیمیایی و فیزیکی کاربردهای متفاوتی دارند (۲۹).

## ۲-۱۱- اکستروژن در صنعت پلیمر

یکی از متداول ترین و مقرون به صرفه ترین روش های شکل دهی پلیمرها استفاده از اکسترودر می باشد. اکسترودر قلب تمامی فرایندهای اکستروژن است. این ماشین دارای مارپیچی است که حرکت خود را از یک موتور و یک گیربکس می گیرد و در سیلندری که به وسیله گرمکن ها (المنت های حرارتی) گرم می شود حرکت می کند و مواد اولیه پلیمری از قیف به داخل دستگاه ریخته می شود، بعد از ذوب شدن مواد با فشار از درون فرم قالب (Die) عبور کرده و به مرور که سرد شد شکل فرم قالب (دای) را به خود می گیرد. این فصل شمایی کلی از اکسترودر و عملکرد آن ارائه می دهد. کیفیت محصول نهایی و راندمان تولید وابستگی زیادی به عملکرد اکسترودر دارد. با استفاده از دستگاه اکسترودر در صنعت پلیمر می توان انواع لوله ها و پروفیل ها، شیلنگ ها، نی های آشامیدنی، سیم و کابل، الیاف و نخ ها، انواع فیلم و نایلکس و ورق و بسیاری چیزهای دیگر را تولید کرد.

از اکسترودر در صنایع گوناگون استفاده های زیادی می شود به عنوان مثال می توان به تولید میله گرد و لوله و پروفیل های فلزی، در صنایع غذایی می توان به ماکارونی و آدامس و ... ، سرامیک و بتن اشاره کرد.

## ۲-۱۱-۱- سیستم سخت افزاری اکسترودر

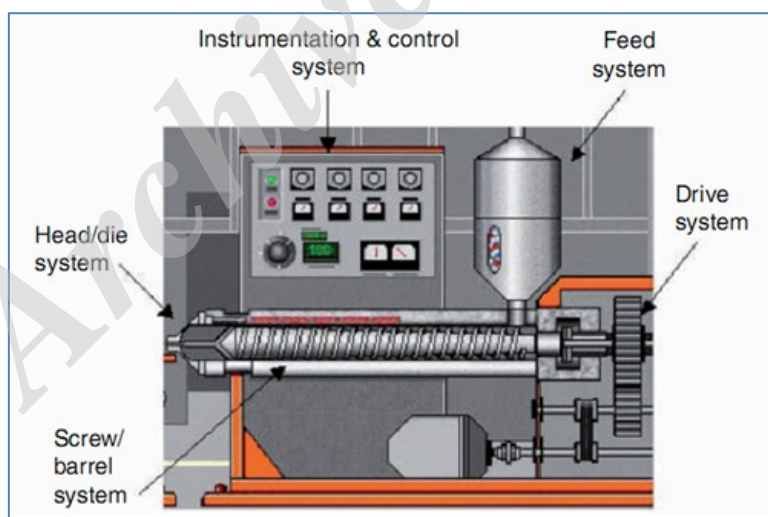
هدف اکسترودر خوراک دهی مواد به صورت یکنواخت در دما و فشار ثابت به درون دای می باشد. این تعریف سه وظیفه اصلی که بایستی توسط اکسترودر انجام پذیرد را مشخص می کند. اولاً بایستی مواد را به صورت یکنواخت درآورد. ثانیاً مواد ورودی به دای بایستی حداقل تغییرات دمایی را نسبت به زمان و مکان در جریان مذاب داشته باشد.

ثالثاً بایستی حداقل تغییرات فشار مذاب با زمان را داشته باشیم. مهم است که طراحی و عملکرد یک سیستم اکستروژن این سه هدف را برای تولید محصولی با کیفیت پوشش دهد (۲۹).

اکسترودرها عموماً توسط قطر ماریچ دسته بندی و ارزیابی می‌شوند. اکسترودرهای تولیدی نوعاً در اندازه ۲ تا ۶ اینچی (۵۰ تا ۱۵۰ میلیمتر) می‌باشند. پارامتر کمی اساسی که توسط قطر اکسترودر تعیین می‌گردد، حداکثر ظرفیت (برحسب واحد پوند بر ساعت و یا کیلوگرم بر ساعت) است. حداکثر ظرفیت با توان سوم قطر ماریچ رابطه دارد و وابسته به حجم موجود درون اکسترودر می‌باشد. برای یک پلیمر خاص، یک اکسترودر ۲ اینچی می‌تواند ماکزیمم ظرفیت ۱۰۰ پوند بر ساعت داشته باشد، درحالی که یک اکسترودر ۴ اینچی ماکزیمم ظرفیت ۸۰۰ پوند بر ساعت خواهد داشت. بنابراین، ضروریات سیستم مانند ظرفیت مواد، اندازه موتور، میزان سرمایه‌اش و فضای مورد نیاز به سرعت با افزایش اندازه ماریچ افزایش می‌یابد.

اجزاء سخت افزاری اکسترودر را می‌توان در پنج بخش دسته بندی کرد (شکل پنج):

- سیستم محرکه و انتقال نیرو
- سیستم خوراک دهی
- سیستم ماریچ/ماردون
- سیستم دای
- سیستم تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل (۲۹).

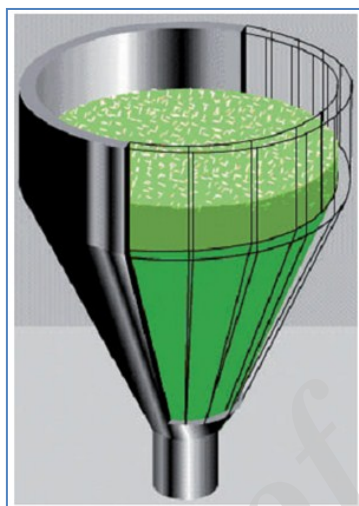


شکل ۵- پنج بخش سخت افزاری اکسترودر

## ۲-۱۱-۱- سیستم خوراک‌دهی

سیستم خوراک‌دهی مواد جامد را دریافت کرده و به اکسترودر منتقل می‌کند. اجزاء اصلی محفظه خوراک دستگاه و گلوبی خوراک‌دهی است. یک سیستم جابجایی مواد (شامل مخزن مواد و سیستم مکش جهت انتقال) می‌تواند مواد خام را به محفظه خوراک دستگاه منتقل کند.

محفظه خوراک دستگاه (شکل شش) مواد جامد را پیش از ورود آنها به ماردون نگه می‌دارد. گاهی اوقات یک خشک‌کن به محفظه اضافه می‌گردد. شکل محفظه بایستی به گونه‌ای طراحی شود تا از گیرکردن مواد درون آن (در هنگام ورود مواد به گلوبی خوراک‌دهی) جلوگیری شود. به صورت عمومی، محفظه بایستی مدور باشد و اصطکاک با مواد خوراک حداقل گردد (۲۹).



شکل ۶- نمای اجزاء قیف پر شده با مواد پلاستیکی

گلوبی خوراک‌دهی در واقع، جزء پیش از ماردون است که زیر محفظه خوراک‌دهی قرار دارد. معمولاً درون آن بوسیله سیستم خنک کننده سرد نگه داشته می‌شود. علت آن جلوگیری از چسبندگی پیش از هنگام ذرات جامد به یکدیگر در این ناحیه است. در صورتی که ذرات جامد در پایین محفظه خوراک‌دهی به یکدیگر بچسبند، جریان مواد به درون ماردون را سد می‌کنند.

در برخی از موارد، بر روی سطح درونی گلوبی خوراک‌دهی شیارهایی ماشینی کاری می‌شود. هدف از این شیارها، افزایش نرخ خوراک‌دهی به درون ماردون است.

## ۲-۱۱-۱-۲- سیستم ماریچ / ماردون

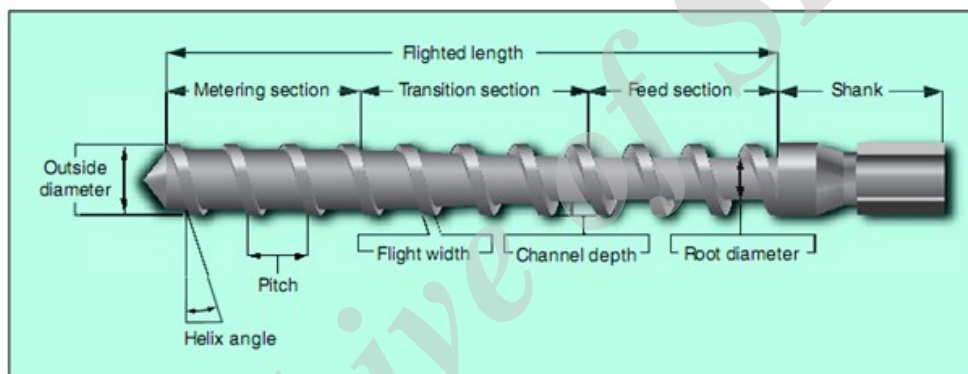
سیستم ماریچ / ماردون (شکل هفت) قلب عملیات نامیده می‌شود. این سیستم نه تنها باعث ذوب پلیمر جامد و پمپ شدن آن به درون دای می‌شود، بلکه مذابی یکنواخت و با دما و فشار ثابت آماده می‌سازد. هر انحرافی در ترکیب درصد یا نوسانات دمایی یا فشار منجر به تغییرات در محصول نهایی می‌گردد.



شکل ۷- ماریچ اکسترودر داخل ماردون

### ۲-۱۱-۱-۳- ماریچ

ماریچ (شکل هشت) یک میله استوانه‌ای طویل دندانه‌هایی به صورت ماریچی اطراف آن ایجاد شده است. بین بخش‌های مجاور دندانه‌ها کانال قرار دارد. طراحی‌های مختلفی برای ماریچ‌ها وجود دارد، اما بیشتر ماریچ‌ها اصولاً دارای سه بخش هستند: خوراک‌دهی، انتقال (یا فشرده‌سازی) و ناحیه اندازه‌گیری. عمق کانال (یک متغیر مهم در فشرده‌سازی توسط ماریچ) عموماً در بخش خوراک‌دهی ثابت و بیشترین مقدار است، و در بخش اندازه‌گیری نیز ثابت و کوچک‌ترین مقدار است. عمق کانال در طول ناحیه انتقال کاهش می‌یابد (۲۹).



شکل ۸- یک ماریچ اکسترودر

میزان فشرده‌سازی توسط ماریچ با نسبت فشرده‌سازی به صورت کمی بیان می‌گردد:

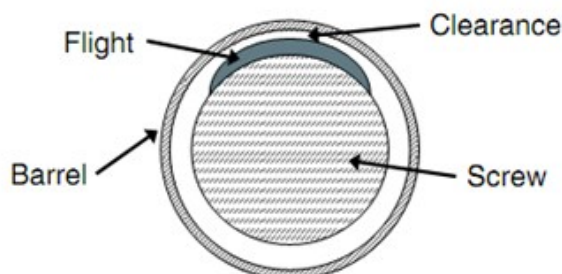
$$\text{عمق ناحیه اندازه‌گیری} / \text{عمق کانال خوراک‌دهی} = \text{نسبت فشرده‌سازی}$$

نسبت فشرده‌سازی در بازه ۲:۱ تا ۴:۱، با توجه به نوع پلیمر و دانسیته توده مواد خوراک می‌باشد. مشخصه مهم هندسی ماریچ نسبت طول به قطر ( $L/D$ ) می‌باشد:

$$\text{قطر ماریچ} / \text{طول ناحیه دندانه‌دار ماریچ} = \text{نسبت } L/D$$

نسبت طول به قطر در بازه ۱۸:۱ تا ۳۲:۱ می‌باشد و معمول‌ترین مقدار ۲۴:۱ است. نسبت طول به قطر بر مبنای تعداد عملیاتی است که ماریچ انجام می‌دهد. برای مثال، نسبت ۲۴:۱ برای سه عملیات استاندارد عادی است: انتقال گرانول‌های پلیمر، ذوب کردن و پمپ کردن (تولید فشار برای ورود مواد به دای). عملیات کمتر به ماریچ کوتاه‌تری نیاز خواهد داشت و عملیات بیشتر مانند مخلوط کردن، حذف گاز، نیاز به ماریچ طولانی‌تری خواهد داشت.

مارپیچ با دقت درون ماردون قرار می‌گیرد. لقی، فاصله بین نوک دندان تا دیواره ماردون، معمولاً  $0/1$  درصد قطر مارپیچ است (شکل نه). بنابراین یک مارپیچ با قطر  $4$  اینچ دارای لقی  $0/04$  اینچ می‌باشد. لقی کمتر از این مقدار منجر به سایش بیش از اندازه نوک دندانها می‌گردد، درحالی که مقادیر بالاتر لقی ظرفیت ذوب و پمپ کردن مارپیچ را کاهش می‌دهند.



شکل ۹- لقی بین شیار و دیواره ماردون

مارپیچها معمولاً از فولاد  $4140$  ساخته می‌شوند. برای پلیمرهای خاص، مخصوصاً پلیمرهایی که نیاز به دمای بالا داشته و یا خوردگی زیادی دارند، آلیاژهای فلزی ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. به علاوه، سخت کاری نوک دندانها یا پوشش کل مارپیچ با یک سخت کننده می‌تواند عمر مارپیچ را افزایش دهد.

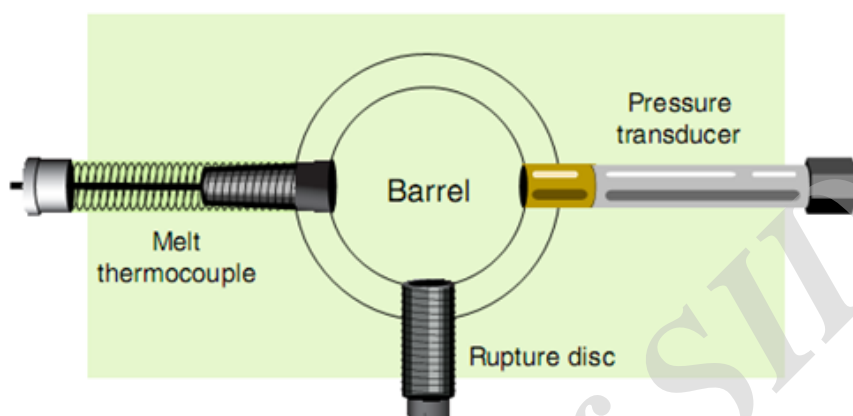
مارپیچها می‌توانند جهت انتقال حرارت از طریق سطح مارپیچ دارای هسته توخالی باشند. این مساله از این جهت می‌تواند سودمند باشد که  $50$  درصد مساحت سطح در تماس با پلیمر مربوط به مارپیچ می‌باشد. از آن جا که ایجاد اتصالات در انتهای مارپیچ برای سیال انتقال دهنده حرارت و یا گرمکن‌های الکتریکی پیچیده است، بیشتر مارپیچها خنثی هستند، به این معنی که هیچ سیستم گرمایش یا سرمایشی در آنها استفاده نمی‌شود (۲۹).

## ۲-۱۱-۱-۴- ماردون

ماردون یک استوانه توخالی است که از گلولی خوراک‌دهی تا نوک مارپیچ گسترده شده است. انتهای خروجی ماردون با عنوان هد (Head) نامیده می‌شود. تمامی سطح داخلی ماردون توسط مواد آستری خیلی سخت پوشش داده می‌شود، مانند آلیاژ تنگستن-کاربید. این آستری عمر ماردون را با کاهش سایش، افزایش می‌دهد. جایگزین کردن ماردون هزینه زیادی داشته و زمان بر نیز می‌باشد. برای به حداقل رساندن سایش بر روی ماردون و مارپیچ، مهم است که ماردون با مارپیچ و سیستم نیروی محرکه به طور صحیح تنظیم شده باشد. نواحی کنترل دمایی در طول ماردون قرار گرفته‌اند. تعداد نواحی وابسته به طول ماردون می‌باشد. هر ناحیه تقریباً چهار تا پنج برابر قطر مارپیچ، از طول ماردون را کنترل می‌کند (به عنوان مثال برای یک مارپیچ  $3$  اینچی، حدود  $12$  تا  $15$  اینچ). گرمکن‌های آلومینیوم ریخته‌گری در بسیاری از کاربردها استفاده می‌شوند، اما سیستم‌های با دمای بالا نیازمند گرمکن‌های سرامیکی هستند. استفاده از سیستم سرمایش در نواحی ماردون تکنیکی متداول است. دمنده‌های سرمایش یا سیال انتقال حرارت ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

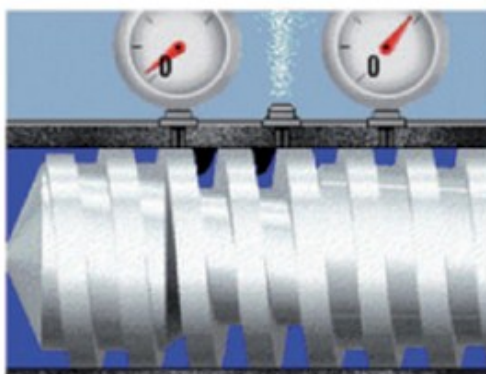


قبل انتهایی خروجی ماردون و معمولاً در زیر ماردون سوراخی تعبیه شده (rupture disk) (شکل ده) که این وسیله جزء مهمی در جهت ایمنی دستگاه می‌باشد. در صورتی که فشار بیش از حد، در هد ایجاد شود، جوشی در آن (rupture disk) شکسته می‌شود، و به پلیمر مذاب اجازه خروج از دستگاه بر روی کف می‌دهد و فشار اضافی تخلیه می‌شود. از آن آبی که فشار عادی عملکردی می‌تواند به ۵۰۰۰ psi رسیده یا بیشتر از آن گردد و بیشتر ماردون‌ها برای فشار تقریبی ۱۰۰۰۰ psi طراحی می‌شوند، فشار ایمنی حدود ۷۰۰۰ psi تا ۹۰۰۰ psi در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۰- پیکربندی عمومی در انتهایی خروجی ماردون شامل سوراخ تعبیه شده در بخش پایینی

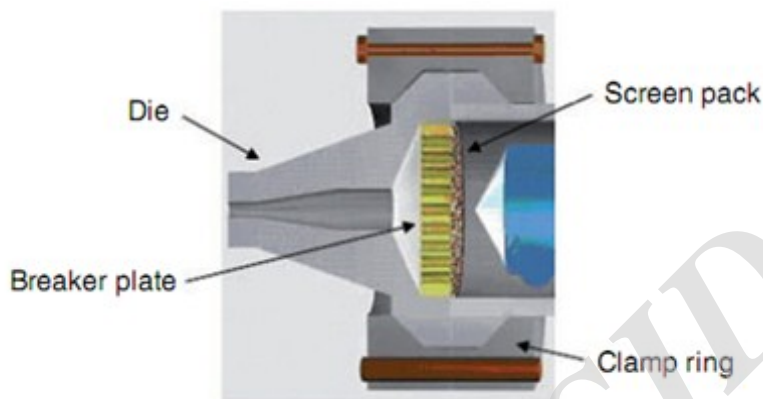
برخی از مواد اکستروود شده نیازمند ماردون‌های دارای منفذ (vented barrel) است (شکل ۱۱). منفذهای ایجاد شده در ماردون این امکان را فراهم می‌کند تا گازهای ناخواسته تولید شده، پیش از خروج از طریق دای، از ماردون خارج شوند. زیرا در صورت خروج از دای منجر به فوم شدن، ایجاد حباب و یا عیوب سطحی در محصول اکستروود شده می‌شوند. یک ماریپیچ دو مرحله‌ای در عملیات گاززدایی استفاده می‌شود. مرحله اول آماده‌سازی مذاب مانند دیگر ماریپیچ‌های متداول است، درحالی که مرحله دوم برای گاززدایی از مذاب فشار روی آن کاهش یافته و سپس آن را به درون دای پمپ می‌کند. تحت شرایط عملیاتی نادرست، مانند فشار هد بیش از اندازه، پلیمر ممکن است از درون منفذ گاززدایی با بیرون جریان پیدا کند. می‌توان با طراحی مناسب و درست و شرایط عملیاتی صحیح از این مشکل اجتناب کرد (۲۹).



شکل ۱۱- یک اکستروودر با منفذ گاززدایی در ماردون

## ۲-۱۱-۱-۵- سیستم هد/ دای

سیستم هد/ دای (شکل ۱۲) جریان مذاب را، به محض خروج آن از ماردون، دریافت می‌کند. اجزاء این سیستم شامل مجموعه هد، انطباق دهنده، صفحه محافظ (breaker plate)، فیلتر مذاب و دای می‌باشند.



شکل ۱۲- مجموعه هد و دای

## ۲-۱۱-۱-۶- دای

دای مغز دستگاه نامیده می‌شود، زیرا شکل محصول نهایی توسط شکل دهی که در دای انجام می‌شود، تعیین می‌گردد. انواع زیادی از دای برای تولید محصولات اکستروژن شده گوناگون در دسترس می‌باشد. چیزی که در تمامی دای‌ها مشترک است، نیاز به طراحی هندسه جریان داخلی مناسب می‌باشد. اگر دای شکل جریان مناسب را نداشته باشد، امکان تولید محصول پلیمری بر مبنای مشخصات مورد نظر وجود نخواهد داشت.

برای فرآیند بهینه، دای‌ها بایستی سیستم کنترل دمایی مجزا داشته باشند. یک ناحیه کنترل دمایی معمولاً برای دای‌های کوچک کافی است. دای‌های بزرگتر ممکن است چندین ناحیه کنترل دمایی داشته باشند. بعلاوه، عایق‌سازی اطراف بدنه دای اغلب به منظور کاهش اتلاف حرارت به هوای محیط و همچنین کاهش حساسیت دمایی دای به تغییرات شرایط دمایی محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۹).

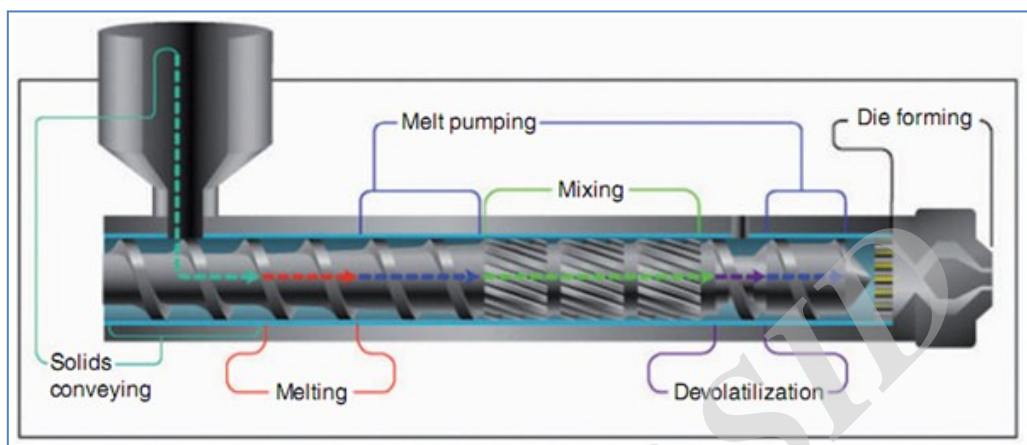
عوامل مؤثر بر کیفیت عملکرد ماشین اکستروژن تابعی از قطر (D)، طول (L)، گام‌های پیچ، شکل و خشک بودن دانه‌ها، سرعت چرخش و سرعت حرکت و طرح قالب (دای) است.

## ۲-۱۱-۲- نواحی عملکردی اکستروژن

در این بخش شش ناحیه در طول اکستروژن تشریح می‌شود که عملکردهای مختلف سیستم را انجام می‌دهند. درک نواحی عملکردی ترکیبی از دانش مواد پلیمری همراه با دانش سخت‌افزار اکستروژن می‌باشد. با حرکت پلیمر در این نواحی عملکردی مختلف و در شکل‌های مختلف (به عنوان مثال گرانول، بستری از جامد و یا مذاب)، با اجزاء سخت‌افزاری (به عنوان مثال محفظه خوراک، ماریپیچ و ماردون) در نواحی عملکردی مختلف برهمکنش می‌کند. اگر هر یک از این عملکردها به درستی انجام نپذیرد، کیفیت محصول نهایی یا راندمان فرایند اکستروژن ممکن است کاهش

یابد. به عبارت دیگر، برای بهینه سازی ظرفیت محصول اکسترودر، هر ناحیه عملکردی بایستی به صورت بهینه عمل کند (۳۹).

شش ناحیه عملکردی عبارتند از (شکل ۱۳): انتقال و جابجایی مواد جامد؛ ذوب کردن؛ پمپ کردن مذاب؛ مخلوط کردن؛ گاززدایی (یا رطوبت زدایی)؛ شکل دهی توسط دای.



شکل ۱۳- شش ناحیه عملکردی در اکسترودر

این موارد نبایستی با بخش‌های هندسی اکسترودر شامل بخش خوراک‌دهی، بخش انتقال و بخش اندازه‌گیری اشتباه گرفته شوند. اگرچه بین بخش‌های هندسی و نواحی عملکردی برخی وابستگی‌ها وجود دارد، عملکردها توسط نواحی هندسی محدود نمی‌شوند. برای مثال، ذوب کردن محدود به تنها ناحیه انتقال نمی‌شود، ممکن است در بخش خوراک‌دهی آغاز شده و تا بخش اندازه‌گیری ادامه یابد. از طرفی، تمامی اکسترودرها شامل هر شش ناحیه عملکردی نمی‌شود.

برخی از اکسترودرها توسط پلیمر مذاب خوراک می‌گردند و در نتیجه نیازی به ناحیه انتقال جامد و ذوب کردن ندارد، و تعداد زیادی از اکسترودرها نیز ناحیه گاززدایی را شامل نمی‌شوند.

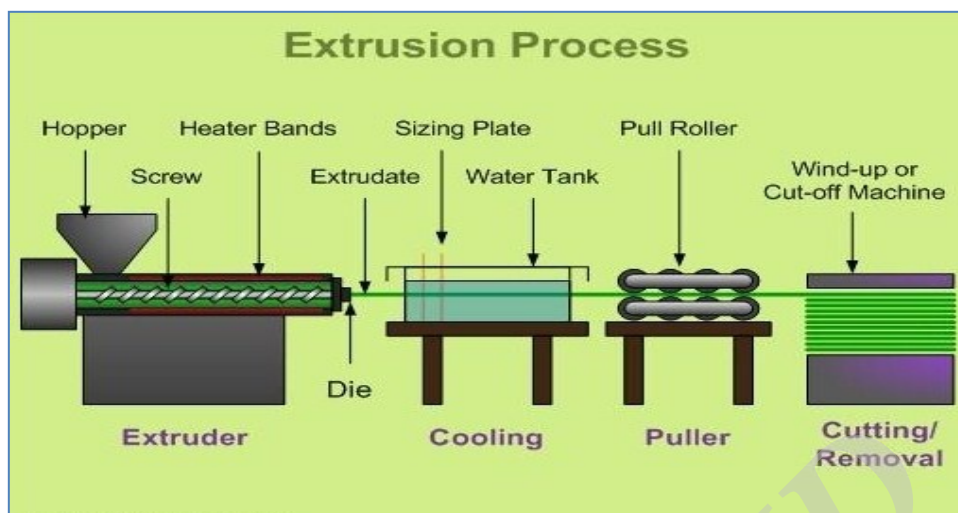
## ۲-۱۱-۳ انواع اکستروژن

### ۲-۱۱-۳-۱ اکستروژن پروفیل (پروفایل)

پروفیل به شکلی گفته می‌شود که سطح مقطع ثابت دارد و به روش اکستروژن مذاب از یک دای که در انتهای اکسترودر قرار دارد، تولید می‌شود. ساده‌ترین شکل دای یک صفحه فلزی است که سوراخ یا سوراخ‌هایی روی آن ایجاد شده است که محصول خروجی از این دای یک میله توپر بوده که قطر آن معادل قطر سوراخ خواهد بود (شکل ۱۴).

از آن جا که این عمل در فشار نسبتاً پایین انجام می‌شود هزینه‌های تولید در آن پایین می‌باشد. همچنین با تعبیه کردن یک مانع مناسب در وسط سوراخ محصول خروجی به صورت لوله تو خالی یا تیوب خواهد شد. در نهایت پروفیل‌های تولید شده به اندازه مناسب برش می‌خورند.

به عنوان مثال می‌توان U-PVC به طول انواع لوله‌ها، میله‌ها و پروفیل‌های در و پنجره‌ها اشاره کرد.



شکل ۱۴- دستگاه اکستروژن پروفایل

### ۲-۱۱-۳-۲- اکستروژن پوشش‌دهی سیم و کابل<sup>۱۲</sup>

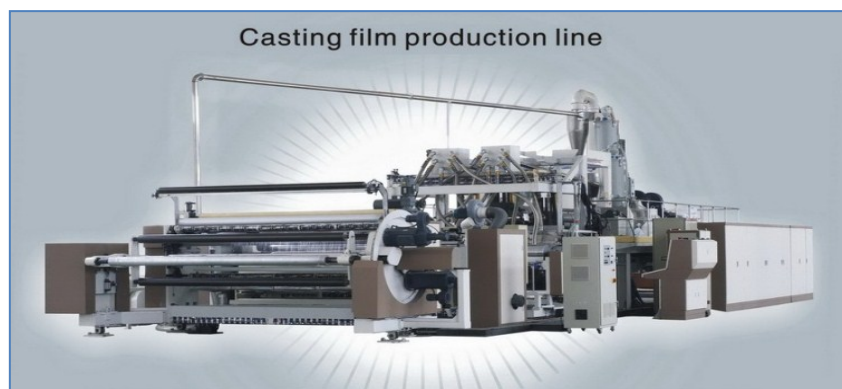
برای فرایند پوشش‌دهی سیم لخت و یا کابلی که شامل رشته‌های زیادی سیم نازک است با توجه به نوع کاربرد از مواد گوناگونی استفاده می‌شود. در این فرایند سیم لخت در هنگام عبور از دای مخصوص این کار در تماس مستقیم با پلیمر مذاب قرار می‌گیرد و مذاب پس از پوشش سیم به همراه آن از دای خارج شده و در ادامه فرایند خنک سازی انجام می‌گیرد تا پلیمر روی سیم تثبیت شود.

### ۲-۱۱-۳-۳- اکستروژن ورق و فیلم قالبگیری<sup>۱۳</sup>

اکستروژن ورق، مشابه اکستروژن پروفیل است با این تفاوت دای مورد استفاده به شکل یک روزنه شیاری شکل است. این دای به عنوان دای T شکل یا رخت آویز شناخته می‌شود. فیلم خارج شده از این دای به سرعت به وسیله غلتک‌های مسیر حرکت خود شکل گرفته و عریض می‌شود و همچنین عملیات سرد شدن و جامد شدن نیز به وسیله غلتک‌ها انجام می‌شود. طول این نوع دای‌ها بسته به نوع فیلم تولیدی ممکن است به چندین متر برسد. بر حسب ضخامت، محصول خروجی را فیلم یا ورق می‌نامند (شکل ۱۵)، البته باید گفت تقسیم دقیقی بین این دو وجود ندارد. فیلم‌های تولیدی با این روش به فیلم‌های ریخته‌گری شده یا کست فیلم (Cast Film) معروف هستند. ورق‌های ضخیم‌تر تولیدی با این روش برای ترمو فرمینگ یا دای کات (برش قالبی) استفاده می‌شوند و در صورت لزوم برای بعضی مصارف آن‌ها را مانند جعبه‌های مقوایی تا می‌زنند. فیلم‌های اکستروژن شده نازک‌تر نیز به صورت یک لایه یا لمینیت شده با سایر مواد، در بسته‌بندی‌های انعطاف پذیر استفاده گسترده دارند.

<sup>12</sup> Wire Coating Extrusion

<sup>13</sup> Film Casting Extrusion



شکل ۱۵- اکستروژن ورق و فیلم قالبگیری

## ۲-۱۱-۳-۴ اکستروژن فیلم‌های جهت یافته

خواص فیلم‌های کست یا دمشی و همچنین ورق‌ها را می‌توان با جهت یافتگی فیزیکی مولکول‌های پلیمر بهبود بخشید. ورق‌های کست را می‌توان در جهت کار دستگاه به کمک غلتک‌هایی که سرعت آن‌ها بیشتر از سرعت خروج مذاب پلیمر از دای می‌باشد جهت یافته کرد. این عمل معمولاً با عبور فیلم کست از بین مجموعه‌ای از غلتک‌ها انجام می‌گیرد، به طوری که سرعت هر غلتک به میزان مشخصی از سرعت غلتک قبلی آن بیشتر است. جهت یافتگی هم در جهت عرضی (Transverse Direction) و یا در هر دو جهت (Biaxial Orientation) انجام می‌شود، که از این دسته فیلم‌ها می‌توان به فیلم BOPP اشاره کرد که دارای خواص فوق العاده عالی می‌باشد و کاربرد بسیار زیادی در صنعت بسته‌بندی دارد. تا سی سال قبل سلفون‌ها بیشترین کاربرد را در صنایع بسته‌بندی داشتند ولی با ورود فیلم‌های BOPP به صنعت، این محصول به سرعت جایگزین سلفون‌ها شد. فیلم‌های BOPP دارای تکنولوژی بسیار پیچیده‌ای می‌باشند و حجم سرمایه‌گذاری آن‌ها برای احداث یک واحد با ظرفیت اقتصادی حدود ۲۰ میلیون دلار می‌باشد.

نوع دیگری از فیلم‌ها با نام فیلم ارینت نشده، تخت یا ریخته‌گری نیز وجود دارند که هم به صورت ورق به روش نورد سرد (فیلم ریخته‌گری شده) و هم از روش‌های متنوع لوله‌ای تهیه می‌گردند. در هر مورد سرد کردن مذاب موجب می‌شود تا خواص بصری عالی ایجاد شود. اینگ ونه فیلم‌ها را از رزین‌های هوموپلیمر و کوپلیمر شده تهیه می‌کنند و معروف و پر کاربردترین آن‌ها فیلم پلی‌پروپیلن ریخته‌گری شده CPP یا (Cast Polypropylene Film) است. این فیلم عمدتاً در بسته‌بندی منسوجات به کار می‌رود که در آن مجموعه‌ای از براقیت بالا، مه‌گرفتگی پایین و عدم خرابی رنگ مورد نظر است. فیلم ریخته‌گری شده PP برای لفاف پیچی کامل کالاهای کاغذی نیز بکار می‌رود، فیلم ریخته‌گری شده به عنوان لایه سیل در ساختارهای لمینت مناسب برای حرارت دهی مثل ضد عفونی با اتوکلا و کاربردهای جوشاندن در کیسه نیز به کار می‌رود. ورق آن در شکل دهی حرارتی برای ظروف قابل ضد عفونی و بسته بندی مواد غذایی بکار برده می‌شود. از موارد کاربرد این فیلم بسته‌بندی منسوجات، لفاف پیچی کامل کالاهای کاغذی، شیرینی، شکلات، ماکارونی، سرنگ و لوازم جراحی می‌باشد.

در هر دو دستگاهی که برای جهت یافتگی به کار می‌روند دمای پلیمر باید تا حدی بالا باشد. اگر فرایند کشش و سرد سازی به سرعت انجام گیرد، ابعاد اولیه فیلم یا ورق در حافظه آن باقی خواهند ماند و در صورت حرارت مجدد

تمایل خواهد داشت به حالت اولیه برگردد که با بهره گیری از این خاصیت فیلم‌های جمع شدنی (Shrink Film) تولید می‌شود.

به منظور ارائه تصویر کاملتری از موارد کاربرد فیلم‌های پلیمری چند لایه توضیحاتی پیرامون فیلم‌های متالایز و فیلم دو سرپیچ (Twist) ضروری به نظر می‌رسد.

فیلم متالایز فیلمی است که با یک لایه نازک از آلومینیوم پوشیده شده است. به منظور تولید این فیلم‌ها (که عمدتاً از CPP, PE, BOPP می‌باشد) ابتدا فیلم از حالت رول خارج می‌گردد تا در معرض بخار آلومینیوم قرار گیرد که در نتیجه لایه ای نازک از این بخار روی فیلم را می‌پوشاند. در پایان لفاف تولید شده نه تنها ظاهری درخشان تر و جالب توجه دارد بلکه مقاومت بیشتری در برابر نفوذ اکسیژن و بخار آب از خود نشان می‌دهد.

فیلم دو سرپیچ (Twist) به فیلم‌هایی اطلاق می‌شود که خاصیت پیچشی مطلوبی از خود نشان می‌دهند این فیلم‌ها رفته رفته جایگزین فیلم‌های PVC مورد مصرف در صنایع تولید شکلات و شیرینی گردیدند که دلیل آن را می‌توان در مضرات ناشی از حرارت فیلم‌های PVC هنگام دوخت بسته بندی دانست.

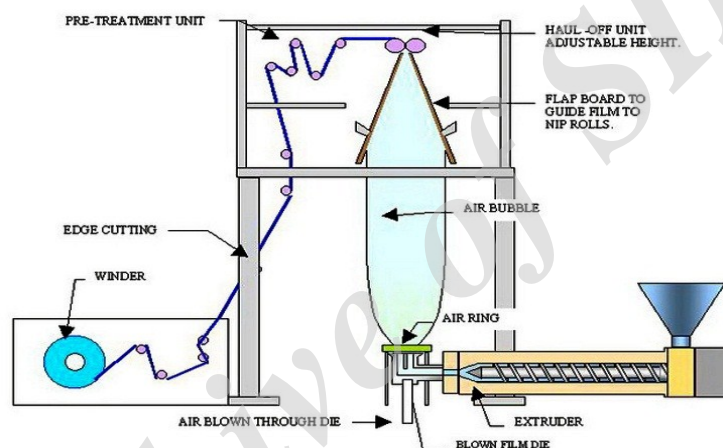
#### ۲-۱۱-۳-۵- اکستروژن فیلم دمشی<sup>۱۴</sup>

این نوع فیلم به وسیله اکستروژن کردن پلیمر از یک دای استوانه ای شکل و تبدیل آن به یک حباب استوانه‌ای شکل تولید می‌شود. با منبسط شدن حباب توسط بادی که از جداره دای خارج می‌شود، ضخامت مناسب فیلم به دست می‌آید. با کشیدن حباب باد شده از انتها (بالا) و افزایش پیوسته مذاب پلیمر از ابتدای آن، تولید فیلم نازک پلیمری به صورت پیوسته انجام می‌شود. جریان هوا در سطح بیرونی حباب علاوه بر این که سبب سرد شدن آن می‌شود با ایجاد یک بالشتک هوا از انحراف حباب جلوگیری می‌کند. پس از سرد شدن فیلم، برای تخلیه هوای داخل، آن را از یک شیار عبور می‌دهند و سپس توسط غلتک‌های جمع کننده و کشنده جمع می‌شود. در برخی کاربردها حباب به صورت تیوب جمع می‌شود و در برخی موارد دیگر به صورت دلخواه برش خورده و یک سر آن با سیل حرارتی دوخته می‌شود و به عنوان کیسه پلاستیکی (نایلکس) استفاده می‌شود. در شکل ۱۶ زیر تصاویری کلی از فرآیند فیلم دمشی آورده شده است.

علاوه بر دستگاه‌هایی که برای کنترل اندازه و شکل استفاده می‌شوند، سایر واحدهای فرایند مانند چاپ و پوشش‌دهی، شکل‌دهی و خلاء، برش و دوخت و تازدن را می‌توان در سیستم پایین دستی فرایند نصب کرد و خطوط تولیدی با محصولات یکنواخت و کامل ایجاد کرد. اکستروژن فیلم دمشی برای تولید تمام فیلم‌های پلی‌اتیلن به کار می‌رود. در این روش می‌توان فیلم‌هایی با عرض زیاد و هزینه کم تولید کرد به عنوان مثال در صورتی که قطر حباب ۲ متر باشد، پس از باز کردن آن سطحی با عرض ۶ متر بدست می‌آید که اگر بخواهیم این کار را به روش کست فیلم انجام دهیم بسیار سخت و پرهزینه خواهد بود، همچنین باید گفت فیلم‌هایی که با مواد اولیه یکسان اما با این دو روش

<sup>14</sup> Blow Film Extrusion

(فیلم دمشی و کست فیلم) تولید می‌شوند به سبب متغیر بودن مختصات حرارتی و مکانیکی، خواص متفاوتی نیز خواهند داشت. یکنواختی سطح و ضخامت در فیلم‌های کست بیشتر از فیلم‌های دمشی است، همچنین سرد کردن سریع به کمک غلتک‌های سرد باعث تثبیت ساختار مولکولی آمورف (بی نظم) در ساختار مولکولی فیلم کست می‌شود، لذا فیلم تولیدی نرم تر بوده و شفافیت بالاتری خواهد داشت. در روش فیلم دمشی سرد کردن کند تر صورت می‌گیرد بنابراین پلیمرهای بلوری مانند PE, PP هنگام خروج از دای کاملاً شفاف و آمورف می‌باشند، اما قدری بالاتر از خروجی دای، با کاهش دما، پلیمر شروع به بلوری شدن می‌کند و تغییر از حالت شفاف به مات کاملاً مشخص می‌باشد. همچنین کنترل ضخامت و یکنواختی سطح در این روش از روش کست فیلم مشکل‌تر است اما هزینه ماشین آلات و تولید به میزان قابل توجهی در روش اکستروژن فیلم دمشی پایین است و این در صنعت یک مزیت بسیار بزرگ است.



شکل ۱۶- دستگاه اکستروژن فیلم دمشی

## ۲-۱۱-۳-۶ اکستروژن آمیزه ساز<sup>۱۵</sup>

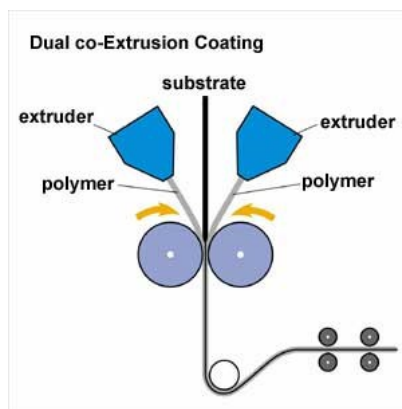
از این روش برای تولید ترکیبات پیشرفته و بهینه سازی شده پلیمری و مستریج (رنگدانه) سازی استفاده می‌شود. این روش اغلب توسط اکسترودرهای قدرتمند که دارای دو پیچ هستند انجام می‌شود.

## ۲-۱۱-۳-۷ اکستروژن همزمان<sup>۱۶</sup>

هم دای کست فیلم و هم دای فیلم دمشی را می‌توان به نحوی طراحی کرد که با بیشتر از یک اکستروژن تغذیه شود که در این صورت محصول به دست آمده سطحی متشکل از دو یا چند ماده مختلف خواهد داشت. محصولات پلیمری چند لایه نیز کاربردهای بسیاری دارند به عنوان مثال از آن جا که پلی اتیلن قابلیت سیل پذیری بالا دارد به صورت یک لایه به موادی که سیل پذیری حرارتی آن‌ها ضعیف است اضافه می‌شود، یا مثلاً پلیمرهای با نفوذ ناپذیری بالا را می‌توان بین دو لایه با قیمت کم و نفوذ ناپذیری کم قرار داد تا خاصیت نفوذ ناپذیری فیلم افزایش یابد. در شکل ۱۷ زیر چگونگی تولید فیلم دو لایه و سه لایه به صورت ساده به تصویر کشیده شده است (۲۹).

<sup>15</sup> Compound Extrusion

<sup>16</sup> Coextrusion



شکل ۱۷- چگونگی تولید فیلم اکستروژن شده دو لایه و سه لایه به طور همزمان

## ۲-۱۱-۴- آزمون‌های مربوط به اندازه‌گیری خصوصیات فیلم‌های اکستروژن شده

مهم‌ترین خواص فیلم‌های تولیدی که توسط تولید کنندگان اندازه‌گیری می‌شوند شامل خواص مکانیکی، حرارتی، نوری، فیزیکی، الکتریکی و رئولوژیکی می‌شود. پنج آزمون اول اصولاً روی فیلم اکستروژن شده انجام می‌شود و آخرین مورد بر روی پلیمر مذاب درون اکستروژر و دای اعمال می‌گردد. با دستیابی به نتایج این خواص، تولیدکننده این اطمینان را خواهد داشت که رزین یا فیلم عملکرد مناسب را خواهد داشت (چه در طول فرایند تولید و یا در محصول نهایی مورد استفاده مصرف کننده).

ثبات و نگهداری اطلاعات اساسی مربوط به خط تولید و مواد اولیه و فیلم تولید شده نهایی توسط تولیدکننده امری حیاتی است. این اطلاعات تامین کننده موثرترین ابزار برای حل مشکلاتی است که ممکن است در تجهیزات تولید رخ دهد. بسیاری از مسائل ایجاد شده در اکستروژن وابسته به تغییرات کوچک در ترکیب درصد مواد اولیه یا خواص فرایندی می‌باشد. این تغییرات هنگامی که اطلاعات اولیه در دسترس باشد، به آسانی قابل شناسایی است. به علاوه، نقائص عملکردی فیلم که توسط کاهش در برخی از خواص اندازه‌گیری می‌شود، مانند استحکام در برابر ضربه، می‌تواند نشان دهنده انحراف نامطلوب در شرایط فرایندی باشد.

خواص زیر مربوط به فرایند تولید فیلم است که در مورد توجه قرار می‌گیرد: استحکام کششی؛ تغییر طول؛ مقاومت در برابر پارگی؛ مقاومت در برابر ضربه؛ نیروی انسداد و ضریب اصطکاک؛ میزان ژل؛ شکنندگی در دمای پایین؛ برآقی و جلا؛ شفافیت؛ ناصافی یا تیرگی؛ دانسیته؛ اندیس مذاب (شاخص مذاب)؛ گرانی با رئومتر لوله موئین (۲۹).

## ۲-۱۲- پیشینه تحقیق در زمینه بسته‌بندی فعال

مفاهیم بسته‌بندی فعال را برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ شرکت Ageless ژاپن ارائه کرد (۹۶). در ژاپن و اخیراً در بریتانیا و ایالات متحده آمریکا، بسته‌بندی فعال برای محصولات غذایی نظیر کیک برنجی، بیسکویت و کراکر، غذاهای دریایی، محصولات روغنی و مخلوط‌هایی از کیک و همچنین برای بسته‌بندی قهوه نیز به کار گرفته شده است.



ژاپن از جاذب‌های اکسیژن برای جلوگیری از ترشیدگی و اکسایش غذاهای حاوی چربی بالا (به عنوان مثال آجیل، چیپس سیب زمینی، گوشت گاو) یا برای جلوگیری از نقص در عطر و طعم و رنگ نیز استفاده کرده است (۲۱).

محققان رایج‌ترین مکانیسم مورد استفاده در جاذب‌های اکسیژن را اکسایش آهن II بیان کردند. برای حفاظت از پودر فندق و گردو نیز از این سیستم استفاده کرده و توانستند عمر مفید مصرف را بهبود بخشیده و از اکسایش سریع اسیدهای چرب جلوگیری کنند.

هوفلس و وایت (۱۹۸۹) بیان کردند که می‌توان سولفیت‌های فلزی، اسیداسکوربیک و ترکیبات آهن را با غشاهای پلیمری مخلوط کرد چرا که ترکیبات مذکور جاذب اکسیژن می‌باشند (۶۱). چندین شرکت ژاپنی مواد بسته‌بندی ارایه کردند که حاوی ترکیبات فلزی یا اسکوربات‌ها هستند.

در مطالعات متعددی که توسط اندرسن و راسموسن (۱۹۹۲)، آبه (۱۹۹۴)، راندل و همکاران (۱۹۹۵) انجام شده، این طور گزارش شده است که روش‌های بسته‌بندی فعال در مقایسه با بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده که در آن از گازهای حفاظتی استفاده می‌شود، دارای فواید بسیاری هستند (۵، ۱۱).

مهم‌ترین مزیت جاذب‌های اکسیژن کاهش غلظت اکسیژن تا حد بسیار پایین می‌باشد که در خطوط بسته‌بندی معمول فعلی غیرممکن است. این محققان مشاهده کردند بسته‌بندی فعال با جاذب‌های اکسیژن به طور مؤثر غلظت اکسیژن را در فضای خالی بسته‌بندی به کمتر از ۰/۰۱ درصد کاهش داده و در نتیجه فرایند اکسایشی و تغییرات رنگ و رشد مخمر و کپک و غیره را که در مواد غذایی رخ می‌دهد، به تأخیر انداخته است.

در طی سالیان متمادی با افزودن آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر دی‌اکسیدگوگرد و اسید اسکوربیک به آب‌جو از اکسایش آن جلوگیری شده است. تیوماک (۱۹۹۵) در ایالات متحده آمریکا گیرنده‌های اکسیژن را در درپوش بطری آب‌جو مورد استفاده قرار داد. آب‌جو فراورده‌ای است که فوق‌العاده به اکسیژن حساس بوده و اکسیژن باعث تخریب طعم آن می‌شود. با این روش مقدار اکسیژن داخل بطری به حداقل رسیده و در نتیجه از انجام واکنش‌های نامطلوب که باعث بدطعمی می‌شوند ممانعت به عمل آمد. در این روش بطری آب‌جو به گونه‌ای پر و دربندی شد که کمتر از ۵۰۰ پی پی بی اکسیژن در بطری باقی ماند (۱۱۹).

برنزون و ساگوی (۱۹۹۸) کاربرد جاذب اکسیژن بر پایه ترکیب آهن را جهت افزایش طول عمر کراکر بسته‌بندی شده در قوطی حلبی را طی ۵۲ هفته نگهداری در دماهای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند. به این طریق از اکسایش لیپیدی که بلافاصله پس از پخت آغاز می‌شود جلوگیری شده، غلظت هگزانال در داخل بسته کاهش یافت (۲۱).

هورمه و آهونینن (۱۹۹۸) روی بسته‌بندی‌های فعال انجام دادند، متداول‌ترین موارد استفاده جاذب‌های اکسیژن را در غذاهای آماده مصرف نظیر همبرگرها، خمیرهای تازه، نودل‌ها، ورقه‌های سیب‌زمینی، گوشت‌های عمل-آوری شده، کیک‌ها و نان‌های با دوام، شیرینی‌ها، آجیل‌ها، قهوه، گیاهان دارویی و ادویه‌ها گزارش نمودند (۸).

لاتو و همکاران (۲۰۱۰) نقش تولیدکننده‌های نان و کاهش میزان اکسیژن در داخل بسته‌بندی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها حاکی از این بود که تعداد زیاد منافذ در ماتریس نان باعث نفوذ مقدار زیادی اکسیژن به داخل بافت نان شده که عامل شروع و تسریع فرایند بیات شدن نان است. همچنین این محققان اظهار کردند که تمایل تولیدکننده‌ها به استفاده از این بسته‌بندی‌های حاوی جاذب‌های اکسیژن بسیار پایین است. این درحالی است که استفاده از جاذب اکسیژن در داخل بسته‌بندی مسأله بیاتی نان را تا حد بسیار زیادی حل کرد (۷۷).

بیان و همکاران (۲۰۱۰) خصوصیات حرارتی، فیزیکی، ممانعت در مقابل نفوذ گاز و فعالیت گیرندگی اکسیژن فیلم‌های پلی‌لاکتیک اسید حاوی آنتی‌اکسیدان‌های آلفا توکوفرول، BHT و پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG) را که با استفاده از اکسترودر دو ماریچ تهیه شده بود، بررسی کردند. بدین منظور سه نوع فیلم (فاقد ترکیبات آنتی‌اکسیدان، فیلم حاوی BHT و PEG و فیلم حاوی آلفا توکوفرول، BHT و PEG) تهیه شد. نتایج حاکی از آن است که افزودن PEG به فیلم پلی‌لاکتیک اسید، دمای انتقال شیشه‌ای را کاهش داده و بدین ترتیب دمای انتقال شیشه‌ای در فیلم حاوی BHT و PEG معادل ۵۱ و فیلم حاوی آلفا توکوفرول، BHT و PEG برابر با ۶۶ درجه سانتی‌گراد بود. بیشترین فعالیت گیرندگی رادیکال DPPH برای فیلم حاوی هر سه ترکیب آنتی‌اکسیدانی به‌دست آمد (۲۷).

دیکاستیلو و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر افزودن آنتی‌اکسیدان‌های اسید آسکوربیک، اسید فرولیک، کوئرستین و عصاره چای سبز را بر خصوصیات حرارتی و ممانعت‌کنندگی ماتریکس کوپلیمر اتیلن وینیل الکل (EVOH) بررسی نمودند. نتایج نشان داد که افزودن ترکیبات مذکور تأثیر زیادی بر خصوصیات حرارتی نداشت. حضور اسید آسکوربیک و اسید فرولیک منجر به کاهش معنی‌داری در نفوذ پذیری به بخار آب گردید که احتمالاً به‌واسطه میل ترکیبی بالای آن‌ها به آب است. رها شدن آنتی‌اکسیدان از ماتریکس بسته‌بندی به نوع ماده غذایی مدل بستگی داشت؛ به‌طوری‌که در مدل غذایی مایع، اسید آسکوربیک به میزان بیشتری رها شد. در ماده غذایی حاوی چربی، تأثیر کوئرستین و عصاره چای سبز در جلوگیری از واکنش اکسیداسیون بهتر بود. همچنین اندازه‌گیری اندیس پراکسید و مالون‌دی‌آلدهید نشان داد که فیلم حاوی عصاره چای سبز بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی را در نمونه ساردین محلول در نمک داشت (۴۱).

مطالعه مو و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند در طول چند سال گذشته، بسیاری از روش‌ها به‌خصوص روش نانو جهت بسته‌بندی‌های فعال توسعه یافته است. برای آماده‌سازی مواد نانو از روش آماده‌سازی چند منظوره‌ای به نام میکروامولسیون آب در روغن استفاده می‌شود که کنترل خواص ذرات مانند اندازه، هندسه، مورفولوژی و همگن‌سازی در سطح را ممکن می‌سازد. در این مطالعه، ذرات نانو آهن در یک سیستم میکروامولسیونی ایزو اکتان / Span80 Tween60 / n-بوتانول باند شدند و سپس توانایی جذب اکسیژن و خصوصیات آنتی‌اکسیدان‌هایی مثل

اسیدآسکوربیک و ویتامین E در حضور جاذب اکسیژن، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر جذب اکسیژن بسیار بالاتر در مقایسه با پودر آهن معمولی بود (۱۰۰).

کالاتایود و همکاران (۲۰۱۳) کوپلیمری از EVOH حاوی عصاره کاکائو غنی از فلاونوئید تهیه و خواص آنتی-اکسیدانی و ضد میکروبی فیلم‌ها را بر cell line بررسی نمودند. آزاد شدن ترکیبات عصاره کاکائو به غلظت آنتی-اکسیدان و دما بستگی داشت. عصاره کاکائو در مقابل cell line تحریک شده با پراکسید هیدروژن خاصیت آنتی-اکسیدانی نشان داد (۲۸).

جمشیدیان و همکاران (۲۰۱۳) میزان رها شدن آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی (آسکوربیل پالمیتات، آفلاتوکوفرول) و آنتی‌اکسیدان‌های پلی‌فنلی سنتزی (BHT، BHA، TBHQ) از فیلم بسته‌بندی پلی‌لاکتیک اسید به درون ماده غذایی بسته‌بندی شده را مورد بررسی قرار دادند. میزان رها شدن آنتی‌اکسیدان‌ها در دو دمای ۲۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد به روش HPLC اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که آسکوربیل پالمیتات در طی آماده‌سازی فیلم کاملاً تجزیه شده و لذا استفاده از آن به عنوان ترکیب ضد اکسیداسیون در بسته‌بندی‌های فعال مناسب نیست (۶۶).

باربوزا-پیریرو و همکاران (۲۰۱۳) از پنج محصول طبیعی حاوی توکوفرول در تهیه فیلم فعال بر پایه LDPE استفاده نمودند. میزان ترکیبات حاوی توکوفرول در فیلم نهایی ۱ تا ۵ درصد بود. نتایج نشان داد که فیلم‌های حاوی توکوفرول در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد میزان اکسیداسیون چربی ماهی سالمون بسته‌بندی شده در آن را کاهش داد (۱۷).

## ۲-۱۳- فراورده‌های پروبیوتیک‌ها

واژه پروبیوتیک نخستین بار در سال ۱۹۵۴ در دست نوشته‌های شخصی به نام ویرجیو به کار رفته است. با عنوان «پادزیست‌ها و زیست‌بخش‌ها» به بررسی اثرات زیان‌بخش مصرف پادزیست‌ها بر جمعیت میکروبی روده پرداخته و پروبیوتیک‌ها را موادی دانسته بود که بر این فلورمیکروبی اثر مطلوب دارند. اما واژه پروبیوتیک نخستین بار با رسمیت بیشتر در سال ۱۹۶۵ توسط لیلی و استیل ول به کار برده شد. آنها واژه پروبیوتیک را به موادی نسبت دادند که به وسیله پروتوزوا ترشح می‌شد و رشد پروتوزوای دیگر را تحریک می‌کرد. آنها همچنین این واژه را در مورد ریززنده‌هایی که رشد یکدیگر را تحریک می‌کنند نیز به کار بردند (۳۹).

پروبیوتیک به عنوان مکمل‌های غذایی حیوانات که با بهبود توازن فلور میکروبی روده اثرات سلامت‌بخشی دارند نیز تعریف شده است. همچنین آن را به باکتری‌های زنده‌ای که به عنوان مکمل غذایی حیوانات به مصرف می‌رسند و از طریق بهبود توازن فلور میکروبی روده در بردارنده خواص سلامت‌بخش برای آنها هستند نیز نسبت داده شده است (۸۳). امروزه می‌توان تعریف جامع زیر را در ارتباط با پروبیوتیک‌ها ارائه کرد: ریززنده‌های (باکتری و مخمر) زنده‌ای که با استقرار در بخش‌های مختلف بدن (اساساً روده؛ به عنوان فلور طبیعی از طریق دریافت خوراکی یا کارگذاری موضعی) با عمل زیستی خود، عمدتاً از طریق حفظ و بهبود توازن فلور میکروبی روده (میان ریززنده‌های سودمند و زیان‌بخش) سبب ایجاد خواص سلامت‌بخش برای میزبان می‌شوند (۹).

تفاوت پروبیوتیک با سایر ریززنده‌ها در این خاصیت نهفته است که اثرات سلامت بخش پروبیوتیک‌ها از طریق فعالیت زیستی آنها در داخل بدن و پس از استقرار در بخش‌های مختلف ایجاد می‌شود. ایجاد خواص سلامت‌بخش پروبیوتیک‌ها مدیون اثرات سرکوب‌کننده آنها بر فلور مضر روده و حفظ و بهبود توازن این فلور به نفع خود (به عنوان ریززنده های سودمند) است (۱۱۱).

بطور کلی اغلب باکتری‌های پروبیوتیک مورد استفاده در غذا و مکمل‌های دارویی، باکتری‌های اسید لاکتیک و عمدتاً به دو جنس لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم تعلق دارند.

تاکنون ۵۹ گونه لاکتوباسیلوس مورد شناسایی قرار گرفته است و لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس مهمترین گونه پروبیوتیک به شمار می‌آید. لاکتوباسیلوس‌ها غیر اسپورزا، میله‌ای، گرم مثبت، کاتالاز منفی و معمولاً نامتحرک بوده و قادر به احیای نیترات نیستند (۱۳۷). در بدن حیوانات و انسان به عنوان فلور طبیعی زندگی می‌کنند و به نمک و پادزیست به طور نسبی مقاومند. بر اساس الگوی تخمیر گلوکز به دو دسته همگون - تخمیر و ناهمگون - تخمیر قابل تقسیم هستند. دسته نخست گلوکز را از مسیر گلیکولیز که شامل تبدیل گلوکز به دو مولکول پیرووات و سپس دو مولکول اسید لاکتیک همراه با ATP2 است، تخمیر می‌کنند. دسته دوم، از مسیر پنتوز - فسفات که در آن یک مولکول گلوکز به مولکول‌های لاکتات، اتانل و ATP1 تبدیل می‌شود، نشو و نما می‌کنند. آنزیم اساسی این مسیر، فسفوکتولاز است که باعث آبکافت زیلولز - ۵ - فسفات به استیل کوآنزیم A و گلیسرآلدئید - ۳ - فسفات می‌شود. در مسیر پنتوز - فسفات، علاوه بر واکنش‌های یاد شده، بر اثر تخمیر هر مول پنتوز، یک مول لاکتات و استات تولید می‌شود. انجام واکنش اخیر مشروط به وجود آنزیم فسفوکتولاز تحریک‌شونده است. گونه‌های ل (لاکتوباسیلوس). اسیدوفیلوس، ل. کریسپاتوس، ل. گالیناروم، ل. گسری، ل. جانسونی، ل. هلویتیکوس، ل. دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس و ل. سالیواریوس زیرگونه سالیواریوس از جمله انواع همگون - تخمیر اجباری به شمار می‌آیند (۹).

گونه‌های ل. اسیدوفیلوس، ل. پلانتاروم، ل. کازی، ل. فرمنتوم و ل. برویس از مهمترین گونه‌های موجود در دستگاه گوارش انسان هستند.

بیفیدوباکترها دسته‌ای از باکتری‌ها هستند که بعد از لاکتوباسیل‌ها به عنوان رایج‌ترین انواع پروبیوتیک شناخته می‌شوند. معروفترین گونه پروبیوتیک در بین بیفیدوباکتری‌ها بیفیدوباکتریوم بیفیدم می‌باشد (۱۰۸). خصوصیات گونه‌های این باکتری باهم متفاوت است اما به طور کلی این باکتری‌ها گرم مثبت، غیر اسپورزا، میله‌ای شکل، باریک و بیازدار (با انتهای چماقی شکل) هستند. در شرایط محدودیت منابع غذایی، بیفیدوباکترها با آرایش چنگالی (Y شکل) در یک انتها و یا در هر دو انتها یافت میشوند و به همین علت، در لاتین با واژه بیفیدوس به معنی دوبخشی یا شکافدار نامگذاری شده‌اند. این باکتری‌ها بی‌هوازی اختیاری هستند که البته شدت نیاز به اکسیژن در آنها بسته به گونه، متفاوت است (۱۰۸، ۱۲۵).

بیفیدوباکتری‌ها قادر به چسبیدن به جداره روده می‌باشند و با مصرف کربوهیدرات‌های غیر قابل هضم در بدن، اسیدهای چرب کوتاه زنجیره تولید می‌کنند که از این راه نیز باعث حذف پاتوژن‌ها می‌شوند (۱۲۶). به علاوه این باکتری‌ها حین فعالیت گاز تولید نمی‌کنند و بنابراین مصرف آنها در افرادی که از نفخ رنج می‌برند مفید می‌باشد. ویژگی مفید دیگر در بیفیدو باکتریوم بیفیدوم، توانایی تولید انواع ویتامین‌های گروه B از جمله تیامین و ریوفلاوین است (۱۰۸، ۱۲۵).

سودمندی‌های سلامت‌بخش پروبیوتیک‌ها ممکن است ناشی از فعالیت و حضور سلول‌های زنده آنها در جهاز گوارش، حضور سلول‌های مرده یا حتی تکه‌های دیواره سلولی و بخش‌های سیتوپلاسم، متابولیت‌های ترشح شده آنها در جهاز گوارش و یا تمامی موارد یاد شده باشد. شاخص اساسی پروبیوتیک بودن، فعالیت و عمل سلول‌های زنده باکتری در داخل بدن است.

حفظ و افزایش پروبیوتیک (فلور میکروبی سودمند) در بخش‌های مختلف بدن به ویژه روده به منظور افزایش اثرات سودمند آنها به سه روش امکانپذیر است:

۱- دریافت تعداد زیاد سلول‌های زنده آنها به صورت مصرف خوراکی یا کارگذاری موضعی (استفاده از فرآورده های غذایی و دارویی)؛

۲- پرهیز از مجاورت با عواملی که جمعیت این باکتری‌ها را در بدن کاهش می‌دهند (مانند رژیم ناسالم غذایی، تابش رادیواکتیو، تنش، بیماری و مصرف داروها و پادزیست‌ها)؛

۳- مصرف مواد پری بیوتیک با رژیم غذایی: مصرف پری بیوتیک‌ها علاوه بر تحریک و تقویت رشد و فعالیت پروبیوتیک‌ها در بدن ممکن است مستقیماً اثرات سودمند سلامت بخش نیز به همراه داشته باشد. برای مثال گزارش شده است که مصرف نئوشوگر (نوعی فروکتو- الیگوساکارید) ضمن افزایش تعداد بیفیدوباکتریوم‌ها در روده، فعالیت آنزیم‌های مضر روده‌ای را نیز کاهش می‌دهد که نتیجه این عمل کاهش ریسک سرطان زایی است (۱۰۶، ۱۳۸).

امروزه پروبیوتیک‌ها علاوه بر محصولات لبنی، در مواد غذایی غیرلبنی، نظیر انواع غلات صبحانه، غذای کودک، آبمیوه‌ها، چیپس، اسنک و شکلات‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فارن ورث (۲۰۰۵)، به امکان استفاده از محصولات زراعی ریشه ای، حبوبات، میگو، کاساوا، انواع مختلف آرد های گیاهان، ماهی، دانه میوه ها، گوشت‌ها، قارچ‌ها و همچنین شیر تعدادی از حیوانات برای گسترش محصولات جدید پروبیوتیک اشاره کرده است. این غذاها می‌توانند به عنوان الگویی برای محصولات جدید مورد استفاده قرار گیرند و کشت‌های آغازگر سنتی با انواع پروبیوتیک جایگزین گردند. کاربرد باکتری‌های پروبیوتیک در محصولات غیر لبنی دارای چالشی بزرگ است. قابلیت رشد پروبیوتیک‌ها در ماده غذایی به عواملی مانند پی اچ، دما، میزان اکسیژن و حضور میکروارگانیسم‌های رقیب و بازدارنده‌ها بستگی دارد. غلات، سوبستراهای مناسبی برای رشد سوش‌های پروبیوتیک

هستند و به دلیل حضور ترکیبات غیر قابل هضم، این محصولات می‌توانند به عنوان پری‌بیوتیک نیز عمل نمایند. برخی از غلات اثر حفاظتی بر پروبیوتیک‌ها در برابر شرایط پی‌اچ پایین دستگاه گوارش دارند (۴۹).

حضور قندهایی مانند مالتوز و گلوکز به عنوان عامل اثر حفاظتی غلات ذکر شده است. به علاوه غلات می‌توانند پروبیوتیک‌ها را مقابل تخریب توسط نمک‌های صفراوی محافظت نمایند. توانایی محصولات بر پایه غلات در کمک به رشد باکتری‌های پروبیوتیک اساساً ناشی از غلظت بالای فیبرها در این محصولات است که می‌تواند به عنوان سوبسترای رشد باکتری‌های پروبیوتیک عمل نماید. توانایی رشد در محصولات غلات و استفاده از انواع مختلف فیبرها در غلات در بین سوش‌های مختلف بسیار متفاوت است. علاوه بر این، نشاسته و ترکیبات فیبری غلات می‌توانند به عنوان محافظ یا تثبیت کننده به منظور افزایش پایداری پروبیوتیک‌ها در طی فرآوری، نگهداری و شرایط معدی-روده‌ای عمل نمایند (۳۲، ۱۲۹).

## ۲-۱۴- پری‌بیوتیک‌ها

اخیراً توجه دانشمندان نسبت به پری‌بیوتیک‌ها بیشتر از پروبیوتیک‌ها جلب شده است و تحقیقات زیادی در این زمینه در دست انجام است. به نظر می‌رسد اهمیت پری‌بیوتیک‌ها بیشتر از پروبیوتیک‌ها باشد چرا که هر فردی دارای پروبیوتیک‌های خاص خود است و این باکتری‌ها از منطقه‌ای به منطقه دیگر جهان فرق می‌کند. بنابراین بهتر است به جای وارد کردن گونه‌های پروبیوتیکی جدید به بدن انسان چه بصورت خالص و چه به همراه غذا، پروبیوتیک‌های خاص دستگاه گوارش آن فرد را توسعه داده شود که این کار توسط پری‌بیوتیک‌ها قابل انجام است.

پری‌بیوتیک‌ها ترکیباتی هستند که از دو ویژگی اساسی زیر برخوردار باشند:

الف) در برابر آنزیم‌ها و ترکیبات ترشح شده در بزاق و روده کوچک هضم ناپذیر یا اندک-هضم باشند تا دست نخورده یا با شکست جزئی در محیط روده در دسترس پروبیوتیک‌ها قرار گیرند.

ب) به عنوان منابع کربن یا انرژی، رشد و یا فعالیت این ریززنده‌ها را به طور انتخابی (گزینشی) تحریک کنند. بر این اساس، پری‌بیوتیک‌ها ممکن است کربوهیدرات‌های هضم ناپذیر (NDCs) انواع خاصی از پپتیدها و پروتئین‌ها، انواع خاصی از لیپیدها و حتی برخی املاح و یون‌ها باشند. مهمترین و ثمربخش‌ترین پری‌بیوتیک‌ها، الیگوساکاریدها یا کربوهیدرات‌های زنجیر کوتاه (SCCs) هستند (۱۰۶).

برخی مزایای سلامت بخش پری‌بیوتیک‌ها به شرح زیر است:

الف) کم‌کالری و رژیمی بودن؛

ب) برخورداری از اثرات دارویی؛

پ) تخلیه سریعتر محتویات روده به علت افزایش تحرک روده‌ای، گفته شده است که فروکتان‌های نوع اینولین از موثرترین فیبرها در این ارتباط هستند؛

ت) اثرات ضد سرطانی و تحریک سیستم ایمنی بدن؛

ث) افزایش جذب عناصر معدنی و کاهش ریسک ابتلا به پوکی استخوان به دلیل افزایش زیست‌فراهمی کلسیم، فیبرهایی نظیر اینولین به دلیل ایجاد فشار اسمزی، به اجتماع آب نسبتاً زیاد در روده بزرگ و حلالیت بهتر عناصر می‌انجامد (۸۸).

نتایج تحقیقات گریفین و همکاران (۲۰۰۳) نشان دهنده اثر سینرژیستی و افزایش جذب املاح به خصوص کلسیم و منیزیم در رژیم‌های حاوی اینولین بود به طوری که مصرف روزانه ۸ گرم اینولین به همراه منابع و غذاهای حاوی کلسیم میزان جذب را تا ۳۳٪ افزایش داد (۵۵).

کربوهیدرات‌های پری‌بیوتیک را می‌توان به دو دسته لیگوساکاریدها (۲۰-۲ واحد منومری) و پلی‌ساکاریدها (بیش از ۲۰ واحد منومری) تقسیم بندی کرد. لیگوساکاریدها شامل لاکتولوز، لاکتوساکارز، ایزومالتوالیگوساکاریدها، گزیلولیگوساکاریدها، فروکتوالیگوساکاریدها (FOS)، گالاکتوالیگوساکاریدها، لیگوساکاریدهای سویا و لیگوساکاریدهای شیر انسان هستند. از پری‌بیوتیک‌های پلی‌ساکاریدی هم می‌توان به نشاسته مقاوم و فیبر رژیمی اشاره کرد.

فروکتوالیگوساکاریدها، زیر گروهی از اینولین‌اند، به طور خاص پلی‌فروکتوز آنها با درجه پلی‌مراسیون کمتر از ۱۰ در گیاهان معینی از قبیل کنگر فرنگی، ریشه کاسنی، تره فرنگی، پیاز، سیر، جو دوسر، جو و چاودار یا گندم سیاه تشخیص داده شده است. فروکتوالیگوساکاریدها و اینولین نیز در معده و روده کوچک انسان هضم نشده و به صورت دست نخورده وارد روده بزرگ می‌شوند و در آنجا رشد گونه‌های بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس را تشدید می‌کنند (۹۹).

فروکتوالیگوساکاریدها در مجموع مهمترین پری‌بیوتیک‌ها به شمار می‌روند. این ترکیبات از نظر شیمیایی فروکتان‌هایی هستند که درجه پلیمری شدن آنها متفاوت است. برای مثال در صورتی که درجه پلیمری شدن ۶۰-۲ باشد، آنها را اینولین و چنانچه این شاخص ۲۰-۲ باشد، لیگوفروکتوز می‌نامند. فروکتوالیگوساکاریدها دارای چندین فروکتوز هستند که می‌توانند به ریشه‌های گلوکز متصل شوند. پیاز، سیر، کاسنی تره فرنگی، کنگر فرنگی (آرتیشو) و در مقادیر کمتر سبوس غلات از مهمترین منابع لیگوفروکتوز و اینولین محسوب می‌شوند (۹۷، ۹۹، ۱۱۵).

با توجه به شواهد متضاد، به نظر می‌رسد که اثر فروکتوالیگوساکاریدها بیشتر از گونه‌ها و نژادهای باکتریایی به نوع آن بستگی دارد. برای مثال در اغلب پژوهش‌ها گزارش شده است که اینولین تحریک کننده رشد بیفیدوباکتریوم‌ها است. لاکتولوز، لاکتیتول و لاکتوبیونیک اسید از مشتقات هضم ناپذیر لاکتوز با خاصیت پری بیوتیکی هستند و رشد بیفیدوباکتریوم‌ها و لاکتوباسیلوس‌ها را تحریک می‌کنند. این ترکیبات از آب پنیر تهیه می‌شوند (۸۸، ۹۷، ۱۱۵).

غلات مهم فیبرهای رژیمی هستند. این فیبرها کم و بیش خاصیت پری‌بیوتیکی دارند و عمدتاً غنی از پنتوزان‌ها (آرابینوزایلان‌ها) همی سلولزها، گلوکان‌ها هستند. به طور کلی گزارش شده است مالتودکسترین واسیدهای چند غیر اشباع افزایش در روده کوچک و فروکتوالیگوساکاریدها در روده بزرگ جمعیت پروبیوتیک‌ها را افزایش می‌دهند. دیده شده است که مالتودکسترین‌ها بر رشد برخی از پروبیوتیک‌ها نظیر ل. پاراکازئی اثر تشدید کننده قابل توجه دارند،

به طوری که در حضور این ترکیبات، باکتری یاد شده قادر به مهار کردن اشرشیاکلاهی، کلستریدیوم و آنتروباکتریاسه است.

نشاسته مقاوم از دیگر ترکیبات مورد استفاده به عنوان ترکیبات سین‌بایوتیک است. محبی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثر پری بیوتیک‌های بتا گلوکان و نشاسته مقاوم، بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر محصولات تخمیری پرداختند. در این پژوهش پری بیوتیک‌های بتا گلوکان در سطوح ۰/۸، ۱ و ۱/۲ درصد و نشاسته مقاوم در سطوح ۵/۵، ۸ و ۱۰/۵ درصد استفاده گردیدند (۱۳۵).

همایونی راد و همکاران (۱۳۹۵) نیز اثر افزودن نشاسته مقاوم را بر خواص فیزیکی شیمیایی، رئولوژیکی، حسی و پخت ماکارونی پری بیوتیک بررسی کردند. بر اساس نتایج، ماکارونی غنی شده با ۷/۵ درصد نشاسته مقاوم نوع دو در مجموع بهترین و مناسب‌ترین تیمار معرفی شد (۱۳۸).

## ۲-۱۵- افزایش زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها

قابلیت زیستی اندک پروبیوتیک‌ها در شرایط دشوار فراورده‌های غذایی و نیز شرایط اسیدی- صفاوی دستگاه گوارش، پژوهشگران را به یافتن شیوه‌های بهبود این خاصیت ترغیب کرده است. ریزپوشانی به عنوان یکی از روش‌های نوین اثر قابل ملاحظه‌ای در این ارتباط داشته است. از دیدگاه میکروبیولوژی، ریزپوشانی عبارت است از پوشش دادن لایه‌ای از هیدروکلوئیدها به دور سلول‌های ریززنده‌ها در مقیاس میکروسکوپی و محصور کردن آنها به منظور تفکیک کردن از محیط به نحوی که آزاد سازی هدفمند سلولها (در مکان و زمان مناسب) را در پی داشته باشد. از جمله عوامل آزاد سازی می‌توان به تغییرات پی اچ، تنش‌های مکانیکی، گرما، فعالیت آنزیمی، زمان، فشار اسمزی، انتشار آهسته رطوبت از خلال پوشینه و حضور ترکیبات شیمیایی اشاره کرد. بنابراین، ریزپوشینه‌ها به عنوان عوامل تفکیک کننده سلول‌ها از محیط عمل می‌کنند. تفکیک سلول‌ها از محیط اساساً به منظور ایمن سازی آنها از شرایط نامناسب و شدید محیطی نظیر اسیدیته بالا و پی اچ پایین، نمک‌های صفاوی، انجماد شدید یا خشک شدن انجمادی، اکسیژن مولکولی، خشک شدن پاششی، باکتریوفاژها و ترکیبات شیمیایی پادمیکروبی و در نتیجه آن جلوگیری از آسیب و یا افت سلولی صورت می‌گیرد، هر چند می‌تواند اهداف دیگری همچون تثبیت و یا بهبود خواص حسی فرآورده، نامتحرک کردن ریززنده‌ها برای مقاصد خاص و تثبیت آنها به منظور سهولت در استفاده اشاره داشت. در یک جمله، هدف اصلی ریزپوشانی پروبیوتیک‌ها ایجاد امکان انتقال و آزاد سازی ایمن آنها در نقاط مورد نظر در بدن است (۱۳).

پروبیوتیک‌ها بیشتر به فرآورده‌های لبنی افزوده می‌شوند، اما غلات نیز گزینه مناسبی برای تولید فرآورده‌های پروبیوتیک به شمار می‌روند. غلات بر خلاف فرآورده‌های لبنی، فاقد لاکتوز، ترکیبات حساسیت‌زا و کلاسترول می‌باشند. یکی از فرآورده‌های پروبیوتیک بر پایه غلات، نان پروبیوتیک است که تولید آن، به دلیل اعمال حرارت پخت و اثرات کشندگی آن بر پروبیوتیک‌ها، گسترش چندانی نیافته است. یکی از روش‌های افزایش بقای پروبیوتیک‌ها در برابر تنش‌های محیطی، ریزپوشانی است (۵۳، ۱۰۵).



ریزپوشانی کاربردهای زیادی در صنایع غذایی دارد. برای پایدار کردن مواد درون دانک، کنترل شروع واکنش، کنترل زمان و سرعت رها شدن مواد، برای پوشاندن طعم‌ها، رنگ‌ها و بوها، برای تشخیص فشار، افزایش ماندگاری، حفاظت از ترکیبات غذا و حفظ ارزش تغذیه‌ای، برای تبدیل یک مایع به شکل جامد، برای کاهش فرار بودن و جدا نگهداشتن مواد فعال از این روش بهره‌برداری می‌شود. ماندگاری شیر خام را با افزودن دانک‌های آلزینات کلسیم حاوی باکتری‌های اسیدلاکتیک شامل لاکتوکوکوس لاکتیس و لاکتوباسیلوس هلوتیکوس می‌توان افزایش داد. یکی از دلایل ریزپوشانی اجزای غذاها، تأخیر در آزاد شدن این ترکیبات در طول فرآیند است. به عنوان مثال شیرین‌کننده‌های مصنوعی را در داخل دانک قرار داده و در مقابل دمای بالای فرآیند پخت محافظت می‌نمایند. در این صورت شیرین‌کننده مصنوعی در اثر دماهای بالا تجزیه نشده ولی در پایان فرآیند به بیرون از دانک رها می‌شود و در نتیجه محصول نهایی دارای مزه شیرین خواهد بود. در غذا، رهایش کنترل شده پروبیوتیک‌های درون دانک، به این معنی است که این باکتری‌ها به طور یکجا در معرض شرایط غذا و دستگاه گوارش قرار نمی‌گیرند بلکه به تدریج از درون دانک آزاد شده و طی مدت زمانی طولانی، جمعیت پروبیوتیک‌ها در داخل روده به طور مداوم تجدید می‌گردد (۵۳، ۱۰۵).



Archive of SID

### ۱-۳ مواد اولیه

برای تولید اسنک، آرد ذرت از کارخانه زرین طلایی، بلغور ذرت از کارخانه زرین طلایی، روغن ذرت تصفیه شده، عدس، نخود و کنجد پوست‌گیری شده از بازار محلی تهیه گردید.

برای تولید فیلم، پتاسیم پرسولفات، اتانول، متانول، ۲و۲ دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل ۱۷، و ۲-۲ آزینبیس - ۳- اتیل بنزوسیزولین-۶- اسید سولفونیک ۱۸، ۲-۶ دی‌کلروفنل ایندوفنل، تیوسیانات آمونیوم، پودر آهن، اسید کلریدریک، کلروفرم، پراکسید هیدروژن، کلرید باریم دو آبه، سولفات آهن هفت آبه، محیط کشت نوترینت آگار ۱۹ و محیط کشت پوتیتو دکستروز آگار ۲۰ از شرکت مرک خریداری شد. محلول رینگر، بی‌کربنات سدیم از شرکت سیگما خریداری شد. پلیمرهای LDPE<sup>۲۱</sup> گرید ۰۲۰۰، EVOH و LDPE گرفت شده با اسید مالئیک از شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران و سدیم ال آسکورات از شرکت دای جونگ کره جنوبی خریداری شدند.

### ۲-۳ تولید عدس جوانه زده

برای تولید عدس جوانه‌زده ابتدا، عدس تمیز و شستشو گردید و به مدت ۶ ساعت در آب در دمای اتاق خیسانده شد (۱۵). سپس از آب گرفته و دانه‌های عدس خیس شده درون سینی‌های مشبکی بر روی پارچه کتان به مدت ۳ روز در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتیگراد) و در تاریکی قرار گرفت و هر ۲۴ ساعت با آب مرطوب گردید. در نهایت دانه‌های جوانه زده به آن هوای داغ ۵۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۶ ساعت منتقل و خشک گردید (۸۱).



شکل ۱۸- قسمتی از عدس‌های جوانه‌زده

### ۳-۳ آزمون‌های شیمیایی

#### ۱-۳-۳ اندازه‌گیری رطوبت

با توجه به روش (AOAC 925.10, 2002) میزان رطوبت مواد خام و محصول تعیین شد (۲).

<sup>17</sup> 2,2 Di-phenyl-1-Picryl-Hydrazyl (DPPH)

<sup>18</sup> 2,2-Azino-bis (3-ethyl-benzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS)

<sup>19</sup> Nutrient agar

<sup>20</sup> Potato dextrose agar

<sup>21</sup> LowDensity Poly Ethylene

**۳-۳-۲- اندازه‌گیری پروتئین**

با توجه به روش (AOAC 955.04, 2002) و با کمک دستگاه کلدال اتومات مدل VAP20 ساخت شرکت Gerhardt اندازه‌گیری پروتئین انجام شد (۴).

**۳-۳-۳- اندازه‌گیری میزان قند**

با توجه به روش (AOAC 939.03, 2002) اندازه‌گیری قند صورت گرفت.

**۳-۳-۴- اندازه‌گیری خاکستر**

با توجه به روش (AOAC 923.03, 2002) اندازه‌گیری قند صورت گرفت (۳).

**۳-۳-۵- اندازه‌گیری چربی**

با توجه به روش (AOAC 920.39, 2002) اندازه‌گیری قند صورت گرفت.

**۳-۴- آماده‌سازی مخلوط پایه برای اکستروژن**

به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها برای عملیات اکستروژن با تغییراتی از روش لازو و کروکید استفاده شد. به طور خلاصه، عدس‌های جوانه زده خشک و توسط آسیاب آزمایشگاهی خرد گردید از الک کردن از با قطر ۱ میلی‌متر عبور داده شد. عدس‌های جوانه زده خرد شده به نسبت مشخص با آرد و بلغور ذرت که رطوبت آنها قبلاً اندازه‌گیری شده بود مخلوط گردید و در صورت نیاز برای تنظیم رطوبت به آن آب افزوده شد، پس از ۱۵ دقیقه مخلوط کردن، در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی گردید. برای به تعادل رسیدن رطوبت، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شدند (۸۱).

میزان رطوبت مواد خام و محصول نیز اندازه‌گیری و میزان رطوبت مخلوط ذرت و عدس به روش محاسباتی تعیین شد سپس برای تعیین میزان آب مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت مطلوب از مربع پیرسون استفاده گردید. برای کنترل، رطوبت مخلوط حاصل جداگانه تعیین گردید.

میزان رطوبت مخلوط نمونه‌ها بین ۱۳ تا ۱۹ درصد تنظیم شده بود، و در نهایت نمونه‌ها قبل از اکستروژن به دمای اتاق رسیدند.

**۳-۵- شرایط فرایند اکستروژن**

مخلوط بلغور و آرد ذرت با آرد عدس جوانه زده با رطوبت تنظیم شده توسط اکسترودر دو ماردونه با چرخش هم-جهت مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین اکستروید (شکل ۱۹). در این پژوهش اثر متغیرهای دما (۱۶۰-۱۴۰-۱۲۰ درجه سانتیگراد)، سرعت‌های ماریپیچ (۱۸۰-۱۵۰-۱۲۰ دور بر دقیقه) و میزان رطوبت خوراک (۱۹-۱۶-۱۳ درصد) بر خصوصیات محصول مورد بررسی قرار گرفت. میزان سرعت خوراک‌دهی ۳۰ کیلوگرم بر ساعت تعیین گردید. در شروع کار برای رسیدن به ثبات دستگاه ابتدا مقداری نمونه اضافه تولید و سپس بعد از رسیدن به شرایط پایدار نمونه‌برداری انجام گرفت.

محصولات اکستروود شده بلافاصله پس از تولید به آون هوای داغ برای مدت ۲ ساعت در ۴۰ درجه سانتیگراد منتقل شد، و درون کیسه‌های پلاستیکی پلی اتیلنی ضخیم قرار گرفته و دربندی گردید. نمونه‌ها را تا انجام آزمایش‌های تکمیلی دور از نور و در دمای اتاق نگهداری شد (۸۱).

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های مورد نظر شامل بافت سنجی، دانسیته، نسبت انبساط شوندگی بلافاصله پس از تولید انجام گرفت.



شکل ۱۹- اکسترودر دو ماردره

### ۳-۶- تعیین خصوصیات رنگی محصول

رنگ نمونه‌های تولید شده توسط دستگاه‌های آنترلب و به روشی که توسط ورونیکا و همکاران (۲۰۰۶) تشریح شده است اندازه‌گیری شد. به این منظور ابتدا نمونه‌ها پودر و در کاپ مخصوص ریخته شد تا سطح آن کاملاً پوشانده شود. در این آزمون مقادیر L, a, b تعیین گردید. مقادیر L که بین صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است شاخص روشنی، مقادیر مثبت a شاخص قرمزی و مقادیر منفی آن شاخص سبزی محصول می‌باشد. همچنین مقادیر مثبت b شاخص زردی و مقادیر منفی آن شاخص میزان آبی بودن محصول است (۱۰۴).

### ۳-۷- آزمون‌های خصوصیات فیزیکی

#### ۳-۷-۱- تعیین ضریب انبساط شوندگی

به طور تصادفی از هر تیمار ۱۰ قطعه از محصول اکستروود انتخاب شد و جهت اندازه‌گیری نسبت انبساط شوندگی قسمتی از دو انتهای آن را جدا کرده تا کاملاً استوانه‌ای شکل گردد. با استفاده از کولیس قطر نمونه‌های اکستروود شده و قطر قالب دستگاه اکستروژن را اندازه‌گیری کرده و در نهایت توسط رابطه زیر نسبت انبساط شوندگی محاسبه شد (۳۱).

$$\text{نسبت انبساط شوندگی} = \frac{\text{قطر نمونه اکستروود شده}}{\text{قطر دای}}$$

### ۳-۷-۲- اندازه گیری چگالی

به طور تصادفی از هر تیمار ۱۰ قطعه از محصول اکستروود انتخاب شد و جهت اندازه گیری چگالی ظاهری قسمتی از دو انتهای آن را جدا کرده تا کاملا استوانه‌ای شکل گردد. حال با استفاده از کولیس قطر و طول نمونه‌های اکستروود شده را اندازه‌گیری کرده سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰.۰۰۰۱ جرم هر نمونه را توزین گردید. در نهایت توسط رابطه زیر چگالی ظاهری محاسبه شد (۴۵).

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{4 \times m}{\pi \times D^2 \times L}$$

m: جرم محصول بر حسب گرم، D: قطر محصول بر حسب سانتیمتر، L: طول محصول بر حسب سانتیمتر

### ۳-۷-۳- تعیین سختی محصول

برای اندازه‌گیری سختی محصول از دستگاه تکسچر آنالایزر مدل (AMETEK lloyd, TA-Plus instruments Ltd, USA) مورد استفاده قرار گرفت. روش آزمایش به صورت نفوذ پروب استوانه‌ای به قطر ۲ میلی-متر بود. عمق نفوذ معادل ۸ میلی‌متر تعیین گردید.

### ۳-۸-۱- آزمون‌های خصوصیات عملکردی

#### ۳-۸-۱-۱- اندازه‌گیری خصوصیات جذب آب و محلولیت در آب

ابتدا ۰/۲ گرم محصول را به صورت پودر شده درون فالکون ۱۵ میلی لیتری که قبلا وزن شده بود اضافه شد. سپس ۵ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه و به مدت ۲ دقیقه با ورتکس هم‌زده شد. در ادامه به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت ۷۰۰g سانتریفیوژ گردید. پس از سانتریفیوژ مایع رویی به درون پتری دیش منتقل و ژل باقی مانده را با ترازوی دیجیتال با دقت ۰.۰۰۰۱ وزن شد و خصوصیت جذب آب طبق رابطه‌ی زیر بیان گردید (۸۰).

$$\text{جذب آب} = \frac{m_g}{m_s}$$

mg: وزن ژل باقی‌مانده برحسب گرم و ms: وزن نمونه برحسب گرم

برای اندازه‌گیری محلولیت در آب، مایع رویی را که پس از سانتریفیوژ به درون پتری دیش که وزن شده منتقل و در آن هوای داغ قرار داده شد. پس از رسیدن به وزن ثابت، مقدار ماده خشک باقی‌مانده توزین گردید. در نهایت توسط رابطه زیر محاسبه شد (۸۰).

$$\text{محلولیت در آب} = \frac{m_{ds}}{m_s} \times 100$$

m<sub>ds</sub>: وزن ماده خشک حاصل از آن گذاری مایع رویی پس از سانتریفیوژ بر حسب گرم و ms: وزن نمونه بر حسب گرم

#### ۳-۸-۲- اندازه‌گیری خصوصیت جذب روغن

ابتدا ۰/۵ گرم محصول را به صورت پودر شده درون فالکون ۱۵ میلی لیتری که قبلا وزن شده ریخته و توزین شد. سپس ۳ میلی لیتر روغن ذرت تصفیه شده به آن اضافه گردید و به مدت ۱ دقیقه با ورتکس آن را هم‌زده و ۳۰

دقیقه آن را به حال خود گذاشته و در ادامه به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت ۷۰۰g ساتریفیوژ گردید. در نهایت توسط رابطه زیر محاسبه شد (۸۰).

$$\text{جذب روغن} = \frac{V_{oil}}{m_s}$$

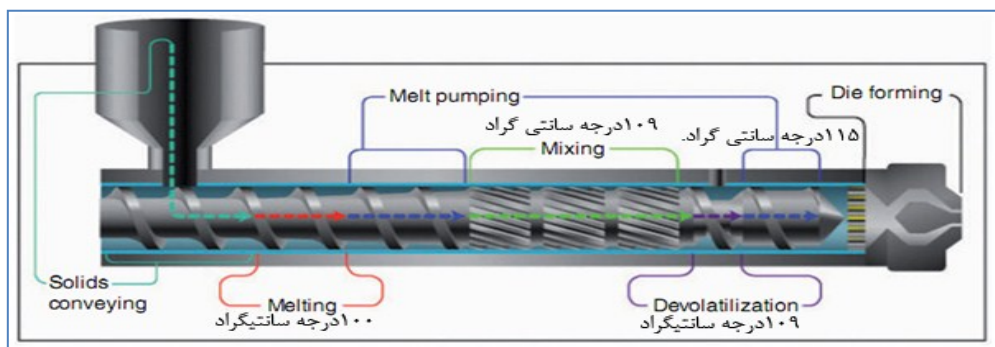
Voil : حجم روغن جذب شده بر حسب میلی لیتر و ms : وزن نمونه بر حسب گرم

### ۳-۹- روش تولید فیلمها

در اولین مرحله پلیمر LDPE و EVOH به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، گرمخانه گذاری شد تا رطوبت آن‌ها حذف شود. به منظور تولید فیلم‌های فعال، سدیم اسکوربات (به صورت پودری با اندازه ذرات میکرو و نانو) و یا EVOH به نسبت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد با پلیمر LDPE مخلوط گردید. فیلم حاصل از پلیمر LDPE به تنهایی به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. فرایند تولید فیلم‌ها با استفاده از دستگاه اکسترودر دو ماریچچه همسو (مدل ZSK، ساخت کشور آلمان) با قطر پیچ (D) ۱۲ میلی‌متر، طول پیچ (L/D) ۲۴ میلی‌متر، عرض دای ۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۰/۲۵ میلی‌متر انجام گرفت. پروفایل دمایی از محل تغذیه تا دای به ترتیب ۱۰۰-۱۰۹-۱۰۹-۱۱۵ درجه سانتی‌گراد بود (طبق شکل ۳-۱). سرعت چرخش ماریچچه ۴۰ دور در دقیقه بود. پروفایل خارج شده از دستگاه در حوضچه آب سرد تا دمای تقریبی ۱۰ درجه سانتی‌گراد خنک شد و نوار بدست آمده توسط آسیاب دستگاه به صورت گرانول‌های کوچک درآمد. گرانول‌های تولیدی در آون فن‌دار با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت گرمخانه‌گذاری شد تا رطوبت اضافی آن گرفته شود.

در مرحله بعد برای تولید فیلم، گرانول‌های تولیدی به داخل دستگاه فیلم بلندر (Brabender، ساخت کشور آلمان) منتقل شد. پروفایل دمایی دستگاه به ترتیب از محل ورود مواد تا دای محل خروج ۱۱۰-۱۲۰-۱۲۵-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش ماریچچه ۴۷/۲ دور بر دقیقه بود.

در مرحله بعد فیلم با استفاده از دستگاه کشش و جمع کن، با دور ۲۷ متر در دقیقه کشیده و جمع شد. ضخامت فیلم‌های تولید شده ۷/۵ میکرون بود. فیلم‌های تولیدی، تحت خلا بسته‌بندی شده و تا زمان انجام آزمایشات داخل یخچال نگهداری گردیدند.



شکل ۲۰- پروفایل دمایی اکسترودر

علاوه بر تولید فیلمهای فعال، فیلمهایی با ضخامت‌های متفاوت (۱۵، ۳۰ و ۴۵ میکرومتر) از پلیمر LDPE تهیه شد. همچنین با لمینیت کردن فیلمهای تک لایه LDPE با ضخامت ۷/۵ میکرومتر، فیلمهای چند لایه (دو لایه، سه لایه و چهار لایه) به دست آمد. بدین ترتیب ضخامت فیلمهای چند لایه ۱۵، ۲۲/۵ و ۳۰ میکرومتر بود.

### ۳-۹-۱ آزمون‌های مربوط به فیلم بسته‌بندی

#### ۳-۹-۱-۱ آزمون مهاجرت

اندازه‌گیری میزان مهاجرت، در محیط‌های مختلف مواد غذایی با استفاده از مدل‌های شبیه سازی شده<sup>۲۲</sup> انجام می‌گیرد که با استفاده از این محیط‌ها می‌توان مهاجرت ترکیب خاصی از مواد را از پلیمر به داخل محیط و مواد غذایی تخمین زد. مدل استفاده شده برای شبیه سازی محیط چربی، مخلوط اتانول و آب مقطر به نسبت ۹۵ به ۵ و برای محیط آبی نسبت ۱۰ به ۹۰ بود. از فیلم‌های تهیه شده برش‌هایی به مساحت ۶ سانتی‌متر مربع (۲/۴×۲/۵) تهیه شد. برش‌ها در ظروف سوویرال<sup>۲۳</sup> قرار داده شده و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول مدل به آن اضافه شد. ظروف تحت فشار گاز نیتروژن درب‌بندی شده و داخل آن با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در مدت یک ماه و در فواصل زمانی سه روزه آزمون‌های مهاجرت شامل اندازه‌گیری DPPH و ABTS و اندازه‌گیری آسکوربات روی نمونه‌ها انجام شد (۴۱).

#### آزمون DPPH

برای تعیین فعالیت ضداکسایشی فیلم‌های تولید شده (که قبلاً در محلول‌های مدل قرار گرفته بودند)، از روش اندازه‌گیری کاهش ظرفیت رادیکالی (RSC)<sup>۲۴</sup> به کمک ۲۰۲ دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل استفاده گردید. DPPH، ترکیبی است بنفش رنگ که به دلیل حضور گروه‌های فنیل در ساختارش به راحتی به صورت رادیکال درآمده و در واقع منبع رادیکال آزاد می‌باشد. این ترکیب با گرفتن یک الکترون از ترکیب ضداکساینده<sup>۲۵</sup>، رنگ محیط را از بنفش به زرد رنگ تغییر می‌دهد. رادیکال آزاد DPPH در ۵۱۷ نانومتر جذب دارد که از قانون بیرلامبرت پیروی می‌کند و کاهش جذب آن با میزان ضداکساینده رابطه خطی دارد. هرچه به میزان ضداکساینده افزوده شود، DPPH بیشتری مصرف شده و رنگ بنفش بیشتر به سمت زرد میل می‌کند. در این روش ۴ میلی‌لیتر از محلول DPPH ۰/۰۶ میلی‌مولار که به وسیله متانول به حجم رسیده بود، به ۵۰۰ میکرولیتر از نمونه اضافه گردید؛ سپس اجازه داده شد در مکان تاریک به مدت نیم ساعت باهم واکنش داده و جذب آن در ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفوتومتر (SHIMADZU UV 160A) خوانده شد. درصد RSC با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\%RSC = 1 - (Abs\ control - Abs\ sample) \times 100$$

که در آن Abs sample و Abs control به ترتیب جذب شاهد و جذب نمونه می‌باشد. نمونه بلانک متانول می‌باشد (۷۵).

<sup>22</sup> Simulant

<sup>23</sup> Suviral tubs

<sup>24</sup> Radical Scavenging Capacity

<sup>25</sup> Antioxidant



### آزمون ABTS

برای انجام این آزمون از معرف رنگی  $ABTS^{+}$  استفاده می‌شود. به این منظور  $7/4$  میلی مولار از  $ABTS^{+}$  (محلول در آب مقطر) به  $2/6$  میلی مولار محلول پتاسیم پرسولفات (محلول در آب مقطر) اضافه شد و پس از گذشت ۱۲ ساعت در دمای اتاق و در مکان تاریک واکنش انجام گرفت. سپس ۱۵۰ میکرولیتر از نمونه با ۲۸۵۰ میکرولیتر از محلول  $ABTS^{+}$  پتاسیم پرسولفات و متانول (نسبت ۱:۶۰) ترکیب و به مدت دو ساعت در تاریکی قرار داده شد تا واکنش کامل شود. سپس جذب آن در ۷۳۴ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل SHIMADZU UV 160A) خوانده شد. این مقدار از فرمول زیر محاسبه شد (۲۸).

$$I(\%) = 1 - (\text{Abs control} - \text{Abs sample}) \times 100$$

که در آن I، درصد بازدارندگی، Abs control و Abs sample به ترتیب جذب شاهد و جذب نمونه می‌باشند.

### اندازه‌گیری آسکوربات

اندازه‌گیری مهاجرت سدیم آسکوربات از فیلم به محلول مدل، به وسیله میزان احیاء شوندرگی ۲و۶-دی کلروفنل ایندوفنل انجام گرفت. این محلول رنگی توسط ترکیب سدیم آسکوربات احیاء می‌شود و به صورتی تا زرد تغییر رنگ می‌دهد.

مقدار ۵۰ میلی‌گرم از نمک سدیم ۲و۶-دی کلروفنل ایندوفنل در ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر داغ (دما ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد) که حاوی ۴۲ میلی‌گرم بی‌کربنات سدیم بود، در یک بالن حجمی ۲۰۰ میلی‌لیتری حل شد و پس از خنک شدن با آب مقطر به حجم رسید و سپس صاف شد. این محلول تا هنگام انجام آزمون درون ظروف تیره، در یخچال نگهداری شد (استاندارد ملی ایران، ۱۳۹۰).

سه میلی‌لیتر از محلول مدل برداشته شد و به آن ۶ میلی‌لیتر از محلول رنگی ۲و۶-دی کلروفنل ایندوفنل اضافه و اجازه داده شد در دمای محیط و مکان تاریک به مدت ۳۰ دقیقه واکنش کامل شود و سپس جذب آن در طول موج ۵۰۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر (SHIMADZU UV 160A) اندازه‌گیری شد. میزان مهاجرت از فرمول زیر محاسبه شد.

$$100 \times (\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}) = 1 - \text{درصد احیاء کنندگی}$$

### ۳-۱-۹-۲ اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری به بخار آب (WVP)<sup>۲۶</sup>

برای اندازه‌گیری انتقال بخار آب از روش ASTM E96 (۱۹۹۵) استفاده شد. برای این کار از ویالهای مخصوصی با قطر ۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۴ سانتی‌متر استفاده شد. در درپوش این ویال‌ها منفذی به قطر ۱ میلی‌متر قرار دارد که قطع‌هایی از فیلم مورد آزمون در این قسمت قرار می‌گیرد. ۳ گرم سولفات کلسیم در داخل ویال‌ها قرار داده شد. قطعه‌ای از فیلم بریده شده و در درپوش ویال قرار گرفته و بر روی ویال بسته شد. ویال‌ها با تمام محتویاتش توزین شده و

<sup>26</sup> Water Vapor Permeability

درون دسیکاتور حاوی محلول اشباع کلریدسدیم قرار گرفتند. دسیکاتور در درون انکوباتور در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد قرار گرفت و به مدت یک هفته هر ۲۴ ساعت یکبار وزن ویالها اندازه‌گیری شد.

مقدار بخار آب انتقال یافته از فیلمها، از روی افزایش وزن ویالها با گذشت زمان رسم شد و پس از محاسبه رگرسیون خطی، شیب خط حاصل محاسبه گردید. از تقسیم کردن شیب خط مربوط به هر ویال به کل سطح فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار داشت، آهنگ انتقال بخار آب (WVTR) به دست آمد. میزان نفوذپذیری فیلمها به رطوبت از فرمول ۲-۴ محاسبه شد: نفوذپذیری به بخار نیز طبق رابطه زیر محاسبه شد.

$$WVP = (WVTR * X) / P$$

که در آن X ضخامت فیلم به میلی‌متر و P فشار بخار آب خالص در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است (۱).

### ۳-۹-۱-۳ اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری به اکسیژن (OTR<sup>۲۷</sup>)

میزان نفوذپذیری به اکسیژن فیلمهای فعال با استفاده از دستگاه<sup>۲۸</sup> Gas permeability tester (مدل Brugger 219، ساخت کشور آلمان) اندازه‌گیری شد.

به منظور انجام آزمایش ابتدا نمونه‌های فیلم بسته‌بندی به مساحت ۷۸/۴ سانتی‌متر مربع بریده شد و سطح آن گریس کاری گردید تا کاملاً صاف و بدون چین‌خوردگی و تاخوردگی باشد. نمونه در محل مربوطه در داخل دستگاه قرار داده شد. پس از روشن شدن دستگاه و سیرکولاتور آن، دستگاه در حالی قرار گرفت که تنها در زیر نمونه خلاء ایجاد شود. سپس نمونه در معرض جریانی از گاز اکسیژن (خلوص ۹۹/۵ درصد) قرار گرفت. پس از اتمام آزمون و ثابت شدن عدد مربوطه به نفوذپذیری گاز اکسیژن و ثبت اطلاعات مربوط به نمونه در دستگاه، OTR بر اساس محاسبه نسبت سرعت عبور گاز به اختلاف فشار در دو طرف فیلم (اختلاف فشار محیط آزمون و محیط) بدست آمد که واحد آن بر حسب میلی‌لیتر بر متر مربع در روز و فشار معین بیان می‌شود (۱۰۹).

### ۳-۹-۱-۴ تعیین ریزساختار سطحی فیلمها

سطح فیلم به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (مدل Cambridge S360، ساخت کشور امریکا) در ۱۲ kv آنالیز و نمونه‌ها قبل از آنالیز به وسیله لایه‌ای از طلا پوشش داده شد تا میزان نفوذ الکترون‌ها و پرتو افزایش یابد. تصاویر در دو بزرگ‌نمایی ۵۰۰x و ۳۰۰x تهیه شد (۱۰۹).

### ۳-۹-۱-۵ اندازه‌گیری میزان کشش‌پذیری فیلم

برای این آزمون فاکتورهایی تعیین شده که عبارت است از Tensile strength که بیان‌گر افزایش طول فیلم نسبت به طول اولیه و Elongation break که نشان دهنده حداکثر کشش طول فیلم است. این تست با استفاده از دستگاه کشش سنج (شرکت Cometech، مدل QC-508B1، ساخت تایوان) انجام گرفت به منظور انجام تست ابتدا فیلمی با ابعاد ۱۰ × ۱/۵ سانتی‌متر جدا شده و در پروپ کششی دستگاه جاگذاری شد. دستگاه روشن و سپس دکمه

27 Oxygen Transmission Rate  
28 GDP-C

SET فشرده شد. سپس با فشرده شدن دکمه Data بر روی Tensile، Test Type تنظیم گردید. برای ایجاد کشش فیلم، سرعت آزمون بر روی ۲۵ سانتی متر بر دقیقه تنظیم شد. Gauge Length بر روی ۱۰ cm تنظیم گردید. در نهایت مقادیر کشش، با قرائت عدد مربوطه از روی دستگاه و پس از ترسیم میزان stress (نیروی وارده) در مقابل strain که مقدار strain از فرمول زیر بدست آمد (۲۷).

$$Strain = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

### ۳-۹-۱-۶ رنگ‌سنجی فیلم‌ها

به منظور ارزیابی رنگ فیلم‌های تهیه شده و مقایسه با نمونه‌های شاهد، رنگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌های کنترل مدل colorflex ساخت امریکا اندازه‌گیری شد. ابتدا برشی از فیلم‌های تولید شده در فنجانک دستگاه قرار گرفت و سپس آزمون رنگ‌سنجی انجام شد.

تفاوت‌های رنگی در دو روش بصورت ارزش‌های CIELAB شامل  $L^*$  (روشنی)،  $a^*$  (قرمزی-سبزی) و  $b^*$  (زردی-آبی) ثبت گردید. رنگ سنج با استفاده از صفحه سیاه و سفید ( $x = 77/25$ ،  $y = 82/09$  و  $z = 87/27$ ) استاندارد شد. برای هر نمونه فنجانک در ۶ زاویه مختلف قرار گرفته و در هر زاویه ارزش‌های فوق خوانده گردید.

برای بدست آوردن همبستگی بهتر بین تفاوت‌های رنگی و دیداری، اختلاف کلی رنگ سنجی  $\Delta E$  برای هر نمونه از فرمول زیر محاسبه شد.

$$\Delta E = \sqrt{(L-L^*)^2 + (a-a^*)^2 + (b-b^*)^2}$$

که در آن:

$L^*$  = شاخص روشنی فیلم LDPE خالص؛  $a^*$  = شاخص زردی فیلم LDPE خالص؛  $b^*$  = شاخص قرمزی فیلم LDPE خالص است (۱۳۴).

### ۳-۹-۱-۷ آنالیز حرارتی فیلم‌ها

روش آنالیز توزین حرارتی یا TGA<sup>۲۹</sup> ساده‌ترین روش آنالیز حرارتی است که اساس آن بر اندازه‌گیری وزن نمونه در هنگام گرمایش استوار است. این روش زمانی که ماده در خلال گرمایش، تجزیه شود و یا با محیط گازی اطراف خود واکنش کند، اطلاعات مفیدی را ارائه خواهد کرد. دستگاه توزین حرارتی دارای یک ترازوی الکترونیکی حساس است که تغییر وزن نمونه را بر اساس تغییر جریان الکتریکی، در یک سیم پیچ اندازه‌گیری می‌کند. نمونه، در داخل بوته‌ای از جنس پلاتین یا آلومینا، به صورت آویزان در داخل کوره قرار می‌گیرد. انتهای سیم آویز، به یک هسته مغناطیسی متصل است که به دلیل تغییر وزن، به داخل استوانه سیم پیچ، وارد و یا از آن خارج می‌شود. بر حسب حرکت

<sup>29</sup> Thermogravimetric Analysis

این هسته، جریان الکتریکی متناسب با تغییر وزن نمونه، در سیم پیچ القا و پس از تقویت به قسمت ثبت کننده فرستاده خواهد شد.

دمای نمونه با ترموکوپلی که در نزدیکی و زیر بوته‌ای که نمونه در آن قرار دارد اندازه‌گیری می‌شود. در قسمت ثبت کننده جریان القا شده در سیم‌پیچ که متناسب با تغییر وزن نمونه است، محور عمودی و جریان الکتریکی پدید آمده در ترموکوپل به عنوان محور افقی، منحنی تغییر وزن نمونه را نسبت به دما رسم می‌کنند.

به منظور انجام آزمون از دستگاه Bahr مدل STA 503 ساخت کشور آلمان استفاده شد. ۱۳ میلی‌گرم از صفر تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت افزایش دمایی معادل ۵ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه تحت اتمسفر محیط حرارت داده شد تا بخارات حاصل از تجزیه حرارتی ترکیبات فرار پلیمر آنالیز گردد.

### ۳-۹-۱-۸- آزمون FTIR

طیف سنجی مادون قرمز یکی از روش‌های متداولی است که جهت شناسایی پلیمرها و برخی افزودنی‌های آنها، مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرکانس تشعشع الکترومغناطیس در ناحیه مادون قرمز (IR) مطابق با فرکانس ارتعاش طبیعی اتم‌های یک پیوند است و پس از جذب امواج مادون قرمز در یک مولکول، باعث ایجاد یک سری حرکات ارتعاشی در آن می‌شود که اساس و مبنای طیف سنجی مادون قرمز را تشکیل می‌دهد.

تقریباً تمامی ترکیباتی که پیوند کوالانسی دارند، اعم از آلی یا معدنی، فرکانس‌های متفاوتی از اشعه الکترومغناطیس را در ناحیه مادون قرمز جذب می‌کنند. انرژی جذب شده از نور مادون قرمز توسط پیوندهای شیمیایی یا گروه‌های عاملی خاص در طول موج مشخص، منجر به کاهش شدت عبور نور شده و معمولاً به عنوان تابعی از عدد موجی (بر حسب  $\text{cm}^{-1}$ ) رسم می‌شود.

جهت ثبت طیف زیرقرمز، فیلم مورد نظر در محفظه نمونه و در مقابل نور زیرقرمز قرار گرفت. برای انجام آزمون از دستگاه Shimadzu-4300 FTIR Spectromphotoeter استفاده شد (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۷).

### ۳-۱۰- آماده سازی باکتری پروبیوتیک

جهت آماده سازی باکتری *L. acidophilus* LA5، مقدار ۱ گرم از کشت خشک شده انجمادی به ۱۰۰ میلی لیتر از محیط کشت MRS Broth تلقیح شد و در دمای  $37^{\circ}\text{C}$  به مدت ۶ تا ۸ ساعت گرمخانه گذاری گردید. مقدار یک میلی لیتر از محیط فوق به ۹۹ میلی لیتر از محیط کشت MRS Broth جدید انتقال داده شد و به صورت ۱٪ رقیق و سپس در دمای  $37^{\circ}\text{C}$  به مدت ۶ تا ۸ ساعت گرمخانه گذاری شد. کشت مذکور در طول هفته بر حسب تعداد سلول مورد نیاز به محیط کشت تازه انتقال داده شد و بعد از ۶ تا ۸ ساعت گرمخانه گذاری در یخچال و در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  نگه داری شد. هدف از انجام این کار دسترسی دائم به فاز لگاریتمی بود. سلول‌های پروبیوتیکی حاصل بعد از سانتریفوژ در  $4500\text{ g}$  به مدت ۱۰ دقیقه و در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  جداسازی شدند. سپس عمل شستشوی سلول‌های جدا شده با استفاده از محلول ۱٪ پپتون واتر تحت شرایط فوق در دو تکرار انجام و از آن جهت تلقیح مستقیم استفاده گردید (۱۳۷).

### ۳-۱۱- آماده سازی مواد تشکیل دهنده ریزپوشینه

روش آماده سازی مواد تشکیل دهنده دیواره طبق روش احمدی و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد (۶). براین اساس، ابتدا مقدار ۱۸ گرم از آلژینات سدیم با ویسکوزیته متوسط در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر با استفاده از همزن مغناطیسی حل شده و سپس به مدت یک شب در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  نگه داری گردید تا آلژینات به خوبی آب جذب کند. سپس پودر اینولین را به نسبت پنج درصد به سوسپانسیون فوق افزوده و جهت استریل محلول، فرایند اتوکلاو انجام گردید. سوسپانسیون استریل با یک گرم از پلت باکتری شستشو شده حاوی  $10^{12}$  CFU/g باکتری زنده مخلوط و به ۱۰۰ گرم روغن نباتی مایع (کلزا) حاوی توپین ۸۰ (پنج گرم در لیتر) اضافه شد و با استفاده از همزن مغناطیسی با سرعت ۹۰۰ آر.پی.ام. به مدت ۲۰ دقیقه به صورت یکنواخت پراکنده گردید. عمل ژلاتیناسیون با اضافه کردن ۱۰۰ میلی لیتر از یک امولسیون حاوی یون کلسیم (تهیه شده از انحلال ۶۰ گرم روغن مایع کلزا، توپین ۸۰ (پنج گرم در لیتر) و ۶۲/۵ میلی مولار کلرور کلسیم آغاز گردید. همزدن به مدت ۲۰ دقیقه دیگر نیز ادامه یافته تا عمل ژلاتیناسیون کامل شود. در نهایت یک سیستم دو فاز به دست آمد که مدت، ۳۰ دقیقه دیگر نیز ادامه یافته تا عمل ژلاتیناسیون کامل شود. در نهایت یک سیستم دو فاز به دست آمد که فاز رویی آن روغن و فاز پایینی آن دانک های آلژینات ته نشین شده در محلول کلرور کلسیم بود. در این مرحله فاز روغنی حذف و جداسازی دانک ها با استفاده از سانتریفوژ در ۵۰۰g و در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  به مدت ۵ دقیقه صورت پذیرفت. عمل شستشوی دانک ها نیز با استفاده از محلول ۱٪ پپتون واتر و با استفاده از سانتریفوژ تحت شرایط فوق انجام شد. دانک های آلژینات سدیم حاصل، جهت تلقیح مستقیم استفاده شدند. عمل ریزپوشانی باکتری با استفاده از روش ژلاتیناسیون خارجی و مطابق گزارش الان (۲۰۰۸) انجام پذیرفت (۹).

### ۳-۱۲- شمارش تعداد باکتری ها

شمارش با استفاده از محیط MRS Agar و کشت در شرایط هوازی و در دمای  $37^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت انجام شد (۶۹).

### ۳-۱۳- افزودن میکرو ارگانیزم پروبیوتیک به پوشش درازه

از آنجا که هدف آزمون غنی سازی روکش اسنک با ارگانیزم پروبیوتیک بود، در این مرحله باکتری ریزپوشانی لیوفیلیزه به فرمولاسیون درازه افزوده شدند. ترکیبات درازه شامل روغن، اینولین، پودر آب پنیر، نمک، رنگ خوراکی طبیعی (کورکومین) و باکتری ریزپوشانی شده بود.

برای دستیابی به موفقیت در زمینه افزایش مصرف غذاهای فراسودمند پروبیوتیک، لازم است صنعت غذا رضایت مصرف کنندگان را فراهم سازد. از این رو همه غذاهای پروبیوتیک باید حاوی تعداد مشخصی از نژادهای پروبیوتیک در طی ماندگاری باشند. قبل از اینکه یک گونه پروبیوتیک بتواند به مصرف کننده منتقل شود باید تحت شرایط صنعتی قابل تولید بوده و در طی ذخیره سازی به صورت لیوفیلیزه شده، همچنین در ماده غذایی که به آن اضافه می شود، زنده مانده و عملکرد خود را حفظ نموده و در ماده غذایی ایجاد طعم و بافت نامطلوب نکند.

در روش خشک کن انجمادی، کشت باکتری در خلأ و دمای پایین آبگیری می شود و در نهایت از باکتری پودری به دست می آید که در ویال های کوچکی قابل نگهداری تا زمان بسیار طولانی می باشند. در این پژوهش به منظور لیوفیلیزه نمودن باکتریهای ریزپوشانی شده از دستگاه خشک کن انجمادی CHRIST Beta 1-8 LD plus مستقر در آزمایشگاه مرکزی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی استفاده شد.

میزان افزودن نمک ۰/۵ درصد بود. نسبت پودر آب پنیر به روغن در فرمولاسیون پوشش معادل ۵۵ به ۴۵ بود که بیست درصد روغن با اینولین جایگزین شده بود. ابتدا روغن تا دمای ۵۰ درجه گرم و سپس سایر اجزا به جز باکتری به آن اضافه گردید. دمای مخلوط هنگام اضافه کردن باکتری ۴۰ درجه سانتیگراد بود.

### ۳-۱۴- آماده سازی و بسته بندی نمونه های اسنک

سه اسنک حجیم از مخلوط بلغور ذرت با کنجد، نخود و عدس جوانه زده با استفاده از اکسترودر تولید گردید. میزان افزودن کنجد پوست کنده سالم معادل ۱۵ درصد مخلوط بود. میزان نخود و عدس جوانه زده نیز معادل سی درصد وزن مخلوط بود. نخود و عدس جوانه زده توسط آسیاب به بلغور با قطر کمتر از یک میلی متر تبدیل شدند. پس از تولید محصول حجیم به نسبت شصت به چهل با درآژه سین بایوتیک مخلوط گردیدند. اسنک درآژه زده در سه شرایط معمولی، ازت و پوشش حاوی گیرنده اکسیژن (آسکوربات سدیم) بسته بندی و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۱ روز نگهداری گردید. آزمون های بافت (بخش ۳-۷-۳)، رنگ (بخش ۳-۶)، شمارش باکتری زنده (بخش ۳-۱۳)، تعیین پراکسید و خصوصیات حسی در فواصل ۷، ۱۴ و ۲۱ روز انجام گردید.

### ۳-۱۵- اندازه گیری عدد پراکسید به روش تیوسیانات

#### ۳-۱۵-۱- ترسیم منحنی کالیبراسیون

محلول های استاندارد یون فریک تهیه گردید (غلظتهای ۲۵، ۱۲/۵، ۶/۲۵، ۳/۱۲۵ و ۱/۵۶۲۵ میلی گرم در میلی لیتر). ۰/۱ میلی لیتر از محلول های استاندارد به ۹/۷ میلی لیتر مخلوط کلروفرم:متانل (به نسبت ۷:۳) اضافه شد. سپس ۰/۱ میلی لیتر محلول ۰/۰۲ مولار کلرید فرو در اسید کلریدریک ۱۰ درصد و ۰/۱ میلی لیتر محلول ۳۰ درصد تیوسیانات آمونیوم به سیستم اضافه گردید. پس از هم زدن شدید، جذب در ۵۰۰ نانومتر قرائت شد. منحنی استاندارد بر اساس تابعیت غلظتهای استاندارد از جذب قرائت رسم گردید.

#### ۳-۱۵-۲- محاسبه میزان پراکسید در نمونه

برای تعیین میزان پراکسید، ابتدا روغن نمونه به روش غرقابی در دمای محیط به وسیله هگزان استخراج گردید. نمونه های روغن استحصالی به وزن ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ گرم توزین و به آن ۹/۸ میلی لیتر مخلوط کلروفرم:متانل (به نسبت ۷:۳) اضافه شد. سپس ۰/۱ محلول ۰/۰۲ مولار کلرید فرو در اسید کلریدریک ۱۰ درصد به مخلوط اضافه شد. نمونه پس از هم زدن، سه دقیقه به حال خود رها و سپس به آن ۰/۱ میلی لیتر محلول ۳۰ درصد تیوسیانات آمونیوم اضافه شد. آنگاه جذب نمونه در ۵۰۰ نانومتر قرائت گردید. عدد پراکسید بر اساس رابطه زیر مورد محاسبه قرار گرفت:

$$pv = \frac{(A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) m}{55/8 \times 2 \times w}$$

که  $A_{\text{sample}}$  و  $A_{\text{blank}}$  به ترتیب جذب نمونه و شاهد،  $m$  شیب منحنی استاندارد جذب در مقابل غلظت یون فریک و  $w$  وزن نمونه بود.

### ۳-۱۶- ارزیابی خصوصیات حسی

ارزیابی حسی به روش هدونیک با پنج نقطه انجام گردید. از داوران خواسته شد امتیاز خود را در خصوص ظاهر، عطر و طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی هر نمونه روی نمودار از یک (خیلی بد) تا پنج (خیلی خوب) ثبت نمایند.

Archive of SID



Archive of SID

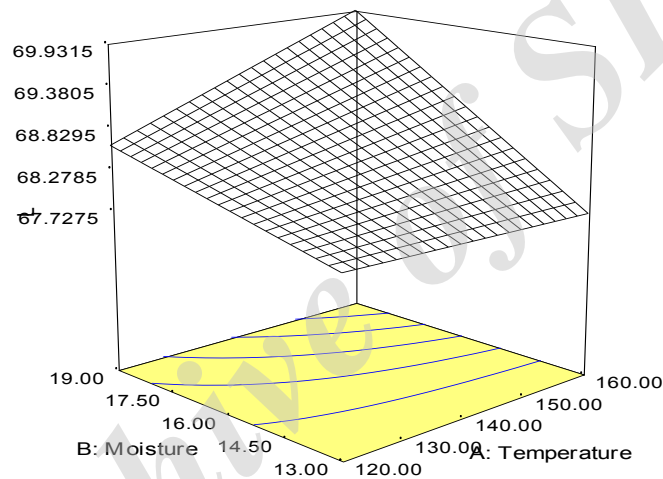


#### ۴-۱- ویژگی‌های رنگ سنجی اسنک ذرت و جوانه عدس

##### ۴-۱-۱- ارزیابی متغیرهای فرایند بر شاخص روشنی (L) اسنک تولید شده

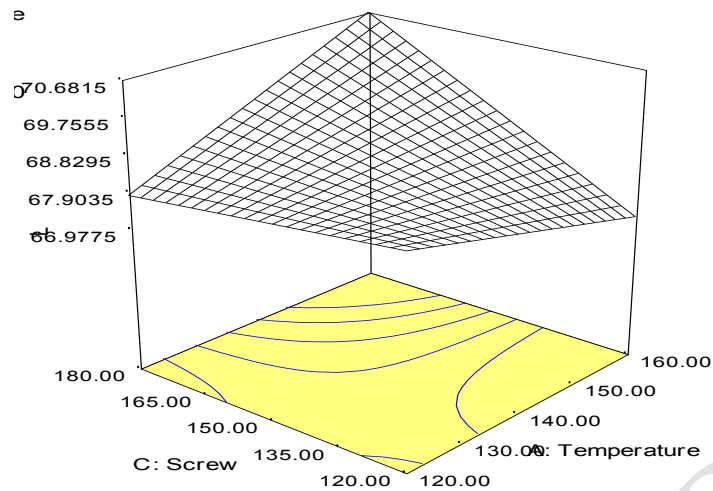
نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر دما و سرعت ماریپیج بر میزان روشنی معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). در شکل‌های زیر، اثر همزمان دو متغیر بر میزان شاخص روشنی (L) نشان داده شده است.

در سرعت ماریپیج ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه، اثر همزمان دما-رطوبت، بر میزان شاخص روشنی (L) در شکل ۲۱ نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش درصد رطوبت میزان شاخص روشنی (L) به صورت خطی افزایش یافت؛ تاثیر مستقل دما بر میزان شاخص روشنی (L) بدون لحاظ نمودن سایر متغیرها نامحسوس بود و روند تغییرات ثابت بود. بطوریکه در شکل مشاهده می‌شود در رطوبت ۱۹ درصد (بیشترین میزان رطوبت) افزایش دما سبب افزایش شاخص روشنی (L) گردید.



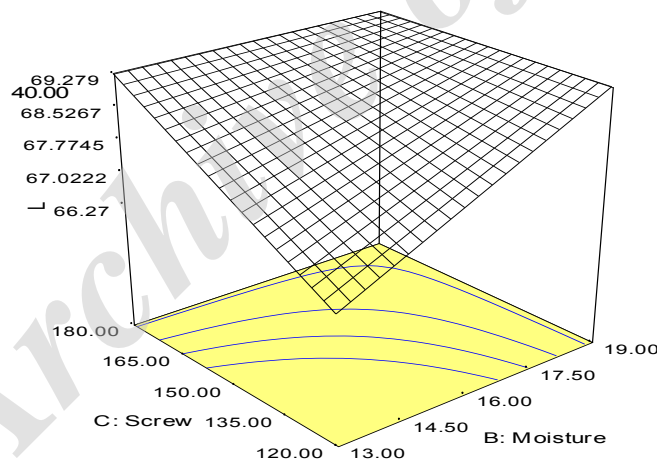
شکل ۲۱- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص روشنی (L)

اثر همزمان دما - سرعت ماریپیج در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر میزان شاخص روشنی (L) در شکل ۲۲ نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش سرعت ماریپیج میزان شاخص روشنی (L) در دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد (بیشترین دما) افزایش یافت. همچنین با افزایش دما میزان شاخص روشنی (L) در سرعت ماریپیج ۱۳۰ دور بر دقیقه (کمترین مقدار) کاهش نشان داد. اما همزمان با افزایش دو پارامتر دما و سرعت ماریپیج افزایش معنی‌داری در میزان L نمونه مشاهده شد.



شکل ۲۲- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت مارپیچ بر میزان شاخص روشنایی (L)

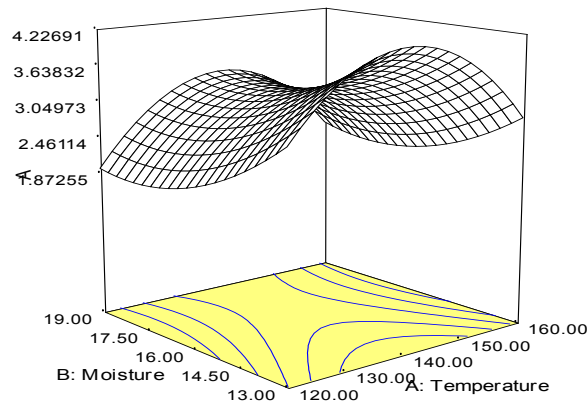
در شکل ۲۳ اثر همزمان سرعت مارپیچ - رطوبت در دما ثابت ۱۴۰ درجه سانتیگراد بر میزان شاخص روشنایی (L) مشاهده گردید. بر این اساس، با افزایش درصد رطوبت میزان شاخص روشنایی (L) به صورت خطی در محدوده تغییرات Xها افزایش یافت؛ همینطور با افزایش سرعت مارپیچ میزان شاخص روشنایی (L) به صورت خطی افزایش یافت.



شکل ۲۳- اثر همزمان دو متغیر سرعت مارپیچ و رطوبت بر میزان شاخص روشنایی (L)

#### ۴-۱-۲- ارزیابی متغیرهای فرآیند بر شاخص قرمزی (a) اسنک تولید شده

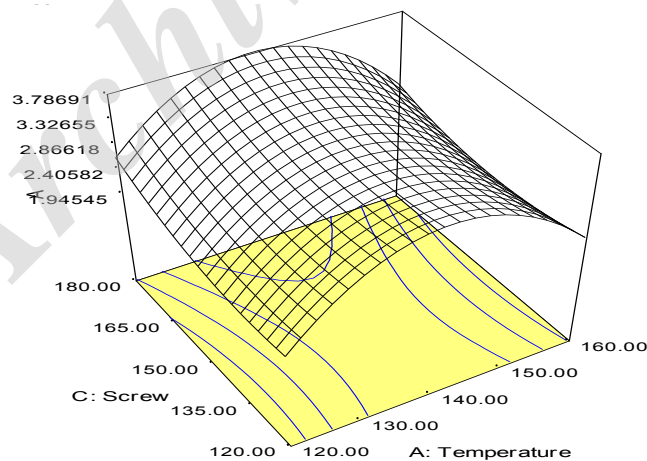
انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار نشان داد برای شاخص قرمزی (a) مدل چندجمله‌ای درجه دوم از نظر آماری معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). نتایج آنالیز واریانس نشان داد درصد رطوبت و عبارت درجه دوم بر شاخص قرمزی اثر معنی‌دار داشت بودند ( $p < 0.05$ ).



شکل ۲۴- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص قرمزی (a)

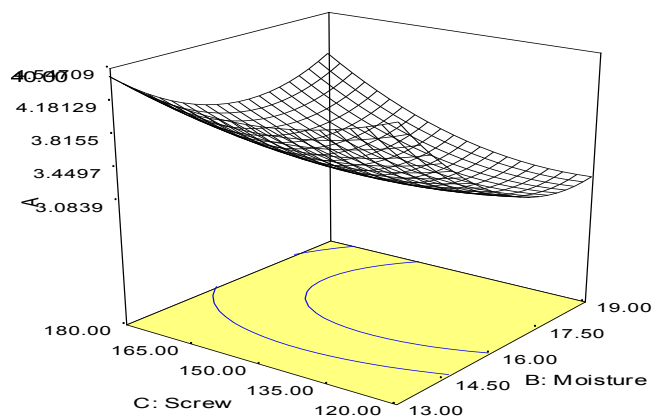
در شکل ۲۴ اثر همزمان دما-رطوبت در سرعت ماریچج ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر میزان شاخص قرمزی (a) نشان داده شده است. چنانکه با افزایش دما تا ۱۴۰ درجه سانتیگراد میزان شاخص قرمزی (a) افزایش داشت؛ پس از آن با افزایش دما میزان آن کاهش یافت. در ادامه همزمان با افزایش دو پارامتر دما و رطوبت روند تغییرات یکسان بود. با توجه به معنی‌داری اثر درجه دوم دما ( $p < 0.05$ ) می‌توان وجود انحناء در شکل رویه و کنتور را انتظار داشت رطوبت اثر معنی‌داری بر میزان شاخص قرمزی (a) داشته؛ بطوریکه با افزایش رطوبت تا ۱۷ درصد سبب کاهش و پس از آن منجر به افزایش میزان a گردید.

اثر همزمان دما- سرعت ماریچج در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر میزان شاخص قرمزی (a) در شکل ۲۵ نشان داده شده است؛ بر این اساس، با افزایش سرعت ماریچج میزان شاخص قرمزی (a) افزایش کمی نشان می‌دهد.



شکل ۲۵- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریچج بر میزان شاخص قرمزی (a)

در شکل ۲۶ اثر همزمان رطوبت-سرعت ماریچج در دمای ثابت ۱۴۰ درجه سانتیگراد بر میزان شاخص قرمزی (a) مشاهده گردید. بر این اساس، رطوبت تاثیر محسوسی بر میزان شاخص قرمزی (a) داشته است بطوریکه با افزایش رطوبت تا ۱۷ درصد سبب کاهش میزان a شده و پس از آن منجر به افزایش آن گردید.

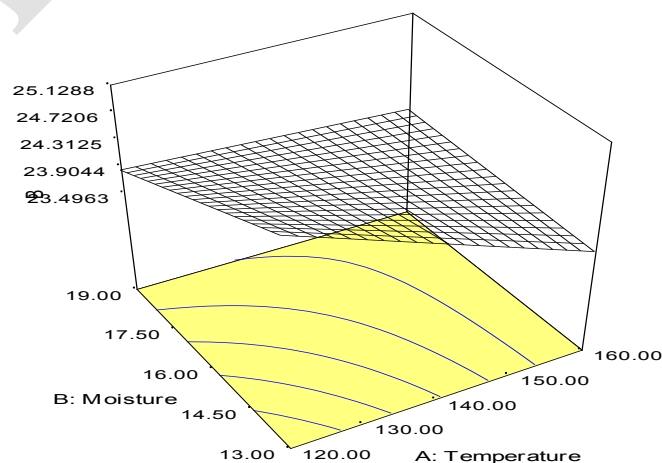


شکل ۲۶- اثر همزمان دو متغیر سرعت ماریچ و رطوبت بر میزان شاخص قرمزی (a)

#### ۳-۱-۴- ارزیابی متغیرهای فرآیند بر شاخص زردی (b) اسنک تولید شده

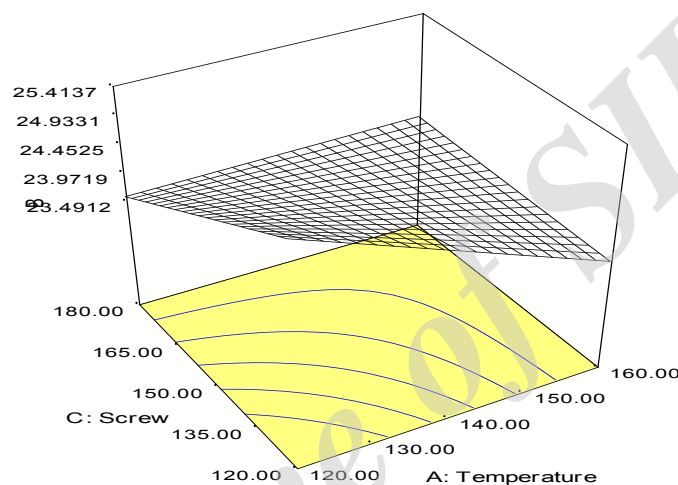
انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار نشان داد برای شاخص زردی (b) مدل چند جمله‌ای از نظر آماری معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). طبق نتایج آنالیز واریانس، دما، سرعت ماریچ و اثر متقابل دما-سرعت ماریچ بر شاخص زردی معنی‌دار بودند ( $p < 0.05$ ). در نمودارهای زیر، اثر همزمان دو متغیر بر میزان شاخص زردی (b) نشان داده شده است.

در شکل ۲۷ اثر همزمان دما-رطوبت در سرعت ماریچ ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر میزان شاخص زردی (b) نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش دما میزان شاخص زردی (b) به صورت خطی کاهش یافت؛ اما همانطور که مشاهده می‌شود در رطوبت ۱۹ درصد (بیشترین میزان رطوبت) با افزایش دما روند تغییرات ثابت بود. اثر مستقل رطوبت بر شاخص زردی (b) نامحسوس بود بطوریکه با افزایش رطوبت در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد (کمترین دما) میزان شاخص زردی (b) کاهش داشت اما پس از آن همزمان با افزایش دو پارامتر دما و رطوبت روند تغییرات شاخص زردی ثابت بود.



شکل ۲۷- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص زردی (b)

اثر همزمان دما-سرعت ماریپیچ در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر میزان شاخص زردی (b) در شکل ۲۸ نشان داده شده است. بر این اساس، سرعت ماریپیچ تاثیر محسوسی بر فاکتور رنگ b (شاخص زردی) داشت چنانکه با افزایش سرعت ماریپیچ فاکتور رنگ b (شاخص زردی) به صورت خطی کاهش یافت. پس از آن همزمان با افزایش دو پارامتر دما و سرعت ماریپیچ روند تغییرات شاخص زردی ثابت بوده است. همچنین با افزایش دما میزان شاخص زردی (b) به صورت خطی کاهش یافت؛ اما همانطور که مشاهده می‌شود در سرعت ماریپیچ ۱۸۰ دور بر دقیقه (بیشترین میزان سرعت ماریپیچ) با افزایش دما روند تغییرات ثابت بود.



شکل ۲۸- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیچ بر میزان شاخص زردی (b)

رنگ یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کیفی است که به طور مستقیم با پذیرش محصولات اکستروژن شده نزد مصرف کننده در ارتباط است و می‌تواند اطلاعات مهمی درباره درجه تیمار حرارتی ارائه دهد (۳۴). پارامتر L اسنک اکستروژن شده مخلوط ذرت و عدس جوانه زده در این آزمایش در محدوده (۶۳/۹۱-۷۱/۴۷) و پارامتر a در محدوده (۱-۴/۰۴) و پارامتر b در محدوده (۲۳-۲۷) بود. تغییرات رنگ در پخت اکستروژن می‌تواند به عنوان یک شاخص بصری برای ارزیابی شدت فرایند در خصوص تغییرات شیمیایی یا ترکیبات مغذی مواد غذایی استفاده شود (۶۳).

سه دلیل عمده تغییر رنگ ذرت در طول پخت اکستروژن شامل تخریب پیگمان‌های ذرت، انبساط محصول و واکنش‌های شیمیایی از قبیل کاراملیزاسیون کربوهیدرات‌ها، واکنش میلارد و اثر تخریبی اکسایشی چربی و پروتئین محصول می‌باشد (۲۲، ۴۷).

با افزایش دما تخریب پیگمان‌های ذرت افزایش یافته و ویسکوزیته خوراک کاهش می‌یابد که منجر به انبساط شونده و ظاهری روشن‌تر در نمونه اکستروژن شده می‌گردد (۹۱).

طبق نظریه پژوهشگران برست (۱۹۸۹)، فریدمن (۱۹۹۶)، ماگا (۱۹۷۸)، یولیانی (۲۰۰۶) (۲۲، ۵۲، ۹۲، ۱۳۰) واکنش‌های میلارد و کاراملیزاسیون کربوهیدرات‌ها در دمای بالا دلیل اصلی قهوه‌ای شدن و ایجاد رنگ قرمز در طول اکستروژن می‌باشند. البته ممکن است اثر پروتئین پایین نشاسته ذرت جهت قهوه‌ای شدن میلارد کافی نباشد (۶۰).

شدت رنگ در اثر کاراملیزاسیون با غلظت نشاسته و افزایش دما متناسب است اما با میزان رطوبت نسبت عکس دارد. در دمای بالا دکسترینه شدن نشاسته و افزایش میزان قند احیا رخ می‌دهد که سبب افزایش قهوه‌ای شدن می‌گردد (۵۰).

نتایج نشان داد افزایش دما باعث کاهش شاخص b می‌شود، که این ممکن است بر اثر افزایش همزمان، دما و سرعت ماریپیج (کاهش زمان اقامت) باشد و احتمالاً به سبب فرایند کوتاه در دمای بالا به وجود آمده است.

یافته‌های پژوهشگران بهاتاکاریا (۱۹۹۷)، ایلو (۱۹۹۹) و کیم (۱۹۸۷) (۲۴، ۶۳، ۷۲) بیانگر این است که افزایش دما باعث کاهش b می‌شود که مخالف تاثیر دما بر روی پارامتر a است. تغییرات زردی در طول پخت اکستروژن بلغور ذرت بیشتر ناشی از اثر دو عمل متفاوت است: قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و تخریب پیگمان‌ها. برخی از کارتنوئیدها که به صورت طبیعی در ذرت حضور دارند ممکن است در اثر تیمار حرارتی تخریب گردند و یکی از دلایل افزایش رنگ قهوه‌ای نیز می‌تواند به علت از دست دادن رنگ کارتنوئیدها باشد.

نتایج نشان داد افزایش سرعت ماریپیج موجب افزایش L محصول شد. البته سرعت ماریپیج اثرات ضد و نقیضی در طول پخت اکستروژن داراست، اثر مثبت آن بر روی تنش برشی و اثر منفی آن بر روی زمان اقامت است. افزایش سرعت ماریپیج موجب افزایش تنش برشی در نقطه پخت با دمای بالا می‌شود و منجر به تغییرات رنگ در نمونه، به علت اثر بر روی واکنش‌های قهوه‌ای شدن، می‌گردد. همچنین تنش برشی ممکن است باعث تخریب پیگمان‌های کارتنوئید در پخت اکستروژن گردد و افزایش سرعت ماریپیج نیز موجب کاهش زمان اقامت و کاهش تغییرات رنگ می‌شود (۶۳، ۹۳).

#### ۴-۱-۴- بهینه‌یابی شرایط فرایند جهت بهبود پارامترهای رنگی اسنک

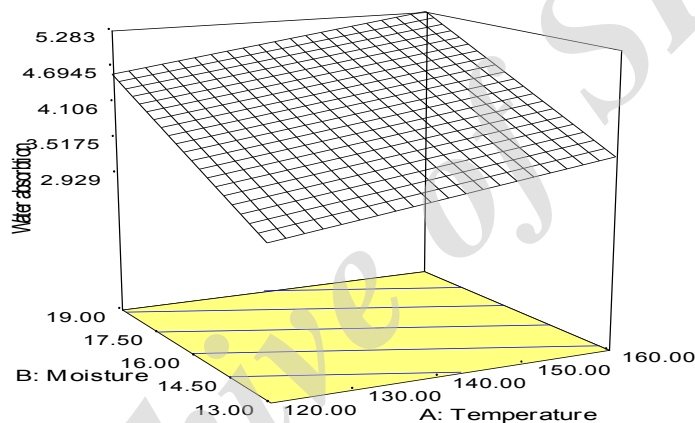
شرایط عملیاتی بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی صورت گرفت. بدین منظور، در ابتدا اهداف بهینه سازی را مشخص کرده و سپس سطوح پاسخ و متغیرهای مستقل را تنظیم گردید و بهترین پاسخ‌ها بدست آمد (۱۴، ۱۰۱). تنظیمات اعمال شده برای فرایند بهینه سازی، شامل متغیرهای مستقل (دما، رطوبت، سرعت ماریپیج) در محدوده عددی بکار رفته در آزمایش و میزان شاخص روشنایی و زردی بیشینه و میزان شاخص قرمزی نیز در محدوده داده‌ها بود. نتایج فرایند بهینه سازی، نشان داد؛ شرایط بهینه تولید اسنک مخلوط ذرت و عدس جوانه‌زده با شاخص روشنایی ۶۷/۶۶۸۵ و شاخص زردی ۲۶/۱۷۴۹ و شاخص قرمزی ۲/۹۰۲۷۱؛ در شرایط دمایی ۱۲۰ درجه سانتیگراد، رطوبت ۱۳/۶۴، سرعت ماریپیج ۱۲۰ دور بر دقیقه حاصل شد.

#### ۴-۲- خواص عملکردی اسنک

##### ۴-۲-۱- میزان شاخص جذب آب اسنک تولید شده

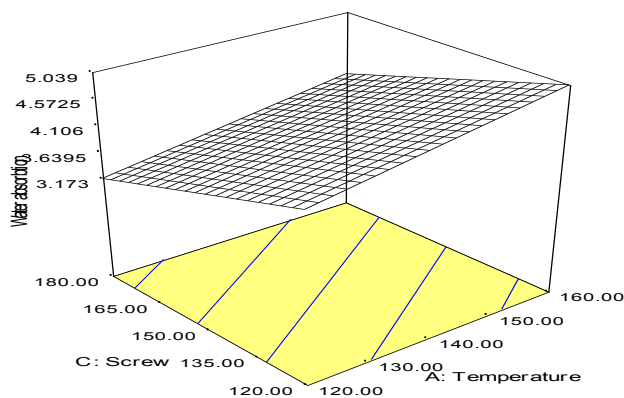
انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار نشان داد برای شاخص جذب آب مدل خطی از نظر آماری معنی- دار بود ( $p < 0.05$ ). آنالیز واریانس مشخص کرد رطوبت و سرعت ماریپیج بر میزان شاخص جذب آب اثر معنی- دار داشت ( $p < 0.05$ ). در شکل‌های زیر، اثر همزمان دو متغیر بر میزان شاخص جذب آب نشان داده شده است.

در شکل ۲۹- اثر همزمان دما-رطوبت در سرعت ماریپیج ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر شاخص جذب آب نشان داده شده است. براین اساس، اثر مستقل هر یک از متغیرهای دما و رطوبت نشان داد که افزایش هر یک از این دو پارامتر منجر به افزایش شاخص جذب آب گردید؛ چنانکه با افزایش همزمان دما و رطوبت شاخص جذب آب افزایش یافت.



شکل ۲۹- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص جذب آب

اثر همزمان دما-سرعت ماریپیج در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر میزان شاخص جذب آب در شکل ۳۰ نشان داده شده است. بر این اساس، افزایش سرعت ماریپیج نشان داد در محدوده دمایی ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد شاخص جذب آب کاهش داشت.



شکل ۳۰- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریپیج بر میزان شاخص جذب آب

شاخص جذب آب بیانگر میزان جذب آب توسط نشاسته است و می‌تواند به عنوان شاخص ژلاتینه شدن استفاده گردد (۱۲، ۳۷، ۴۴) و با حجم ژل تشکیل شده متناسب است (۹۴). ژلاتینه شدن، تبدیل نشاسته خام به پخته شده و قابل هضم با بکارگیری آب و دما می‌باشد و از اثرات مهمی است که اکستروژن بر روی نشاسته دارد (۹۴). شاخص جذب آب اسنک اکستروژده مخلوط ذرت و عدس جوانه زده در این آزمایش در محدوده (۳/۶-۴/۲) گرم در گرم نمونه بود. نتایج در این تحقیق نشان داد برای محصول اکستروژده مخلوط ذرت-عدس با افزایش رطوبت، شاخص جذب آب افزایش یافت که این نتایج مشابه یافته‌های لین در سال ۲۰۰۲ بود (۸۵)؛ اما افزایش سرعت ماریپیج، باعث کاهش شاخص جذب آب می‌شود. تخریب پلی‌مرها در طول فرایند اکستروژن در نتیجه تخریب مکانیکی نسبت به تخریب حرارتی غالب است (۷۰).

سرعت ماریپیج بالاتر منجر به قطعه قطعه شدن بیشتر و تخریب آمیلوز و آمیلو پکتین با ایجاد شکاف در زنجیره می‌گردد. علاوه بر این تشکیل دکستریز در حین اکستروژن و اثرات متقابل مولکولی بین نشاسته تخریب شده، پروتئین و چربی ممکن است انحلال پذیری و به دنبال آن شاخص جذب آب را کاهش دهد (۵۸).

شاخص جذب آب به در دسترس بودن گروه‌های هیدروفیل متصل به مولکول‌های آب وابسته است. بطوریکه بر روی تشکیل ژل ماکرومولکول‌ها تاثیر گذار بود (۵۸). بر همین اساس می‌توان در سرعت ماریپیج پایین انتظار داشت که زنجیره پلی‌مر سالم‌تر و گروه‌های هیدروفیل در دسترس باشد که منجر به اتصال بیشتر آب می‌شود و در نتیجه مقادیر بالاتر شاخص جذب آب حاصل می‌گردد (۵۶).

زمانی که نشاسته در میزان رطوبت بالاتر فرایند می‌شود آسیب کمتری دیده و امکان دان‌توره شدن پروتئین نیز کاهش می‌یابد که با افزایش WAI همراه می‌شود (۹۵).

مرسیه (۱۹۷۵) بالاترین شاخص جذب آب اسنک‌های اکستروژده جو-برنج را در رطوبت ۳۰-۴۰ درصد مشاهده کرد زیرا آب بعنوان پلاستیسایزر در طول فرایند اکستروژن عمل می‌کند و تخریب نشاسته را کاهش داد که منجر به افزایش ظرفیت جذب آب می‌گردد (۹۵).

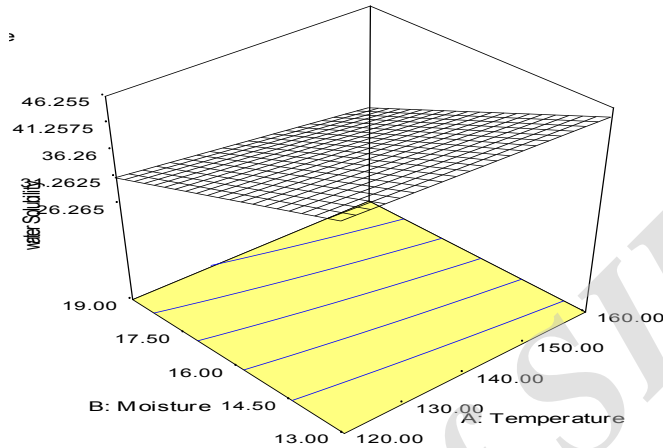
افزایش رطوبت ابتدا باعث افزایش شاخص جذب آب و پس از آن احتمالاً به دلیل افزایش دکستریزه شدن سبب کاهش شاخص جذب آب می‌شود (۵۸). میزان آب در طول فرایند اکستروژن اثر مهمی بر روی تبدیل نشاسته (دکستریزه شدن) دارد. بیشترین تبدیلات نشاسته در میزان آب پایین و دمای بالا رخ می‌دهد (۵۹).

#### ۴-۲-۲- میزان شاخص محلولیت در آب اسنک تولید شده

نتایج آنالیز آماری نشان داد برای شاخص محلولیت در آب مدل چند جمله‌ای از نظر آماری معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ) به طوری که رطوبت، سرعت ماریپیج و اثر متقابل دما-سرعت ماریپیج و رطوبت-سرعت ماریپیج بر میزان شاخص محلولیت اثر معنی‌دار داشتند ( $p < 0.05$ ).

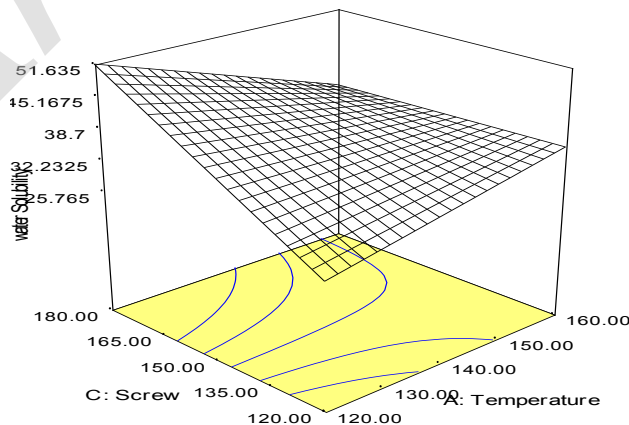


در شکل ۳۱ اثر همزمان دما - رطوبت در سرعت مارپیچ ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر شاخص محلولیت در آب نشان داده شده است. بر این اساس، دما تاثیر محسوسی بر فاکتور محلولیت در آب نداشت؛ چنانکه با افزایش دما روند تغییرات ثابت است. رطوبت تاثیر محسوسی بر شاخص محلولیت در آب داشت؛ چنانکه با افزایش رطوبت در دماهای مختلف شاخص محلولیت در آب کاهش یافت.



شکل ۳۱- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص محلولیت در آب

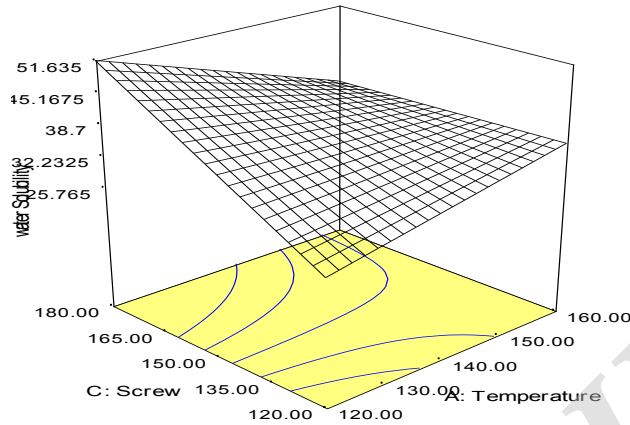
اثر همزمان دما-سرعت مارپیچ در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر شاخص محلولیت در آب در شکل ۳۲ نشان داده شده است. بر این اساس، افزایش سرعت مارپیچ در شرایط دمایی پایین (۱۲۰ درجه سانتیگراد) سبب افزایش معنی داری در شاخص محلولیت در آب شد؛ اما افزایش دما به صورت مستقل شاخص محلولیت در آب را به مقدار کمی افزایش داد اما همزمان با افزایش سرعت مارپیچ کاهش محلولیت در آب در نمودار مشاهده گردید. بروز این پدیده بواسطه بالا بودن مقادیر کمی میانگین مربعات سرعت مارپیچ در مقایسه با دما قابل توجیه است.



شکل ۳۲- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت مارپیچ بر میزان شاخص محلولیت در آب

در شکل ۳۳ اثر همزمان رطوبت- سرعت مارپیچ در دما ثابت ۱۴۰ درجه سانتیگراد بر شاخص محلولیت در آب مشاهده گردید. بر این اساس، افزایش سرعت مارپیچ در شرایط رطوبت پایین (۱۳ درصد) سبب افزایش معنی داری در

شاخص محلولیت در آب شد؛ اما افزایش رطوبت به صورت مستقل شاخص محلولیت در آب را به مقدار کمی کاهش داد. همزمان با افزایش دو پارامتر کاهش محلولیت در آب در نمودار مشاهده گردید.



شکل ۳۳- اثر همزمان دو متغیر سرعت ماریج و رطوبت بر میزان شاخص محلولیت در آب

شاخص محلولیت در آب بعنوان شاخص تخریب ترکیبات مولکولی بوده و اندازه‌گیری درجه تغییر نشاسته در طول اکستروژن بکار می‌رود که با میزان مولکول‌های محلول و میزان پلی‌ساکارید آزاد شده از گرانول نشاسته متناسب است و به میزان دکسترینه شدن اشاره دارد (۴۵). شاخص محلولیت در آب اسنک اکستروژن شده مخلوط ذرت و عدس جوانه زده در این آزمایش در محدوده (۶۴/۵-۱۹/۸۵ گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه) بود.

شاخص محلولیت در آب به میزان ترکیبات محلول که بدلیل تخریب نشاسته افزایش می‌یابد وابسته است (۳۳). مرسیه در سال ۱۹۷۵ نشان داد که با افزایش دما محلولیت نشاسته افزایش می‌یابد و با کاهش رطوبت محلولیت نشاسته افزایش می‌یابد که مطابق با نتایج این کار بود همچنین مشاهده شد که افزایش دما مقدار نشاسته قطعه قطعه شده را افزایش می‌دهد و تخریب گرانول‌های نشاسته می‌تواند منجر به کاهش وزن مولکولی و افزایش مواد محلول در آب شود که گاهی به دکسترینه شدن نشاسته نسبت داده می‌شود و در نتیجه WSI افزایش می‌یابد. افزایش دما منجر به دکسترینه شدن نشاسته می‌گردد (۹۵) بنابراین شاخص محلولیت در آب افزایش می‌یابد.

افزایش رطوبت اثر خنک‌کنندگی بر روی اکستروژن دارد (۳۳) و با کاهش دما منجر به کاهش تخریب و محلولیت در آب می‌شود. همچنین آب بعنوان پلاستیسایزر در مواد نشاسته‌ای عمل کرده و انرژی مکانیکی داخل اکستروژن را کاهش می‌دهد که این بر پروفایل دما تاثیر گذاشته و میزان تخریب را کاهش می‌دهد (۶۳). همچنین در سرعت ماریج بالا فشار برشی افزایش می‌یابد که محلولیت در آب را افزایش می‌دهد (۹۰).

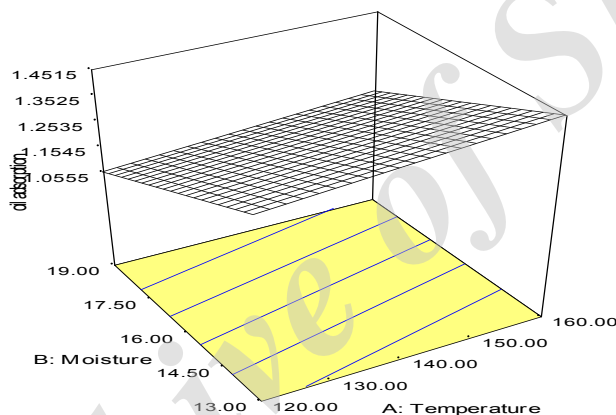
در طول پخت اکستروژن پروتئین محلول به سبب دناتوره شدن کاهش می‌یابد که در نیجه گروه‌های هیدروفیل از قبیل  $-OH$ ،  $-NH_2$ ،  $-COOH$  و  $-SH$  می‌توانند با نشاسته پیوند عرضی برقرار کنند (۵۰). علاوه بر این تمام تغییرات ماکرومولکولی در طول پخت اکستروژن در مسیر اکستروژن تحت تاثیر نیروی برشی قرار می‌گیرد. سرعت برشی

وابسته است به انرژی مخصوص مکانیکی و پارامترهای سیستم که این‌ها خود به شرایط اکستروژن (سرعت خوراک دهی، دما و سرعت ماریپیچ) و خصوصیات مواد (رطوبت، مواد اولیه، ویسکوزیته) وابسته‌اند (۸۴).

#### ۴-۲-۳- میزان خصوصیت جذب روغن اسنک تولید شده

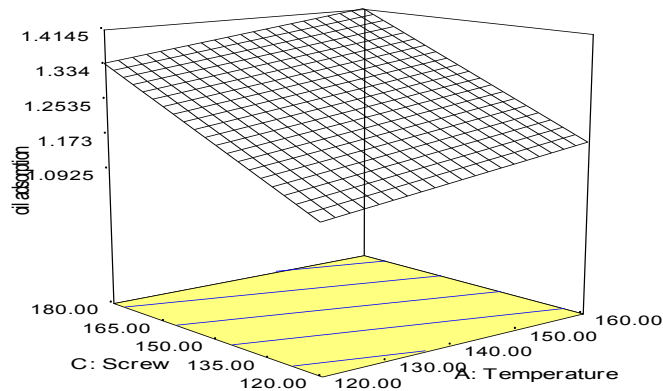
نتایج نشان داد برای شاخص جذب روغن مدل خطی از نظر آماری معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). مطابق نتایج آنالیز واریانس اثر رطوبت و سرعت ماریپیچ بر این شاخص معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). در شکل‌های زیر، اثر همزمان دو متغیر بر میزان شاخص جذب روغن نشان داده شده است.

در شکل ۳۴ اثر همزمان دما-رطوبت در سرعت ماریپیچ ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر شاخص جذب روغن نشان داده شده است. براین اساس، با افزایش رطوبت در محدوده دمایی ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد شاخص جذب روغن کاهش یافت. همچنین با افزایش دما در محدوده رطوبت ۱۳ تا ۱۹ درصد شاخص جذب روغن افزایش نشان داد.



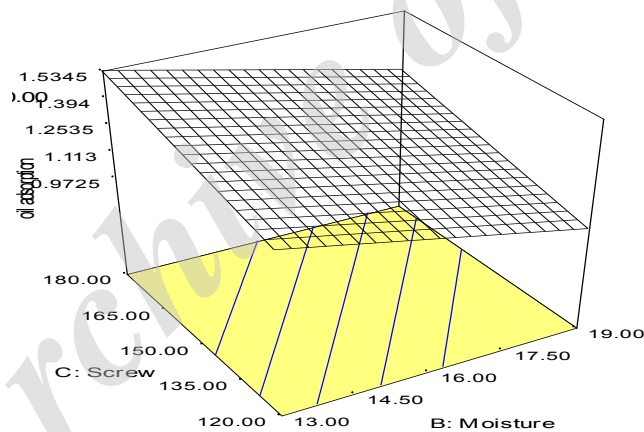
شکل ۳۴- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص جذب روغن

اثر همزمان دما-سرعت ماریپیچ در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر میزان شاخص جذب روغن در شکل ۳۵ نشان داده شده است. براین اساس، اثر مستقل هر یک از متغیرهای دما و سرعت ماریپیچ نشان داد که افزایش هر یک از این دو پارامتر منجر به افزایش شاخص جذب روغن گردید؛ چنانکه با افزایش همزمان دما و سرعت ماریپیچ شاخص جذب روغن افزایش یافت.



شکل ۳۵- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریچ بر میزان شاخص جذب روغن

در شکل ۳۶ اثر همزمان رطوبت- سرعت ماریچ در دما ثابت ۱۴۰ درجه سانتیگراد بر شاخص جذب روغن مشاهده گردید. بر این اساس، سرعت ماریچ تاثیر محسوسی بر فاکتور جذب روغن داشته است چنانکه با افزایش آن در محدوده رطوبت ۱۳ تا ۱۹ درصد شاخص جذب روغن افزایش نشان داد. همچنین رطوبت تاثیر محسوسی بر فاکتور جذب روغن داشته است چنانکه با افزایش آن در محدوده سرعت ماریچ ۱۲۰ تا ۱۸۰ دور بر دقیقه شاخص جذب روغن کاهش نشان داد.



شکل ۳۶- اثر همزمان دو متغیر سرعت ماریچ و رطوبت بر میزان شاخص جذب روغن

عموما شاخص جذب روغن می‌تواند بعنوان شاخص طبیعت هیدروفوبیک محصول اکستروود شده به کار رود. شاخص جذب روغن اسنک اکستروود شده مخلوط ذرت و عدس جوانه زده در این آزمایش در محدوده (۰/۹۷-۱/۶۴) میلی‌لیتر بر گرم) بود. نتایج در این تحقیق نشان داد برای محصول اکستروود شده مخلوط ذرت-عدس با افزایش دما و سرعت ماریچ، شاخص جذب روغن افزایش یافت که این نتایج مشابه یافته‌های لازو (۲۰۱۰) و دراگو (۲۰۰۷) بود (۰/۴۶، ۸۰)؛ اما افزایش رطوبت، باعث کاهش شاخص جذب روغن گردید.

افزایش دما منجر به افزایش درجه پخت محصول (۴۶) و منجر به تشکیل مولکول‌های کوچکتر به سبب دکسترینه شدن نشاسته می‌شود. حضور این مولکول‌ها عامل افزایش شاخص جذب روغن است. افزایش رطوبت باعث

کاهش میزان پخت در محصول شده و در نتیجه تشکیل مولکول‌های کوچکتر، کمتر می‌شود و شاخص جذب روغن کاهش می‌یابد.

در این تحقیق مشخص شد که افزایش سرعت ماریپیج منجر به افزایش شاخص جذب روغن گردید. این احتمال وجود دارد که افزایش سرعت ماریپیج با افزایش نیروی برشی باعث دناتور شدن پروتئین شده و جذب روغن را افزایش می‌دهد.

در مطالعه‌ای که لازو در سال ۲۰۱۰ انجام داد گزارش کرد که افزایش نسبت عدس به ذرت منجر به کاهش شاخص جذب روغن می‌گردد (۸۰).

ذرت اکستروود شده بالاترین میزان شاخص جذب روغن را نشان می‌دهد اضافه شدن پروتئین حبوبات شاخص جذب روغن را کاهش می‌دهد. این روند برای لوبیا اکستروود شده نیز گزارش شده است (۵۷).

کینسلا در سال ۱۹۷۶ مکانیزم جذب روغن را به دام افتادن فیزیکی روغن بیان کردند (۷۳) در حالیکه محققین دیگر (۲۰، ۱۰۲، ۱۱۰) ظرفیت جذب روغن را به زنجیره‌های جانبی غیر قطبی پروتئین ارتباط می‌دادند. شاخص جذب روغن در محصولاتی حاوی پروتئین بالاتر نسبت به ذرت اکستروود شده کم‌تر است. غلظت‌های مختلف پروتئین، میزان اسیدآمین‌های غیر قطبی، ویژگی‌های کنفورماسیونی متفاوت و اتصالات نشاسته - پروتئین - چربی می‌تواند دلایلی برای میزان نگهداری متفاوت روغن باشد (۵۷).

#### ۴-۲-۴- بهینه‌یابی شرایط فرایند جهت بهبود خواص عملکردی

در این بخش، هدف از بهینه‌سازی به حداکثر رساندن خصوصیات عملکردی بود. براین اساس متغیرهای مستقل (دما، رطوبت، سرعت ماریپیج) در محدوده آزمایش قرار گرفت. به منظور شرایط بهینه تولید اسنک با فرایند اکستروژن جهت دستیابی به میزان شاخص جذب آب ۳/۶۶۱۰۱، شاخص محلولیت در آب ۴۴/۳۷۲۳، شاخص جذب روغن ۱/۴۴۸۹۴؛ دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد، رطوبت ۱۳ درصد و سرعت ماریپیج ۱۴۹/۳۷ دور بر دقیقه تعیین شد.

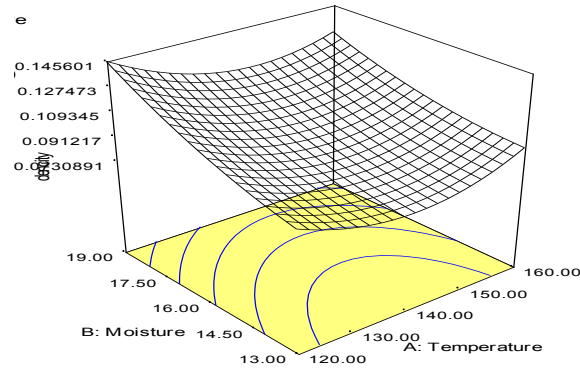
#### ۴-۳- پارامترهای خواص فیزیکی اسنک

#### ۴-۳-۱- میزان چگالی اسنک تولید شده

طبق نتایج، مدل بهینه برای فاکتور چگالی مدل چند جمله‌ای درجه دوم انتخاب گردید ( $p < 0.05$ ). نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر رطوبت و سرعت ماریپیج بر میزان چگالی اسنک معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ).

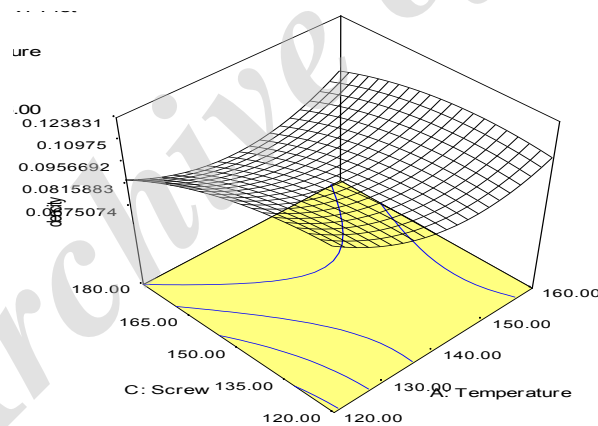
در شکل ۳۷ اثر همزمان دما-رطوبت در سرعت ماریپیج ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر فاکتور چگالی نشان داده شده است. بر این اساس، دما اثر محسوسی بر فاکتور چگالی نداشته است؛ با این حال با افزایش دما تا ۱۴۵ درجه سانتیگراد روند کاهشی را برای چگالی در نمودار مشاهده شد و پس از آن نمودار روند افزایشی داشت. از طرفی رطوبت اثر

محسوسی بر فاکتور چگالی داشت؛ بطوریکه با افزایش درصد رطوبت در محدوده دمایی ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد میزان چگالی به صورت خطی افزایش یافت.



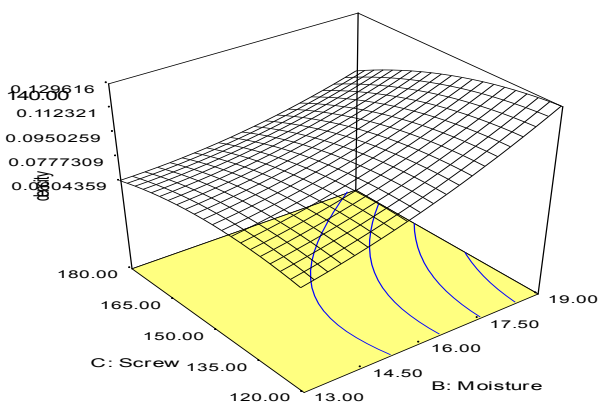
شکل ۳۷- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان چگالی

اثر همزمان دما-سرعت مارپیچ در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر فاکتور چگالی در شکل ۳۸ نشان داده شده است. بر این اساس، اثر مستقل سرعت مارپیچ اثر محسوسی بر فاکتور چگالی داشته است؛ چنانکه، با افزایش سرعت مارپیچ چگالی کاهش می‌یابد. در ادامه همزمان با افزایش دو پارامتر دما و سرعت مارپیچ روند تغییرات یکسان بود.



شکل ۳۸- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت مارپیچ بر میزان چگالی

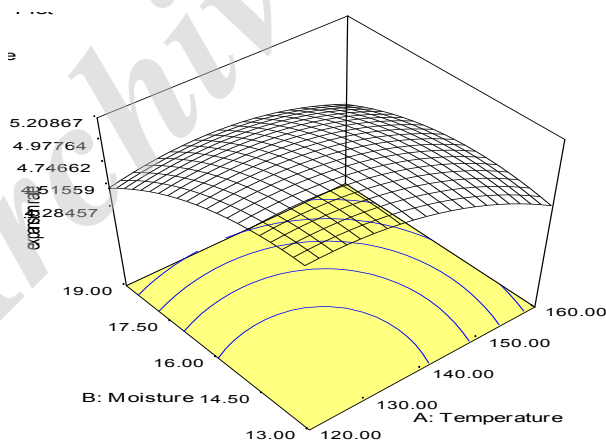
در شکل ۳۹ اثر همزمان رطوبت-سرعت مارپیچ در دما ثابت ۱۴۰ درجه سانتیگراد بر فاکتور چگالی مشاهده گردید. بر این اساس، افزایش رطوبت در شرایط سرعت مارپیچ پایین (۱۲۰ دور بر دقیقه) در مقایسه با سرعت‌های مارپیچ بالاتر بر روی چگالی افزایش مشهودتری داشت. اثر مستقل سرعت مارپیچ اثر محسوسی بر فاکتور چگالی داشته است؛ چنانکه، با افزایش سرعت مارپیچ چگالی کاهش یافت.



شکل ۳۹- اثر همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت مارپیچ بر میزان چگالی

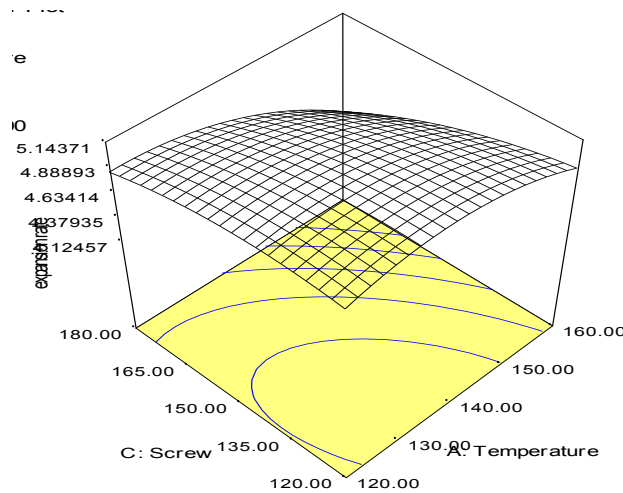
#### ۴-۳-۲- میزان شاخص انبساط شونده اسنک تولید شده

نتایج آنالیز آماری نشان برای شاخص انبساط شونده مدل چند جمله ای درجه دوم از نظر آماری معنی دار بود ( $p < 0.05$ ) به طوری که اثر دما، رطوبت و سرعت مارپیچ بر این شاخص معنی دار بود ( $p < 0.05$ ). در شکل ۴۰ اثر همزمان دما-رطوبت در سرعت مارپیچ ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر فاکتور نسبت انبساط شونده نشان داده شده است. بر این اساس، دما و رطوبت اثر محسوسی بر فاکتور نسبت انبساط شونده داشتند؛ چنانکه، با افزایش هر یک از این دو متغیر فاکتور نسبت انبساط شونده کاهش یافت. همانطور که مشاهده شد همزمان با افزایش هر دو متغیر دما و رطوبت رفتار نسبت انبساط شونده به صورت مشهودی تغییر کرد به نحوی که سبب کاهش نسبت انبساط شونده شد و بالعکس کاهش هر دو سبب افزایش نسبت انبساط شونده گردید.



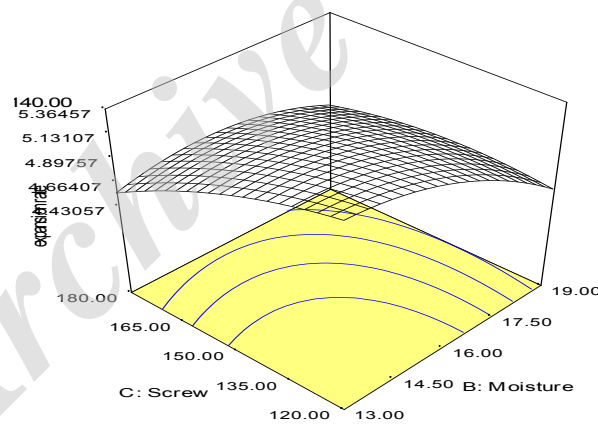
شکل ۴۰- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان شاخص انبساط شونده

اثر همزمان دما-سرعت مارپیچ در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر فاکتور نسبت انبساط شونده در شکل ۴۱ نشان داده شده است. بر این اساس، افزایش سرعت مارپیچ در شرایط دمای پایین (۱۲۰ درجه سانتیگراد) نسبت انبساط شونده را کمی کاهش داد؛ اما همزمان با افزایش هر دو پارامتر کاهش معنی داری در نسبت انبساط شونده مشاهده گردید.



شکل ۴۱- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت ماریچ بر میزان شاخص انبساط شوندگی

در شکل ۴۲ اثر همزمان رطوبت-سرعت ماریچ در دما ثابت ۱۴۰ درجه سانتیگراد بر فاکتور نسبت انبساط-شوندگی مشاهده گردید. بر این اساس، سرعت ماریچ و رطوبت اثر محسوسی بر فاکتور نسبت انبساط شوندگی داشته‌اند؛ چنانکه، با افزایش هر یک از این دو متغیر فاکتور نسبت انبساط شوندگی کاهش یافت. همانطور که مشاهده شد همزمان با افزایش هر دو متغیر سرعت ماریچ و رطوبت رفتار نسبت انبساط شوندگی به صورت مشهودی تغییر کرد به نحوی که سبب کاهش نسبت انبساط شوندگی شد و بالعکس کاهش هر دو سبب افزایش نسبت انبساط شوندگی گردید.



شکل ۴۲- اثر همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت ماریچ بر میزان شاخص انبساط شوندگی

نسبت انبساط شوندگی و چگالی از خصوصیات مهم اسنک اکستروود شده هستند چنانکه در توصیف درجه پف کنندگی نمونه اکستروود شده به کار می‌روند. میزان چگالی اسنک اکستروود شده مخلوط ذرت و عدس جوانه زده در این آزمایش در محدوده (۰/۱۷۳-۰/۰۷۱۵) و میزان نسبت انبساط شوندگی در محدوده (۳/۷۵-۵/۵۸) بود. در این پژوهش رطوبت مهم‌ترین فاکتور تاثیر گذار بر روی چگالی و نسبت انبساط شوندگی بود. وابستگی بالا چگالی و نسبت انبساط شوندگی به رطوبت منعکس کننده تاثیر آن بر الاستیسیته مواد نشاسته‌ای است (۳۱). از دیگر نتایج در این تحقیق کاهش نسبت انبساط شوندگی با افزایش هر یک از پارامترهای رطوبت، دما و سرعت ماریچ می‌باشد. لاونی (۱۹۸۳) پیشنهاد کرد انبساط شوندگی ذرت اکستروود شده به ویسکوزیته خمیر مذاب و الاستیسیته آن وابسته است (۷۸).



افزایش رطوبت منجر به تغییر ساختمان مولکولی آمیلوپکتین می‌شود و بنابراین الاستیسیته خمیر مذاب را کاهش داده و موجب کاهش نسبت انبساط شوندگی می‌گردد اما چگالی اسنک اکستروود شده افزایش می‌دهد (۴۵، ۶۴، ۱۱۴). تیمی و همکارانش (۲۰۰۵) تغییر ویژگی‌های ساختاری نشاسته ذرت را در طول اکستروژن بعنوان تابعی از میزان رطوبت مورد بررسی قرار داد و دریافت که رطوبت بالا نسبت انبساط شوندگی را در محصولات اکستروود شده کاهش می‌دهد و در نتیجه چگالی ظاهری افزایش و تخلخل کاهش می‌یابد (۱۲۰).

استوجکسکا (۲۰۰۹) گزارش داد افزایش رطوبت ممکن است منجر به کاهش درجه ژلاتینه‌شدن شود و در نتیجه انبساط شوندگی کاهش یابد. همچنین میزان پروتئین کمتر می‌تواند به انبساط شوندگی بالاتر کمک کند. افزایش انبساط شوندگی با کاهش رطوبت احتمالاً به دلیل ویسکوزیته بالا که در اثر کاهش آب ایجاد می‌شود صورت گرفته است (۱۱۶). افزایش رطوبت باعث کاهش دما خمیر می‌شود زیرا اصطکاک بین خمیر و ماریپیچ کاهش یافت و اثر منفی بر روی ژلاتینه شدن نشاسته داشته و انبساط شوندگی را کاهش می‌دهد (۸۶).

چیناس‌وامی (۱۹۹۰) گزارش دادند رطوبت کم در مواد غذایی جریان مواد را محدود کرده و میزان برش و زمان ماند را افزایش می‌دهد (۳۵). پادمانبهان (۱۹۸۹) بیان کرد دو عامل غالب که باعث انبساط محصول اکستروود شده می‌گردد که عبارتند از: الاستیسیته جریان مذاب و قابلیت رشد حباب به دلیل فشار بخار آب (۱۰۷). ایلو (۱۹۹۶) گزارش داد رطوبت بالا برای انبساط محصول نامناسب است زیرا اجازه می‌دهد ماتریس سلولی تحت فشار بخار بالا متلاشی گردد (۶۵).

واله (۱۹۹۷) بیان کرد افزایش رطوبت منجر به کاهش انبساط شوندگی می‌شود که به علت چروکیدگی و متلاشی شدن (فروپاشی) ماده اکستروود شده پس از حداکثر انبساط شوندگی ناشی از ویسکوزیته بیش از حد پایین خمیر مذاب است (۴۳).

در رطوبت بالا، نمونه اکستروود شده پس از سرد شدن، نسبت به نمونه‌هایی با رطوبت پایین، سخت‌تر می‌شود زیرا در طول فرایند اکستروژن فشار بخار کمتر شده (شاید به دلیل کاهش دما)، که منجر به کاهش آنی رطوبت و کاهش در انبساط شوندگی می‌شود. این نتایج با گزارشات گوپتا (۲۰۰۸) و دینگ (۲۰۰۵) سازگار است (۴۵، ۵۸).

افزایش دما باعث کاهش ویسکوزیته خمیر می‌شود. کاهش ویسکوزیته به نفع رشد حباب در طول اکستروژن عمل می‌کند. علاوه بر این درجه سوپرهیتینگ، آب داخل اکستروود را بالا می‌برد که منجر به کاهش چگالی می‌شود (۵۱) نتایج مشابه با این مطالعه نیز در کارهای مرسیه (۱۹۷۵) و لوتن (۱۹۸۵) گزارش شد (۷۹، ۹۵).

با افزایش سرعت ماریپیچ در سرعت‌های بالا انتظار می‌رود ویسکوزیته خمیر مذاب کاهش یافته و الاستیسیته خمیر افزایش یابد که منجر به کاهش چگالی می‌شود (۵۱).

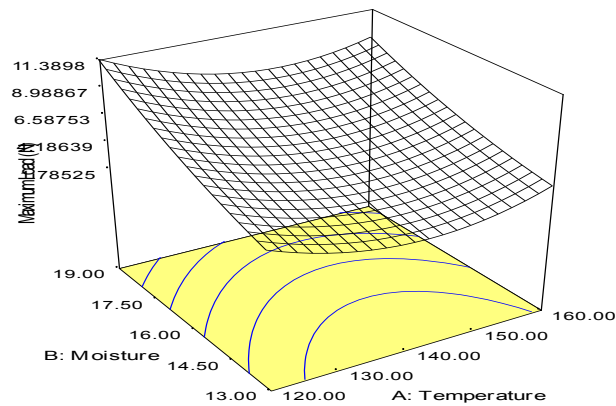
تأثیر دما بر روی انبساط شوندگی با فشار بخار اشباع و ویسکوزیته محصول اکستروژن شده در طول اکستروژن مرتبط است. نتایج مرسیه (۱۹۷۵) (۹۵) نشان داد که ویسکوزیته با افزایش دما کاهش می‌یابد. کاهش ویسکوزیته خمیر اکستروژن شده برای تولید حباب‌ها و افزایش انبساط شوندگی (۴۵) و کاهش چگالی (۴۵، ۵۱، ۶۳) مفید است. به عبارت دیگر در دمای پایین‌تر اکستروژن، رشد حباب در خمیر تنها زمانی که خمیر از قالب خارج شود صورت می‌گیرد زیرا فشار بخار اشباع کمتر از فشار در درون قالب است که منجر به انبساط بیشتر در جهت مقطعی می‌گردد (۱۲۲، ۱۳۰). زمانیکه دمای اکستروژن افزایش یابد فشار بخار اشباع نسبت به فشار خمیر مذاب درون قالب بالاتر است که منجر به رشد حباب‌ها درون قالب در همان جهت جریان مواد شده که باعث انبساط طولی بیشتر نسبت به انبساط شعاعی می‌گردد (۱۳۰). اگرچه در دمای بالاتر، آب بیشتری به سرعت به بخار تبدیل شده و موجب افزایش ویسکوزیته خمیر و انجماد سریع می‌گردد. رشد حباب‌ها در این مورد زودتر از کاهش دما متوقف می‌شود که باعث کاهش انبساط شوندگی می‌گردد (۱۲۲، ۷۴، ۱۳۰).

کیس (۱۹۹۲) و مرسیه (۱۹۷۵) گزار کردند افزایش میزان ژلاتیناسیون نشاسته بر اثر افزایش دما (دما در محدوده ۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد) منجر به افزایش حجم و کاهش چگالی می‌شود (۳۰، ۹۵).

#### ۳-۳-۴- میزان سختی اسنک تولید شده

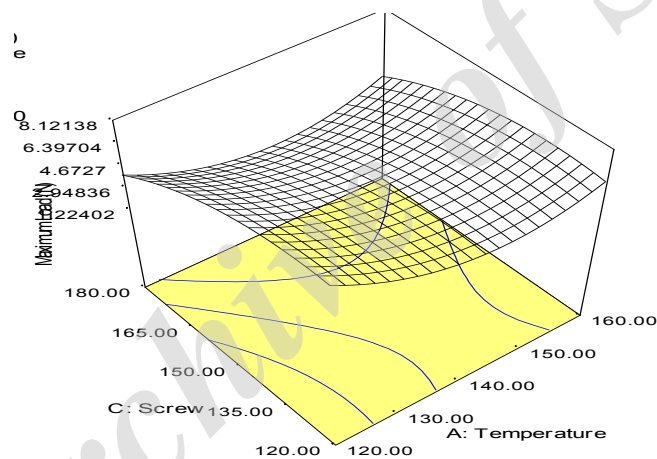
برای بررسی تغییرات میزان سختی محصول طی شرایط متفاوت اکستروژن مدل چند جمله‌ای درجه دوم از نظر آماری معنی‌دار بود ( $p < 0/05$ ). در این مدل اثر رطوبت، سرعت ماریپیچ و عبارت درجه دوم دما بر سختی معنی‌دار بود ( $p < 0/05$ ).

در شکل ۴۳ اثر همزمان دما-رطوبت در سرعت ماریپیچ ثابت ۱۵۰ دور بر دقیقه بر میزان سختی نشان داده شده است. بر این اساس، دما اثر محسوسی بر فاکتور سختی نداشت؛ با این حال با افزایش دما تا ۱۴۰ درجه سانتیگراد روند کاهشی را برای سختی در نمودار شاهد بودیم و پس از آن نمودار روند افزایشی داشت. با توجه به معنی‌داری اثر درجه دوم دما ( $p < 0/05$ ) می‌توان وجود انحناء در شکل رویه و کنتور را انتظار داشت. از طرفی رطوبت اثر محسوسی بر فاکتور چگالی ظاهری داشت؛ بطوریکه با افزایش درصد رطوبت در محدوده دمایی ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد میزان چگالی ظاهری به صورت خطی در محدوده تغییرات Xها افزایش یافت.



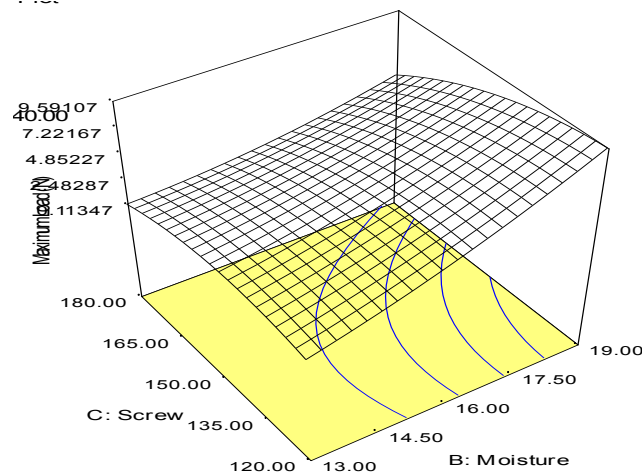
شکل ۴۳- اثر همزمان دو متغیر دما و رطوبت بر میزان سختی

اثر همزمان دما- سرعت مارپیچ در رطوبت ثابت ۱۶ درصد بر میزان سختی در شکل ۴۴ نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش سرعت مارپیچ در محدوده دما ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد سختی کاهش معنی داری نشان داد.



شکل ۴۴- اثر همزمان دو متغیر دما و سرعت مارپیچ بر میزان سختی

در شکل ۴۵ اثر همزمان رطوبت-سرعت مارپیچ در دما ثابت ۱۴۰ درجه سانتیگراد بر میزان سختی مشاهده گردید. بر این اساس، با افزایش رطوبت و سرعت مارپیچ فاکتور سختی بترتیب افزایش و کاهش معنی داری داشت. همانطور که در شکل مشخص است همراه با افزایش رطوبت در سرعت مارپیچ پایین (۱۲۰ دور بر دقیقه) بیشترین سختی مشاهده گردید. از طرف دیگر کاهش سختی همراه با افزایش سرعت مارپیچ در رطوبت پایین در مقایسه با رطوبت بالا کاهش اندکی داشت.



شکل ۴۵- اثر همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت ماریپیج بر میزان سختی

سختی حداکثر نیروی مورد نیاز جهت سوراخ کردن یا نفوذ در محصول می‌باشد. میزان سختی اسنک اکستروود شده مخلوط ذرت و عدس جوانه زده در این آزمایش در محدوده (۱۳/۹۱۵۷-۶۱۱۸/ نیوتن) بود. نتایج در این تحقیق نشان داد که با افزایش سرعت ماریپیج و رطوبت سختی بترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. در بخش قبلی معلوم شد که رطوبت فاکتور اصلی موثر بر چگالی و انبساط شوندگی می‌باشد. انتظار می‌رود چگالی بالا و انبساط شوندگی کم محصولی با سختی بیشتر تولید کند.

در مطالعات گذشته به افزایش سختی همراه با افزایش رطوبت اشاره شده بود (۱۶، ۸۶) و علت آن ممکن است به سبب کاهش انبساط شوندگی ناشی از افزایش رطوبت باشد. این نتایج مشابه گزارشات دینگ (۲۰۰۵) در محصول برنج منبسط شده و بدری (۱۹۹۱) در بررسی آرد کاساوا می‌باشد (۴۵). از طرفی نیز درجه ژلاتیناسیون نشاسته و نسبت انبساط شوندگی با رطوبت رابطه منفی دارد.

دینگ (۲۰۰۶) گزارش داد که افزایش دما سختی را کاهش می‌دهد، بطوریکه با افزایش دما، ویسکوزیته خمیر کاهش یافته که به رشد حباب، افزایش انبساط شوندگی و کاهش دانسیته کمک می‌کند و محصول اکستروود شده نرم-تری حاصل می‌شود به همین ترتیب با افزایش سرعت ماریپیج ویسکوزیته کاهش یافت و در نتیجه آن تراکم کمتر شد و انتظار می‌رود محصول نرم‌تری حاصل شود (۴۴).

در مطالعه دیگری توسط هیل (۲۰۱۲) گزارش شد که در دماهای بالا ژلاتیناسیون نشاسته افزایش یافته که منجر به کاهش سختی می‌شود و به افزایش حجم و کاهش دانسیته توده و محصولات اکستروود شده کمک می‌کند (۹۰).

#### ۴-۴-۴- بهینه‌یابی شرایط فرایند جهت بهبود خواص فیزیکی

در این بخش، هدف از بهینه‌سازی بهبود ویژگی‌های فیزیکی بود. تنظیمات اعمال شده برای فرایند بهینه‌سازی، شامل متغیرهای مستقل (دما، رطوبت، سرعت ماریپیج) در محدوده آزمایش و میزان نسبت انبساط شوندگی

بیشینه و میزان چگالی و سختی کمینه بود. نتایج فرآیند بهینه‌سازی، نشان داد؛ شرایط بهینه تولید اسنک با نسبت انبساط شونده‌گی  $5/39595$  و میزان چگالی  $0/0715$  و میزان سختی  $1/2305$ ؛ شامل دمای  $135/91$  درجه سانتیگراد، رطوبت  $13$  درصد و سرعت ماریچ  $120$  دور بر دقیقه تعیین گردید.

#### ۴-۵- بررسی آزمون‌های مهاجرت در فیلم‌ها

اندازه‌گیری میزان مهاجرت، در محیط‌های مختلف مواد غذایی با استفاده از مدل‌های شبیه سازی شده انجام می‌گیرد که با استفاده از این محیط‌ها می‌توان مهاجرت ترکیب خاصی از مواد را از پلیمر به داخل محیط و مواد غذایی تخمین زد. معمولاً مدل استفاده شده برای شبیه سازی محیط چربی، مخلوط اتانول و آب مقطر به نسبت  $95$  به  $5$  و برای محیط آبی نسبت  $10$  به  $90$  انتخاب می‌شود. در این تحقیق نیز از دو مدل مذکور تحت عنوان مدل غذایی اتانولی و مدل غذایی آبی استفاده گردید.

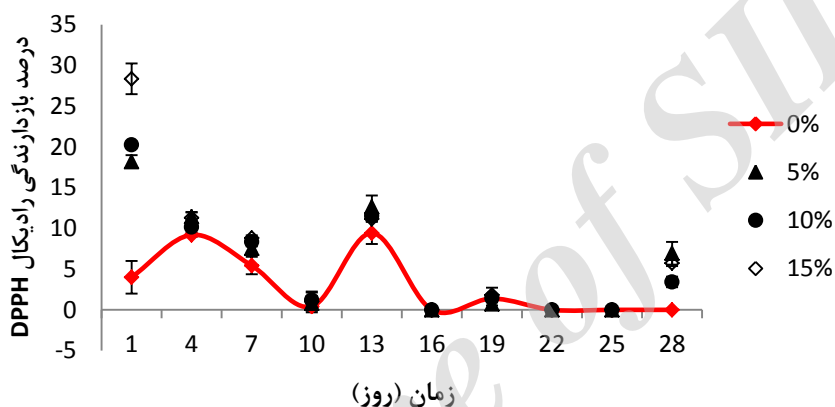
فرایند مهاجرت تحت تاثیر ساختار ترکیب مهاجرت کننده، قابلیت آن در ایجاد پیوندهای هیدروژنی با پلیمر یا سایر افزودنی‌ها و یا میل ترکیبی آن به مدل غذایی و نیز برهم کنش میان ماده غذایی یا مدل غذایی با پلیمر است (۴۰).

به منظور بررسی میزان رهائش سدیم آسکوربات به عنوان ترکیب گیرنده اکسیژن از سه آزمون بررسی درصد مهارشوندگی رادیکال‌های DPPH و ABTS توسط سدیم آسکوربات رها شده در مدل‌های غذایی در طی زمان- ماندگاری در دمای  $25$  درجه سانتی‌گراد و نیز اندازه‌گیری میزان مهاجرت سدیم آسکوربات استفاده گردید.

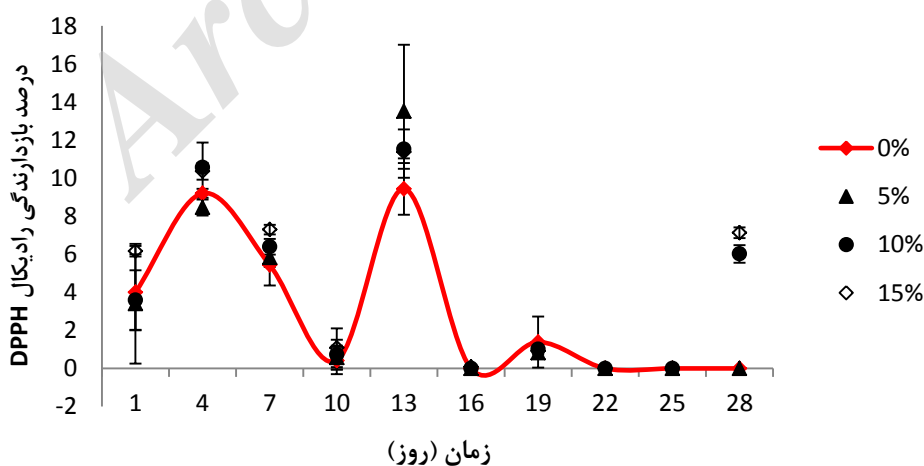
در آزمون اندازه‌گیری درصد مهارشوندگی رادیکال DPPH، رادیکال مذکور با ضد اکساینده واکنش داده و به شکل کاهش یافته در می‌آید و رنگ آن از بنفش تیره به زرد روشن تبدیل شده و در نتیجه جذب در طول موج  $517$ - $515$  کاهش می‌یابد. لذا هرچه میزان رهائش آسکوربات سدیم به درون مدل غذایی کمتر باشد، میزان جذب که بیانگر مقدار DPPH باقیمانده است، بیشتر می‌شود ( $136$ ). اشکال  $46$  و  $47$  به ترتیب درصد مهار رادیکال DPPH را در مدل غذایی اتانولی (مدل غذایی چرب) حاوی فیلم‌های فعال LDPE دارای ذرات گیرنده اکسیژن سدیم آسکوربات (SA-LDPE) و نانوذرات سدیم آسکوربات (NSA-LDPE) را در مقایسه با فیلم LDPE خالص (فاقد سدیم آسکوربات) نشان می‌دهد. با توجه به ماهیت قطبی نمک سدیم آسکوربات، انتظار می‌رود میزان رهائش ترکیب مذکور در مدل غذایی اتانولی که مدل غذایی برای مواد غذایی چرب است، کم باشد. نتایج بدست آمده موید این مطلب بود. همان طور که در شکل  $46$  مشاهده می‌شود بیشترین درصد مهار رادیکال DPPH مربوط به فیلم فعال SA-LDPE با غلظت  $15$  درصد سدیم آسکوربات در روز اول آزمون است. این درحالی است که بیشترین میزان رهائش نانو ذرات سدیم آسکوربات به درون مدل غذایی اتانولی پس از سیزده روز نگهداری بدست آمد. غلظت‌های مختلف سدیم آسکوربات در میزان رهائش اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین لازم به ذکر است که حداکثر میزان بازدارندگی رادیکال DPPH در فیلم‌های فعال حاوی نانوذرات در مقایسه با فیلم‌های SA-LDPE کمتر و در حدود  $11$  تا  $13$  درصد بدست آمد. این

بدان معناست که نانوذرات به شکل مستحکم‌تری با پلیمر LDPE پیوند برقرار نموده لذا در مقایسه با ذرات معمولی سدیم آسکوربات، با سرعت کمتری از فیلم فعال به درون مدل غذایی مهاجرت می‌نماید.

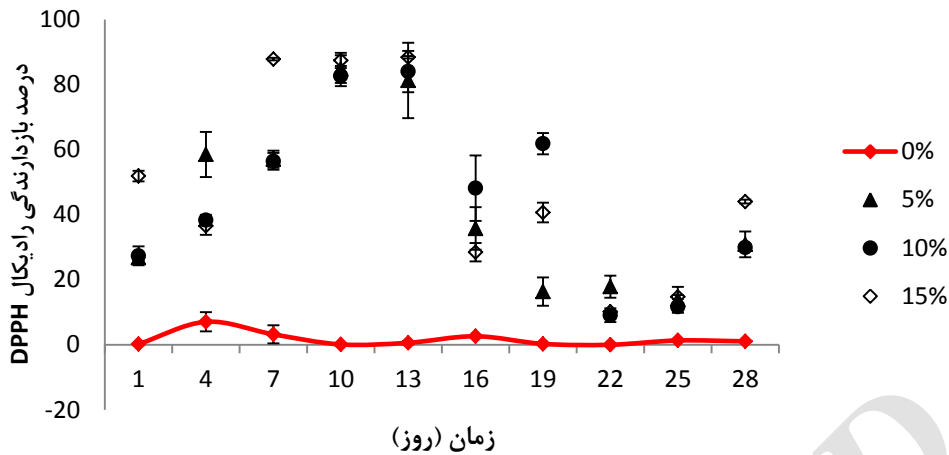
در مدل غذایی ۲ که مدلی برای مواد غذایی مایع و آبی محسوب می‌شود، سدیم آسکوربات حلالیت بالایی داشته و با سرعت بیشتری به درون مدل مهاجرت نمود. بنابراین درصد مهار رادیکال DPPH در مقایسه با مدل غذایی اتانولی بالاتر بود. در مورد فیلم‌های فعال SA-LDPE بیشترین درصد بازدارندگی در روزهای هفتم تا سیزدهم نگهداری بدست آمد؛ درحالی‌که بیشترین درصد مهار رادیکال DPPH در مورد فیلم فعال NSA-LDPE حدود ۸۵ درصد بود که در روز سیزدهم نگهداری رخ داد (شکل‌های ۴۸ و ۴۹).



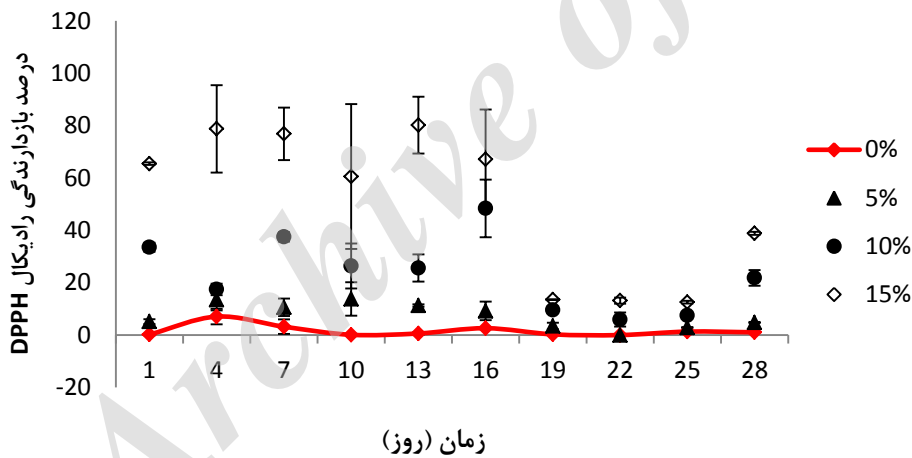
شکل ۴۶- درصد بازدارندگی رادیکال DPPH در مدل غذایی اتانولی حاوی فیلم SA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.



شکل ۴۷- درصد بازدارندگی رادیکال DPPH در مدل غذایی اتانولی حاوی فیلم NSA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.



شکل ۴۸- درصد بازدارندگی رادیکال DPPH در مدل غذایی آبی حاوی فیلم SA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.

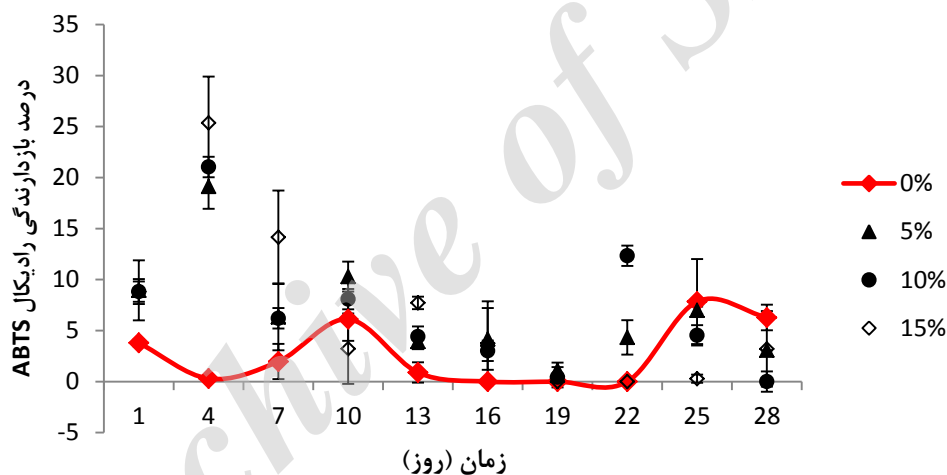


شکل ۴۹- درصد بازدارندگی رادیکال DPPH در مدل غذایی آبی حاوی فیلم NSA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.

آزمون تعیین درصد مهار شونده رادیکال ABTS، آزمون دیگری برای سنجش میزان مهاجرت سدیم آسکوربات به درون مدل‌های غذایی چرب و مایع بود. در این آزمون، رادیکال کاتیون‌های ABTS با ضداکساینده واکنش داده و به شکل کاهش یافته درمی‌آید در نتیجه از طریق تعیین میزان این کاهش جذب در طول موج ۷۳۴ نانومتر، می‌توان به درصد بازدارندگی آنتی‌اکسیدان مورد نظر پی برد (۱۳۶).

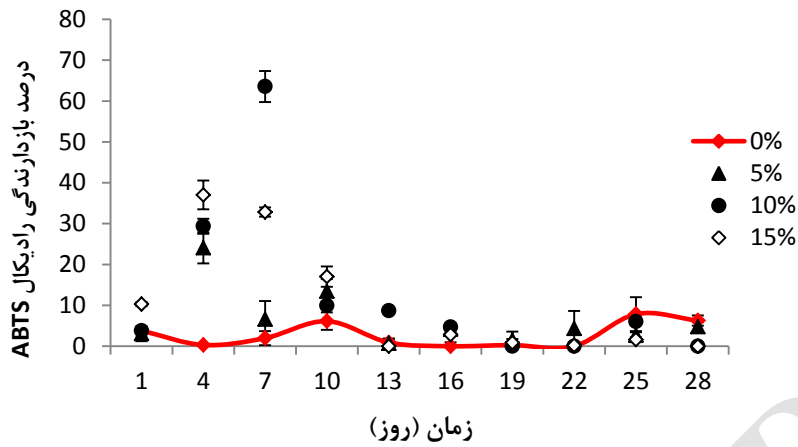
همان‌طور که در اشکال ۸۰ الی ۵۳ مشاهده می‌شود، در مدل غذایی اتانولی حاوی فیلم فعال SA-LDPE بیشترین درصد مهار رادیکال ABTS پس از ۳ روز ماندگاری و در غلظت ۱۵ درصد سدیم آسکوربات به وقوع پیوست. این درحالی است که در مورد فیلم فعال NSA-LDPE پس از ۷ روز نگهداری، مقادیر زیادی از نانوذرات سدیم آسکوربات از فیلم به درون مدل غذایی مهاجرت نمود به طوری که درصد مهار رادیکال ABTS در مدل غذایی اتانولی به بیش از ۶۳ درصد رسید.

بر طبق آزمون مهار رادیکال ABTS، مقادیر مهاجرت ذرات و نانو ذرات سدیم آسکوربات به درون مدل غذایی آبی بیشتر بود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد دلیل این امر میل ترکیبی بیشتر سدیم آسکوربات به مدل غذایی مایع به دلیل ماهیت آبدوست این ترکیب است. در مدل غذایی نوع آبی حاوی فیلم فعال SA-LDPE با غلظت ۱۵ درصد سدیم آسکوربات، درصد مهار رادیکال ABTS پس از ۷ روز نگهداری، ۸۵/۳۲ بدست آمد. این رغم در مورد فیلم فعال NSA-LDPE در مدت زمان مشابه به حدود ۹۳ درصد رسید.

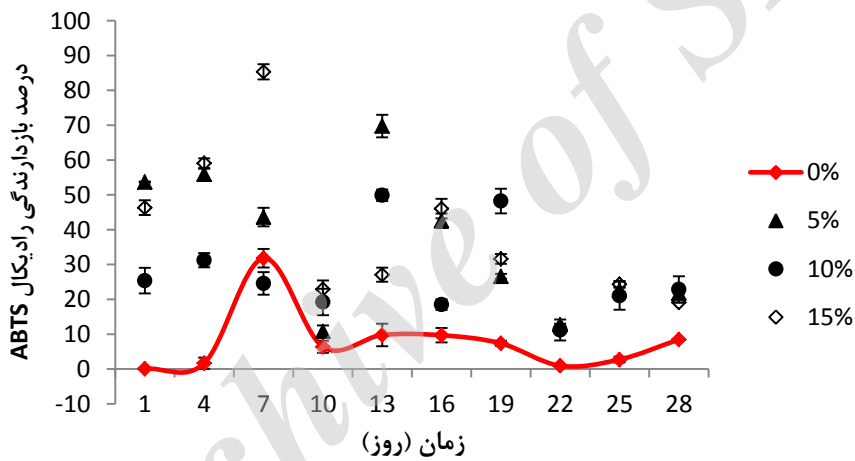


شکل ۵۰- درصد بازدارندگی رادیکال ABTS در مدل غذایی اتانولی حاوی فیلم SA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشند.

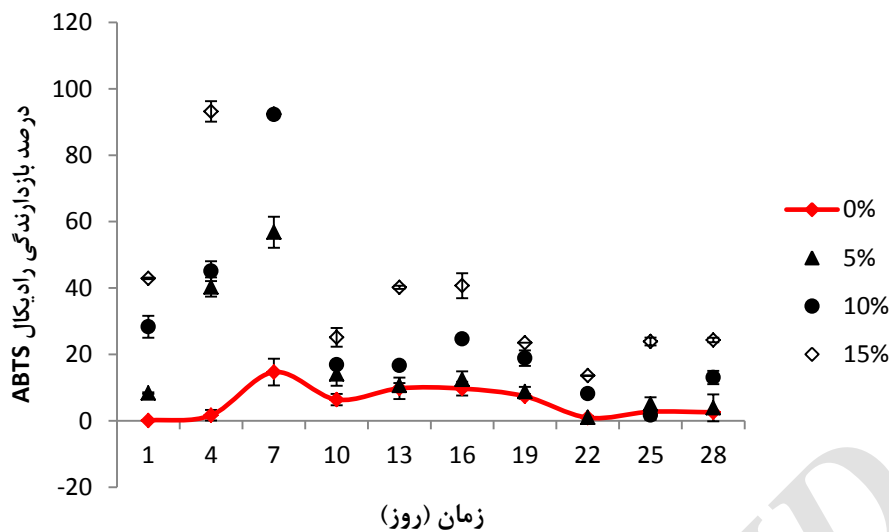




شکل ۵۱- درصد بازدارندگی رادیکال ABTS در مدل غذایی اتانولی حاوی فیلم NSA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.



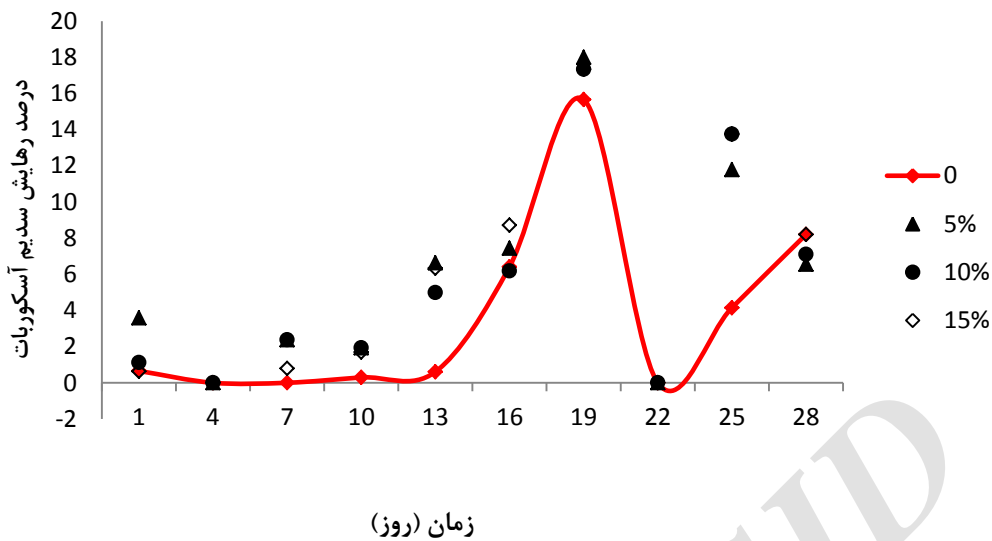
شکل ۵۲- درصد بازدارندگی رادیکال ABTS در مدل غذایی آبی حاوی فیلم SA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.



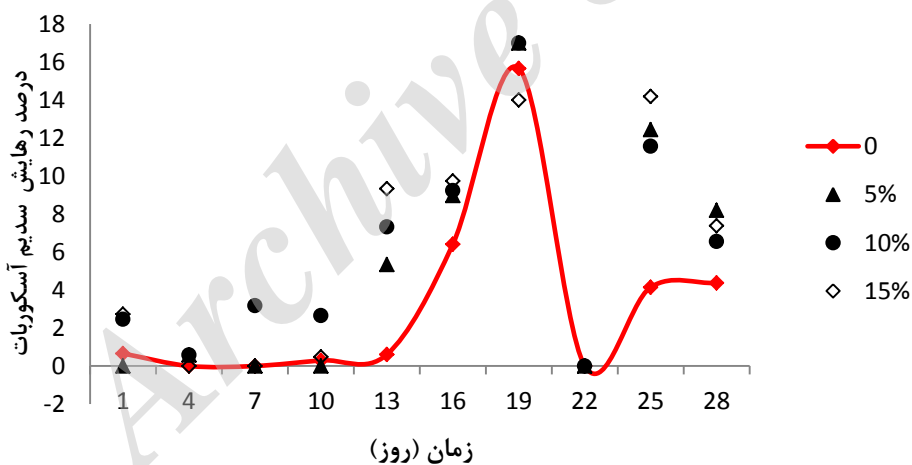
شکل ۵۳- درصد بازدارندگی رادیکال ABTS در مدل غذایی آبی حاوی فیلم NSA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.

اندازه‌گیری مهاجرت سدیم آسکوربات از فیلم به محلول مدل، به وسیله میزان احیاء شوندگی ۶۰۲-دی کلروفنل ایندوفنل انجام گرفت. این محلول رنگی توسط ترکیب سدیم آسکوربات احیاء می‌شود و به صورتی تا زرد تغییر رنگ می‌دهد.

همان طور که در شکل ۵۴ و ۵۵ مشاهده می‌شود در مدل غذایی اتانولی، فیلم LDPE که بدون افزودن سدیم آسکوربات به عنوان ترکیب گیرنده اکسیژن تهیه گردید در روز نوزدهم نگهداری، حدود ۱۵ درصد رهائش سدیم آسکوربات داشت. احتمالاً دلیل این امر را می‌توان به استفاده از ترکیب یا ترکیباتی از اسید آسکوربیک با خاصیت هیدروفوبی در فرمولاسیون اولیه فیلم پایه LDPE توسط تولید کننده در حین ساخت فیلم نسبت داد. در مورد فیلم‌های SA-LDPE نیز بیشترین میزان رهائش در روز نوزدهم رخ داد. میزان رهائش سدیم آسکوربات از فیلم NSA-LDPE در مدل غذایی آبی مشابه فیلم‌های SA-LDPE بدست آمد به طوری که در روز نوزدهم ۱۷ درصد از سدیم آسکوربات از فیلم NSA-LDPE با غلظت ۵ و ۱۰ درصد، به درون مدل غذایی مهاجرت نمود.



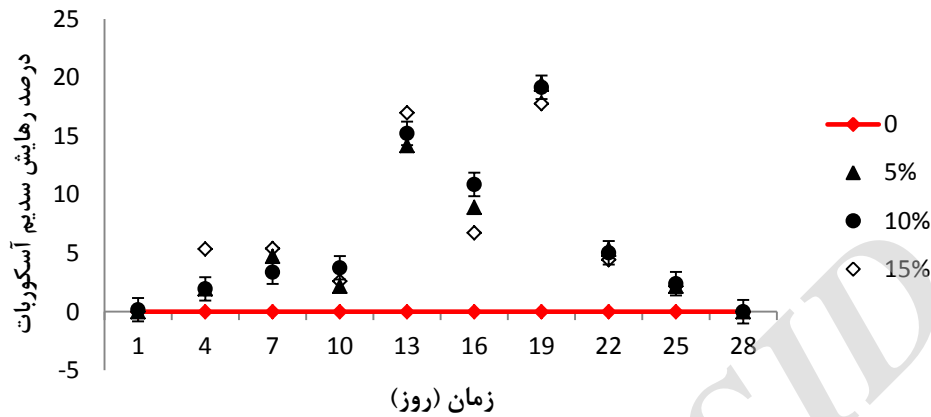
شکل ۵۴- درصد رهائش سدیم آسکوربات در مدل غذایی اتانولی حاوی فیلم SA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.



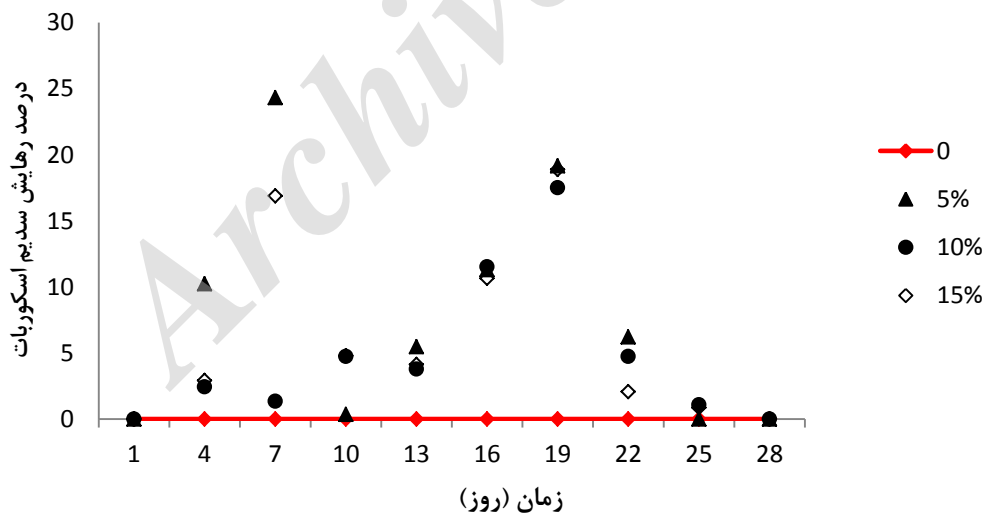
شکل ۵۵- درصد رهائش سدیم آسکوربات در مدل غذایی اتانولی حاوی فیلم NSA-LDPE. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.

میزان مهاجرت سدیم آسکوربات از فیلم‌های SA-LDPE و NSA-LDPE به درون مدل غذایی آبی به ترتیب در شکل ۵۶ و ۵۷ مشاهده می‌شود. در این مدل غذایی از فیلم LDPE فاقد سدیم آسکوربات، در طی مدت زمان نگهداری رهائشی مشاهده نگردید. این درحالی است که ۲۴/۳۲ درصد از سدیم آسکوربات فیلم SA-LDPE با غلظت ۵ درصد به درون مدل غذایی آبی مهاجرت نمود. در رابطه با فیلم‌های NSA-LDPE میزان رهائش در روز نوزدهم در

حداکثر مقدار خود در حدود ۱۷ تا ۱۹ درصد بدست آمد؛ غلظت نانوذرات سدیم آسکوربات در میزان رهایش تاثیر معنی- دار نداشت.



شکل ۵۶- درصد رهایش سدیم آسکوربات در مدل غذایی آبی حاوی فیلم SA-LDPE. تیرکهای رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.



شکل ۵۷- درصد رهایش سدیم آسکوربات در مدل غذایی آبی حاوی فیلم NSA-LDPE. تیرکهای رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد.

بیان و همکاران (۲۰۱۰) به منظور ارزیابی فعالیت ضداکسایشی فیلم پلی‌لاکتیک اسید حاوی آنتی‌اکسیدان‌های آلفا توکوفرول و BHT قابلیت فیلم را در مهار رادیکال DPPH بررسی نمودند. لازم به ذکر است BHT تنها به منظور حفاظت ساختار فیلم در طی اکستروژن افزوده شد. همچنین در تهیه فیلم‌های مذکور از پلی‌اتیلن گلیکول نیز استفاده

گردید. فیلم حاوی ۱ درصد آلفا توکوفرول، ۰/۰۱ درصد BHT بیشترین فعالیت را نشان داد (۹۰ درصد مهار رادیکال DPPH)؛ درحالی که فیلم فاقد ترکیبات آنتی‌اکسیدان، قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH را نداشت (۲۷).

دیکاستیلو و همکاران ۲۰۱۱ رهایش ترکیبات ضد اکسایش از فیلم کopolymerی از اتیلن وینیل الکل و عصاره چای را بررسی نمودند. آنالیز داده‌های HPLC درمورد رهایش ترکیبات عصاره چای سبز به درون مدل‌های غذایی (آبکی و روغنی) نشان داد که در طی فرایند اکستروژن مقداری از ترکیبات ضد اکسایش موجود در عصاره چای تجزیه شدند به طوری که میزان کاتچین گالات‌های موجود کاهش و غلظت اسید گالیگ آزاد افزایش یافت. همچنین همه ترکیبات چای به درون مدل‌های غذایی مهاجرت داشتند اگر چه شدت رهایش به نوع ماده غذایی بستگی داشت. درمدل غذایی آبکی، اسید گالیک عمده‌ترین ترکیب رهایش یافته بود درحالی که در مدل غذایی روغنی (اتانول ۹۵ درصد) کاتچین-های مختلف عمده ترکیبات رها شده را تشکیل دادند. هنگامی که فیلم در معرض دو مدل غذایی آبکی و روغنی قرار گرفت نتایج نشان داد که در مدل مایع ظرفیت ضد اکسایشی ترکیبات به منظور کاهش رادیکال‌های DPPH و ABTS بیشتر بود (۸۹).

جمشیدیان و همکاران (۲۰۱۲) میزان رهایش آنتی‌اکسیدان‌های فنلی سنتزی BHT, BHA, PG و TBHQ را از فیلم پلی‌لاکتیک اسید درون مدل‌های غذایی بررسی نمودند. مدهای غذایی مورد استفاده شامل مدل ۱۰ درصد اتانول به عنوان مدلی برای مواد غذایی آبکی و مدل ۵۰ درصد اتانولی به عنوان مدلی برای محصولات حاوی الکل و نیز شیر و فراورده‌های لبنی و مدل ۹۵ درصد اتانول به عنوان مدلی برای مواد غذایی چرب بود. دمای نگهداری ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. میزان رهایش با استفاده از دستگاه HPLC اندازه‌گیری شد. با توجه به آن که آنتی‌اکسیدان‌های مورد استفاده در این تحقیق از ویژگی هیدروفوبی برخوردار بودند، سرعت و میزان رهایش آن‌ها در مدل ۹۵ درصد اتانول بالا بود. در این مدل PG و TBHQ با سرعت بیشتری رها شدند به طوری که پس از ۷ ساعت این دو آنتی‌اکسیدان به طور کامل از فیلم به درون مدل غذایی رهایش یافتند. در مورد BHA و BHT رهایش کامل به ترتیب پس از ۴۸ ساعت و ۴ روز اتفاق افتاد. در مدل ۵۰ درصد اتانول، PG سریعتر از سایر آنتی‌اکسیدان‌ها به درون مدل مهاجرت نمود. در حالی که حتی پس از ۶۰ روز نگهداری، رهایش کامل BHT رخ نداد. در مدل ۱۰ درصد اتانول، تنها PG و BHA آن هم به میزان ناچیزی رهایش یافتند. سرعت PG در رهایش بیش از BHA بود که دلیل آن را قطبیت بالاتر PG بیان نمودند (۶۷).

پیرا و همکاران (۲۰۱۲) رهایش عصاره آنتی‌اکسیدانی پوسته جو موجود در فیلم LDPE در مدل‌های غذایی آب (در ۴۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و ایزواکتان (در ۲۰ درجه سانتی‌گراد) را بررسی نمودند. میزان مهاجرت پس از تبخیر مدل و خشک نمودن آن و اندازه‌گیری جرم باقیمانده بر حسب میلی‌گرم مهاجرت کل در دسی متر مربع از سطح نمونه بیان شد. نتایج نشان داد که مهاجرت کل ترکیبات عصاره به درون آب و ایزواکتان قابل چشم‌پوشی است که این نشان‌دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مطلوب عصاره پوسته جو به منظور استفاده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی است (۴۰).

دیکاستیلو و همکاران (۲۰۱۳) رهایش ترکیبات عصاره چای سبز تثبیت شده در فیلم‌های پروپیلن و پروپیلن گرفت شده با مالئیک انهدیدرید را با استفاده از دو مدل غذایی ۱۰ درصد اتانول (مواد غذایی آبکی) و ۵۰ درصد اتانول (مواد غذایی چرب) پس از ۱۰ روز نگهداری در ۴۰ درجه سانتی‌گراد بررسی نمودند. همچنین در این تحقیق اثر تیمار حرارتی استریلیزاسیون (۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت) و تیمار حرارتی مایکروویو (۸۰۰ وات به مدت ۱۵ دقیقه) بر روی رهایش ترکیبات با استفاده از دستگاه HPLC ارزیابی گردید (۴۱).

افزایش رهایش در شرایط عملیاتی یکسان بستگی به سازگاری مواد مهاجرت کننده با مدل‌های غذایی و فیلم پلیمری دارد. هرچه میزان حلالیت ترکیبات در مدل‌های غذایی بیشتر باشد، میزان رهایش آن‌ها افزایش بیشتری نشان می‌دهد.

در این تحقیق میزان مهاجرت در مدل غذایی ۵۰ درصد اتانول بیشتر بود. در میان ترکیبات عصاره چای، اسید گالیک میزان مهاجرت قابل توجهی داشت که احتمالاً با فرایند تجزیه آن در طی فرایند اکستروژن فیلم مرتبط است. با اعمال تیمار حرارتی استریلیزاسیون و مایکروویو مقدار قابل توجهی از ترکیبات چای به درون مدل غذایی مهاجرت نمود. محققان دلیل این امر را فعال شدن ساختار مولکولی و افزایش خاصیت پلاستی سائزی آن‌ها در اثر حرارت عنوان نمودند. در مقایسه با تیمار استریلیزاسیون، تیمار مایکروویو سبب رهایش بیشتر ترکیبات عصاره چای گردید.

میزان مهاجرت همچنین به نوع فیلم وابسته بود به طوری که در فیلم گرفت شده میزان رهایش مواد کاهش یافت که این امر به دلیل قدرت مالئیک انهدیدرید در حفظ ترکیبات عصاره چای است.

در این تحقیق پس از ۱۰ روز نگهداری فیلم‌ها و رهایش مقادیری از ترکیبات عصاره چای به درون مدل‌های غذایی، قدرت فیلم‌ها در مهار رادیکال ABTS ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که فیلم پلی‌اتیلنی گرفت شده با مالئیک انهدیدرید و حاوی عصاره چای بیشترین خاصیت مهارکنندگی را پس از گذشت ۱۰ روز نگهداری در ۴۰ درجه سانتی‌گراد داشت (۴۱).

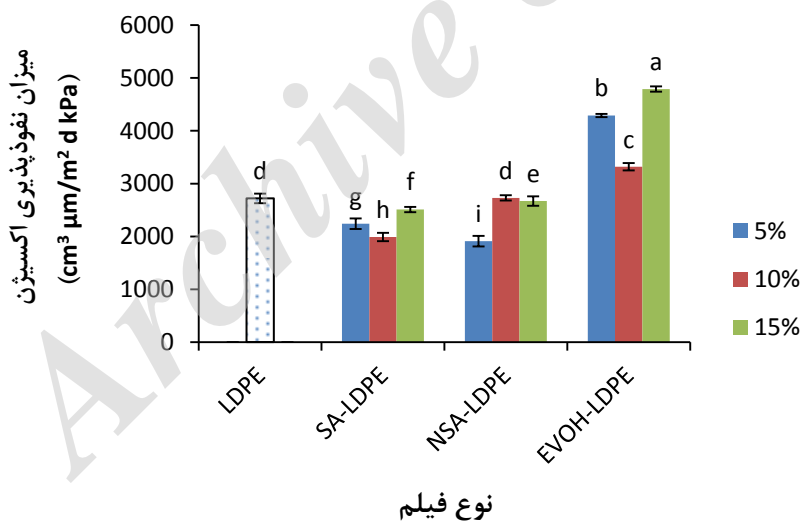
جمشیدیان و همکاران (۲۰۱۳) رهایش برخی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی (آلفا توکوفرول و آسکوربیل پالمیتات) و سنتزی (BHT، BHA، PG و TBHQ) را از فیلم پلی‌لاکتیک اسید در مدل غذایی ۹۵ درصد اتانول بررسی نمودند. در میان آنتی‌اکسیدان‌های مورد آزمون، آسکوربیل پالمیتات در طی تهیه فیلم به ویژه در طی فرایند خشک کردن محلول پلی‌مری به دلیل حساسیت بالای آن به نور و دما تجزیه گردید و بدین ترتیب هیچگونه رهایشی در مدل غذایی مشاهده نشد. وزن مولکولی آنتی‌اکسیدان‌ها، قطبیت مدل غذایی، دما و چربی‌دوستی (نسبت غلظت آنتی‌اکسیدان غیر یونیزه در مدل غذایی) تاثیرگذارترین عوامل در رهایش آنتی‌اکسیدان‌ها از فیلم به درون مدل غذایی عنوان گردید (۶۶).

کولین-چاوز و همکاران (۲۰۱۳) مهاجرت آستاگزانتین را از فیلم پلی‌اتیلنی در مدل غذایی چرب (اتانول ۹۵ درصد) در چهار دمای ۱۰، ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه HPLC بررسی نمودند. نتایج نشان داد

که میزان رهایش آستاگزانتین از فیلم پلیمری به ترتیب برای دماهای ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه، ۵۹/۶۲ درصد در مدت ۱۹۰/۵ ساعت، ۹۳/۸۱ درصد در مدت ۵۳/۳۸ ساعت و ۹۷/۹۵ درصد پس از گذشت ۱۲ ساعت بود. در دمای ۱۰ درجه سانتی-گراد در ۲۷/۵ ساعت اولیه مقدار آستاگزانتین تغییری نکرد و از آن زمان به بعد غلظت آن در فیلم روندی کاهشی داشت و پس از گذشت ۳۰ روز از انجام آزمایش رهایش به طور کامل صورت نگرفت (۳۶).

#### ۴-۶- بررسی نفوذ پذیری به اکسیژن

شکل ۵۸ میزان نفوذپذیری فیلم‌های فعال SA-LDPE و NSA-LDPE حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات را در مقایسه با فیلم LDPE خالص نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود آمیختن سدیم آسکوربات در ماتریکس فیلم LDPE به طور معنی داری نفوذپذیری اکسیژن را در آن نسبت به LDPE خالص کاهش داد ( $P < 0.05$ ). مقایسه دو فیلم SA-LDPE و NSA-LDPE نشان می‌دهد که میزان نفوذپذیری اکسیژن در فیلم‌های SA-LDPE نسبت به NSA-LDPE در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ درصد آسکوربات کمتر می‌باشد. به عبارت دیگر کاهش اندازه ذرات نمک سدیم آسکوربات در غلظت‌های بالا به افزایش معنی دار میزان نفوذپذیری اکسیژن منجر شد ( $P < 0.05$ ).



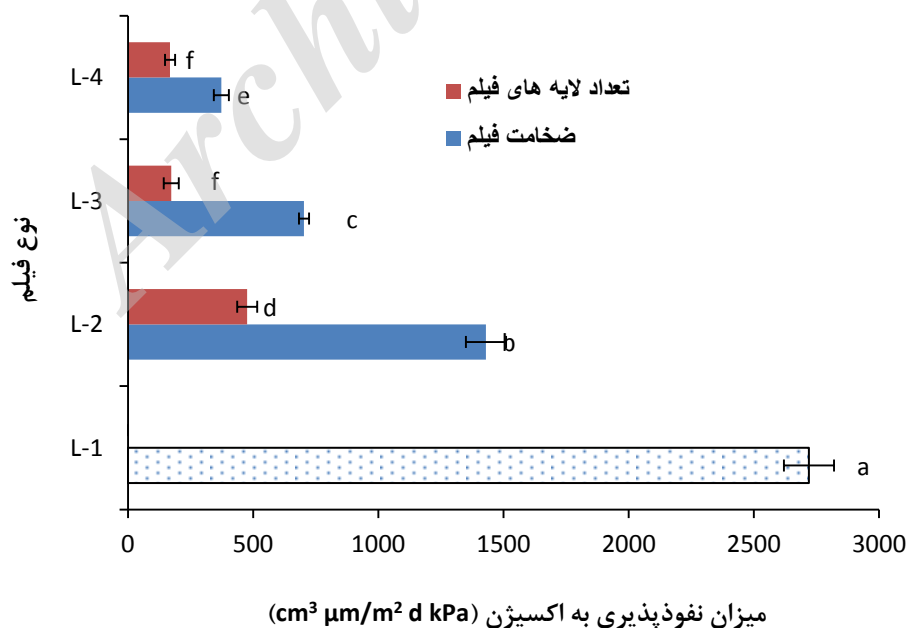
شکل ۵۸- میزان نفوذ پذیری به اکسیژن در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و EVOH. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

همان طور که از شکل ۳-۱۳ پیداست میزان نفوذپذیری اکسیژن در فیلم‌های EVOH-LDPE، به طور قابل توجهی بالاتر از فیلم‌های فعال حاوی آسکوربات و LDPE خالص بود ( $P < 0.05$ ). به عبارت دیگر آمیختن پلیمر EVOH با LDPE نه تنها باعث بهبود نفوذپذیری به اکسیژن نشد بلکه میزان آن را به مقدار زیادی افزایش داد. در میان فیلم‌های EVOH-LDPE بهترین نفوذپذیری به اکسیژن به غلظت ۱۰ درصد مربوط بود. بیشترین و کمترین

نفوذپذیری به اکسیژن در مقایسه با فیلم LDPE خالص به ترتیب مربوط به فیلم EVOH-LDPE در نسبت ۱۵ درصد (۷۶/۱۰ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) و فیلم SA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات (۲۶/۸۴ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) بود.

شکل ۵۹ میزان نفوذپذیری فیلم‌های LDPE با ضخامت یا تعداد لایه‌های مختلف را در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. افزایش تعداد لایه‌های فیلم LDPE منجر به کاهش قابل توجه و معنی دار میزان نفوذپذیری به اکسیژن شد ( $P < 0.05$ ). به طوری که افزایش تعداد لایه‌ها از یک به ۴ لایه با کاهش ۹۳/۸۲ درصدی میزان نفوذپذیری اکسیژن همراه بود. این نتیجه در مورد افزایش ضخامت فیلم LDPE نیز صادق بود. به طوری که افزایش ضخامت از ۷/۵ میکرومتر به ۴۵ میکرومتر میزان نفوذپذیری به اکسیژن را ۸۶/۲۹ درصد کاهش داد. نگاه اجمالی به شکل ۵۹ مشخص می‌کند که تاثیر افزایش تعداد لایه بیش از افزایش ضخامت بوده است به ویژه این اختلاف در تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های کمتر بیشتر مشهود است.

سرعت عبور اکسیژن مواد پلاستیکی به شدت با کاهش ضخامت فیلم کاهش می‌یابد و در نتیجه غلظت گیرندگی اکسیژنی مورد نیاز در بسته‌بندی‌های انعطاف پذیر بیش از بسته‌بندی‌های با ضخامت بیشتر مانند بطری‌ها می‌باشد. فیلم‌های نازک (ضخامت ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر) می‌توانند خیلی سریعتر خاصیت گیرندگی خود را از دست بدهند که روی عملکرد بسته‌بندی تاثیرگذار خواهد بود (۵۴).





شکل ۵۹- میزان نفوذ پذیری به اکسیژن در فیلم‌های LDPE با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

نتایج مطالعه گالدی و انکارناتو (۲۰۱۱) روی فیلم‌های PET حاوی غلظت‌های مختلف از گیرنده اکسیژن تجارتي به نام Amosorb (AMS) نشان داد که افزودن AMS منجر به افزایش ظرفیت جذب اکسیژن نسبت به فیلم‌های PET خالص شد. همچنین آنها نشان دادند که ظرفیت جذب اکسیژن در فیلم‌های فعال طی زمان در سه مرحله شامل جذب سریع در ناحیه اول (در روزهای ابتدایی)، جذب کمتر آنها در ناحیه دوم و جذب با شیب تقریباً صفر در ناحیه سوم (رسیدن به حالت ثبات) انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر با گذشت زمان سرعت جذب کاهش یافته تا به حالت ثابت برسد. جذب سریع اکسیژن می‌تواند نشانگر این مطلب باشد که جذب اکسیژن از طریق مکان‌های گیرنده نزدیکتر به سطح فیلم انجام شده است سپس وقتی همه مکان‌های فعال سطحی اشباع شدند، اکسیژن به درون نفوذ می‌کند تا با مکان‌های گیرنده در دسترس در لایه درونی فیلم واکنش دهد. بدیهی است که مورفولوژی سیستم نهایی فیلم فعال و چگونگی پخش شدن ذرات فعال در ماتریکس پلیمر، نقش کلیدی در سرعت جذب و اشباعیت فیلم گیرنده اکسیژن دارد (۵۴).

کوئی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کارایی فیلم‌های LDPE حاوی مخلوط نمک آسکوربات سدیم و آهن تغییر یافته با افزایش نسبت وزنی سدیم آسکوربات به آهن تا رسیدن به نسبت ۷ به ۳ افزایش یافت (۳۸).

در بررسی تولید فیلم‌های پروتئین آب پنیر آمیخته با اسید اسکوربیک، جانجارسکول و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که افزودن اسید اسکوربیک با کاهش نفوذپذیری به اکسیژن در این فیلم‌ها همراه بود. این محققین علت این امر را به تغییر ریزساختار فیلم ناشی از افزودن اسید اسکوربیک نسبت دادند. همچنین نتایج آنها بیانگر افزایش مقدار اکسیژن مهار شده همگام با افزایش غلظت اسید اسکوربیک آمیخته شده با فیلم از ۰/۰۵ مولار به ۰/۲ مولار بود. میزان جذب اکسیژن می‌تواند متناسب با محتوی اسید اسکوربیک یا در واقع ترکیب گیرنده اکسیژن باشد که از لحاظ تئوری در واقع مبین گیرندگی اکسیژن است. اسید اسکوربیک در حضور مولکول آزاد اکسیژن دو الکترون از دست داده، اکسید شده و به اسید دهیدرواسکوربیک تبدیل می‌شود (۶۸).

شین و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که افزایش غلظت دو نوع ترکیب گیرنده اکسیژن (OS1 و OS2) از ۲۰ به ۵۰ درصد در فیلم‌های سه لایه (لایه اول: LLDPE، لایه دوم: LLDPE-OS=50:50% و لایه سوم: LLDPE) با افزایش ظرفیت جذب اکسیژن از ۲/۲۴ و ۲/۴۲ میلی لیتر در گرم به ترتیب به ۵/۶۸ و ۶/۱۰ میلی لیتر در گرم رسید. این محققین کمتر بودن میزان اکسیژن جذب شده در فیلم‌های حاوی OS1 را به آگومریزاسیون ماده گیرنده اکسیژن در این فیلم‌ها مربوط دانستند (۱۱۲).

رفتار متفاوت فیلم‌های فعال در میزان عبور اکسیژن به دو علت می‌تواند باشد؛ در وهله اول افزایش حجم آزاد در ساختار پلیمر می‌تواند به برهمکنش شیمیایی بین زنجیره پلیمر و مولکول‌های افزودنی منجر شود و در وهله دوم کاهش مواد کریستالی پلیمر با رفتار متفاوت فیلم‌های فعال از نظر نفوذپذیری به اکسیژن همراه خواهد بود.

نتایج راموس و همکاران (۲۰۱۲) با نتایج پژوهش حاضر همخوانی نداشت چراکه آنها مشاهده کردند که افزودن دو ترکیب ضد میکروبی کارواکرول<sup>۳۰</sup> و تیمول به فیلم‌های پلی‌پروپیلن با تغییر ساختار ماتریکس پلیمر و در نتیجه کاهش مقاومت آنها به نفوذ اکسیژن و سرعت بیشتر عبور اکسیژن نسبت به پلی‌پروپیلن خالص همراه بود (۱۰۹).

ذرات کوچک گیرنده اکسیژن در فیلم ممکن است تمایل به آگلومره شدن داشته باشند که در اثر خوشه ای شدن ذرات طی فرایند اکستروژن رخ می‌دهد. لایه اکسیدی که در معرض اکسیژن روی سطح آگلومرها تشکیل می‌شود از دسترسی توده به اکسیژن ممانعت کرده و منجر به کاهش جذب اکسیژن می‌شود (۱۱۲).

دیکاستیلو و همکاران (۲۰۱۲) فیلم‌های EVOH فعال حاوی غلظت ۵ درصد آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مختلف (اسید اسکوربیک، اسید فرولیک، کوئرستین و عصاره چای) را جهت افزایش زمان ماندگاری ماهی ساردین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها مبین رفتار متفاوت فیلم EVOH در ممانعت از نفوذ اکسیژن در رطوبت نسبی‌های مختلف بود که دلیل آن را به طبیعت هیدروفیلی فیلم EVOH نسبت دادند. ورود مولکول‌های آب در ماتریکس این پلیمر، برهمکنش پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل زنجیره‌های پلیمر را کاهش می‌دهد و همچنین پیوستگی داخلی را کاهش می‌دهد که این امر باعث افزایش انعطاف پذیری مواد می‌شود و ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی را کاهش می‌دهد. نتایج این محققین نشان داد که همه فیلم‌های فعال حاوی آنتی‌اکسیدان در رطوبت نسبی ۳۵ درصد نسبت به ۹۰ درصد، خاصیت ممانعت‌کنندگی شدیدتری در مقابل اکسیژن داشتند. همچنین میزان نفوذپذیری اکسیژن در رطوبت ۳۵ درصد در همه فیلم‌های فعال تقریباً نزدیک و مشابه بود به استثنای فیلم‌های فعال حاوی اسید اسکوربیک که خاصیت ممانعت‌کنندگی بهتری را نشان داد که می‌تواند به دلیل برهمکنش بین اسید اسکوربیک و بخش‌هایی از پلیمر باشد (۸۷).

فامیلی و همکاران (۱۳۷۸) بر اساس تصاویر میکروسکوپ نوری اظهار کردند که EVOH به صورت آمیزه با سایر پلیمرهای LLD-g-MAH، LLDPE و PVOH به صورت بافت لایه ایی و کشیده، توان بالایی در ممانعت از نفوذ اکسیژن یا کاهش سرعت عبور اکسیژن خواهد داشت که برای رسیدن به این بافت لایه ایی از فاز پراکنده EVOH، مقدار بهینه سازگار کننده و دور اکسترودر بسیار حائز اهمیت است.

<sup>30</sup> Carvacrol

آمیزه‌های حاوی EVOH می‌توانند جایگزین فیلم‌های پنج لایه شوند. این لایه‌های EVOH همانند سدهای پیچ در پیچ در برابر مولکول‌های نفوذی اکسیژن عمل کرده و مسیر و زمان عبور این مولکول‌ها را از فیلم طولانی می‌کنند. در نتیجه خواص سد نفوذی فیلم آمیزه بهتر می‌شود (۱۴۳).

#### ۴-۷- بررسی نفوذ پذیری به بخار آب

میزان نفوذ پذیری فیلم‌های مورد مطالعه در این آزمون در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که انتظار می‌رود میزان نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های بر پایه LDPE پایین است. افزودن سدیم آسکوربات به فیلم در مقایسه با فیلم فاقد آنتی‌اکسیدان نفوذ پذیری بالاتری به بخار آب داشت.

انتقال بخار آب به دو فاکتور حلالیت و نفوذپذیری مولکول‌های آب در ماتریکس فیلم بستگی دارد. پلاستی‌سایز بودن آب دمای گذار شیشه‌ای پلیمرها را کاهش خواهد داد. در رطوبت نسبی بالا، آب به عنوان یک پلاستی‌سایزر عمل کرده و حجم آزاد پلیمر را افزایش خواهد داد؛ بنابراین سبب افزایش نفوذپذیری به بخار آب می‌شود.

انتقال بخار آب از فیلم‌های نانوکامپوزیتی بر پایه کربوکسی متیل سلولز-پلی وینیل الکل توسط ابوالقاسمی و همکاران بررسی گردید. میزان نفوذپذیری فیلم‌ها در حدود  $10-100 \text{ g/msPa}$  بدست آمد (۱۳۹).

بیان و همکاران (۲۰۱۰) میزان نفوذپذیری به بخار آب را در فیلم پلی‌لاکتیک اسید حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدان بررسی نمود. نتایج نشان داد که فیلم پلی‌لاکتیک اسید حاوی BHT و پلی‌اتیلن گلیکول نفوذپذیری بالاتری در مقایسه با فیلم پلی‌لاکتیک اسید فاقد آنتی‌اکسیدان داشت. این محققان دلیل این امر را حجم آزاد بالای فیلم حاوی آنتی-اکسیدان به واسطه اثر پلاستی‌سایزی ترکیبی از پلی‌اتیلن گلیکول و آب عنوان نمودند (۲۷).

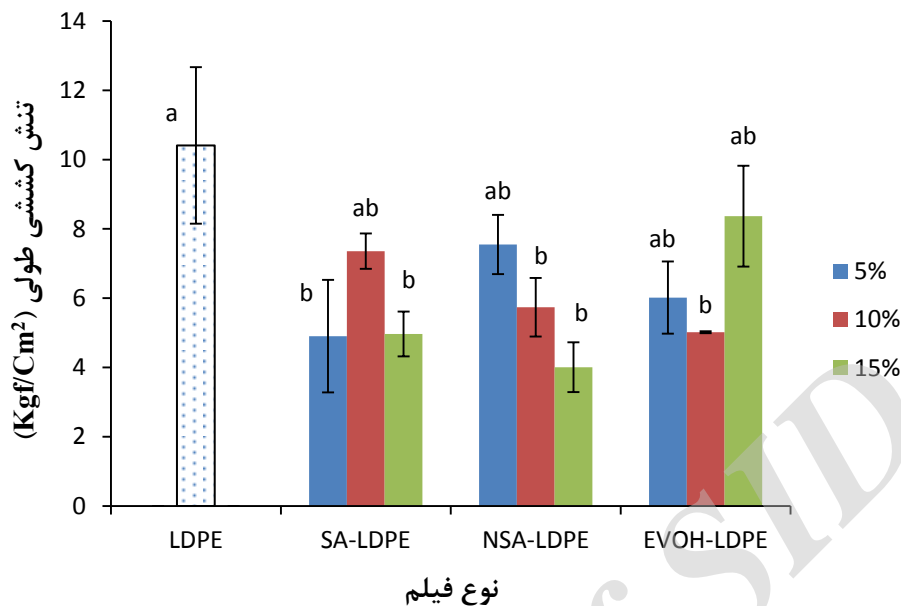
جدول ۳- میزان نفوذ پذیری به بخار آب (بر حسب  $\text{gmm/m}^2\text{SKpa}$ )

میزان نفوذ پذیری به بخار آب	نوع فیلم	
$1/9613 \times 10^{-5}$	-	LDPE
$3/2252 \times 10^{-5}$	۵ درصد	SA-LDPE
$2/0505 \times 10^{-5}$	۱۰ درصد	
$2/4517 \times 10^{-5}$	۱۵ درصد	
$2/0049 \times 10^{-5}$	۵ درصد	NSA-LDPE
$1/4720 \times 10^{-5}$	۱۰ درصد	
$2/1575 \times 10^{-5}$	۱۵ درصد	
$1/7385 \times 10^{-5}$	۵ درصد	EVOH-LDPE
$2/2476 \times 10^{-5}$	۱۰ درصد	
$1/8722 \times 10^{-5}$	۱۵ درصد	
$7/2340 \times 10^{-5}$	۱۵ میکرومتر	LDPE با ضخامت متفاوت
$3/4862 \times 10^{-5}$	۳۰ میکرومتر	
$1/2838 \times 10^{-4}$	۴۵ میکرومتر	
$1/9192 \times 10^{-5}$	دو لایه	LDPE با تعداد لایه متفاوت
$2/1173 \times 10^{-5}$	سه لایه	
$3/1427 \times 10^{-5}$	چهار لایه	

#### ۴-۸- بررسی ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها

علاوه بر کارآمدی فیلم‌های فعال گیرنده اکسیژن در حفاظت مواد غذایی در مقابل تخریب اکسایشی، گسترش فیلم‌هایی با ویژگی‌های مکانیکی مطلوب نیز حائز اهمیت می‌باشند. فیلم‌های فعال تولید شده در این پژوهش از ویژگی‌های مکانیکی نسبتاً خوبی برخوردار بودند (شکل ۶۰ و ۶۱).

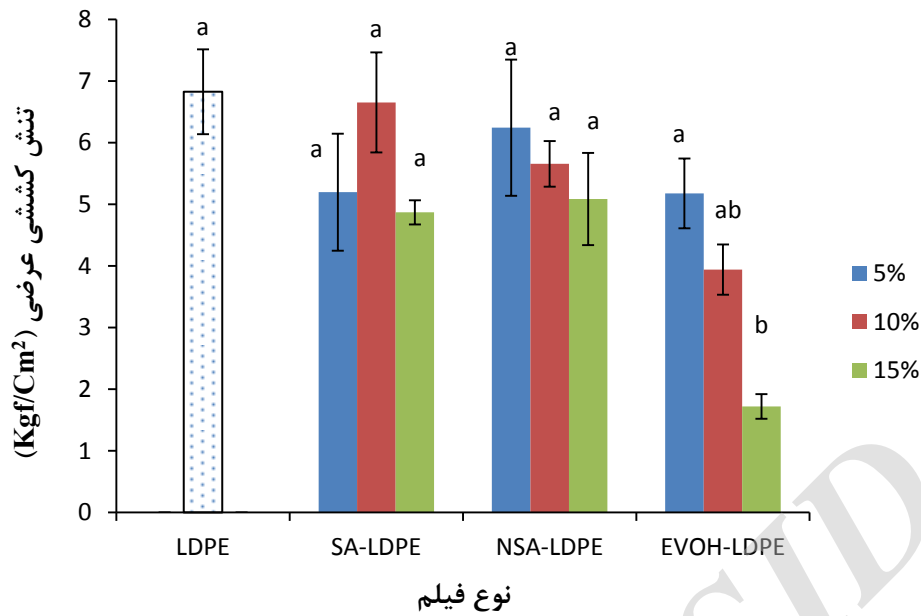
افزودن نمک اسکوربات سدیم به ماتریکس پلیمر LDPE به هر دو شکل نانو و میکرو با کاهش معنی دار تنش کششی در جهت طولی در تمامی غلظت‌ها (به استثنای غلظت ۱۰ درصد در SA-LDPE و غلظت ۵ درصد در NSA-LDPE) همراه بود ( $P < 0/05$ ) در حالی که اختلاف معنی داری بین فیلم‌های فعال حاوی نمک اسکوربات و نمونه شاهد (LDPE خالص) از لحاظ تنش کششی در جهت عرضی مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). افزایش غلظت اسکوربات سدیم با وجود این که در تنش کششی عرضی و طولی فیلم‌های SA-LDPE و NSA-LDPE تغییر ایجاد کرد اما این تغییر از لحاظ آماری معنی دار نبود ( $P > 0/05$ ) و از روند خاصی تبعیت نمی‌کرد. کمترین میزان تنش کششی در جهت طولی به فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۵ درصد اسکوربات مربوط بود که ۱۹/۳۲ درصد نسبت به شاهد کمتر بود. این نتیجه با نتایج جانجارسکول و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی داشت. آنها مشاهده کردند که افزایش غلظت اسید اسکوربیک آمیخته شده در فیلم‌های بر پایه پروتئین آب پنیر به کاهش معنی دار تنش کششی فیلم‌ها منتهی شد (۶۸).



شکل ۶۰- میزان تنش کششی طولی در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و EVOH. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

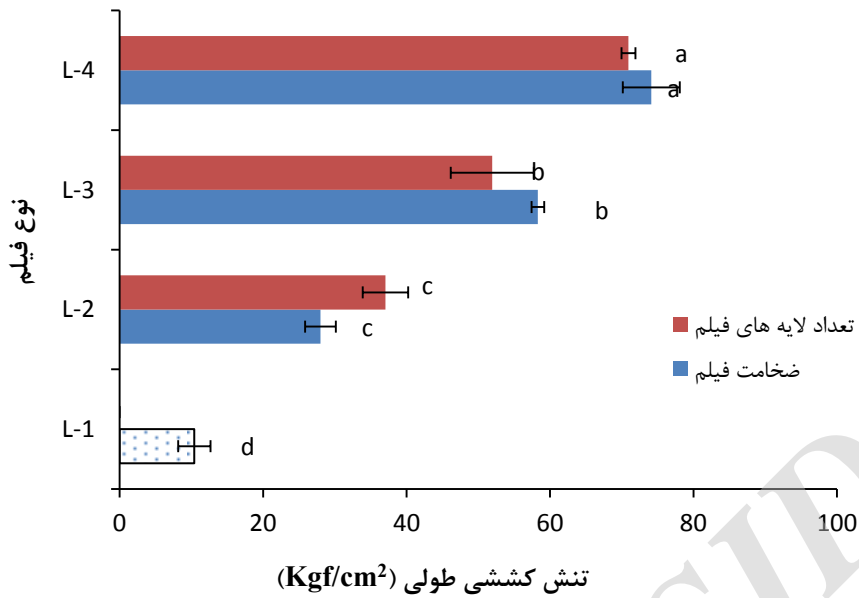
اسید اسکوربیک ترکیب حلقوی پنج ضلعی و شامل گروه‌های هیدروکسیل چندگانه است و ممکن است این ترکیب کربوهیدرات مانند به عنوان ترکیب پلاستیکی کننده عمل کند و باعث از هم گسیختن پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره‌های پلیمر مجاور شود. کاهش نیروهای جاذبه بین زنجیره پلیمر به افزایش حجم آزاد یا حرکت مولکولی در امتداد زنجیره پلیمر منجر می‌شود. این امر با کاهش شکنندگی و افزایش انعطاف پذیری فیلم و در نتیجه کاهش مقاومت به کشش فیلم همراه خواهد بود (۶۸).

بررسی ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های EVOH-LDPE نیز حاکی از تنش کششی پایین تر این فیلم‌ها در هر دو جهت طولی و عرضی بود، گرچه این اختلاف فقط در نسبت ۱۰ درصد و ۱۵ درصد به ترتیب در جهت طولی و عرضی معنی دار بود ( $P < 0.05$ ) که کمترین تنش کششی نیز در نسبت‌های مذکور مشاهده شد. به هر حال افزایش نسبت EVOH در ماتریکس LDPE اثر معنی داری در تنش کششی این فیلم‌ها در هر دو جهت نداشت ( $P > 0.05$ ).

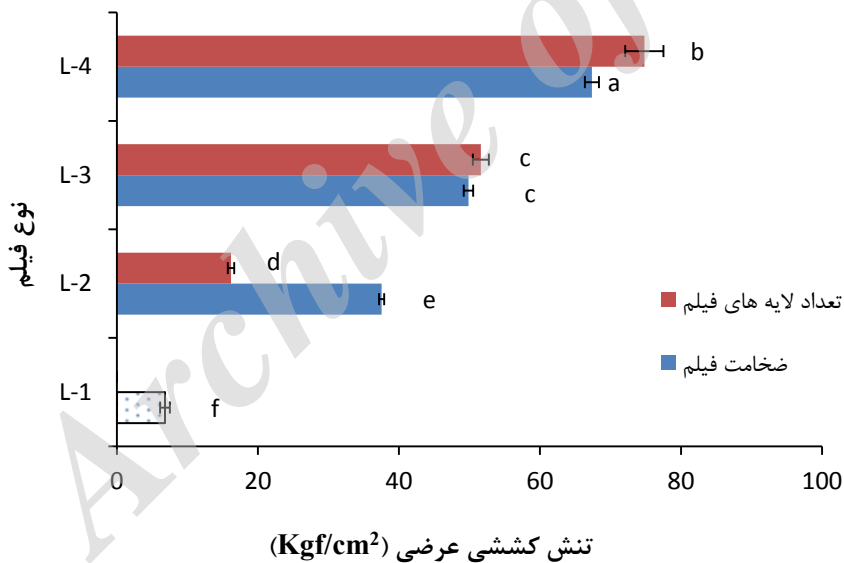


شکل ۶۱- میزان تنش کششی عرضی در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و EVOH. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

افزایش ضخامت یا تعداد لایه‌های فیلم LDPE (شکل ۶۲ و ۶۳) به افزایش قابل توجه و معنی دار تنش کششی در جهت طولی و عرضی منتهی شد ( $P < 0.05$ ) طوری که افزایش ضخامت فیلم LDPE از ۷/۵ میکرومتر به ۴۵ میکرومتر با ۶۳/۷۱ و ۶۰/۵۴ واحد افزایش به ترتیب در تنش کششی در جهت طولی و عرضی همراه بود. این نتیجه در مورد افزایش تعداد لایه‌ها از تک لایه به چهار لایه نیز همراه بود.



شکل ۶۲- میزان تنش کششی طولی در فیلم‌های LDPE با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

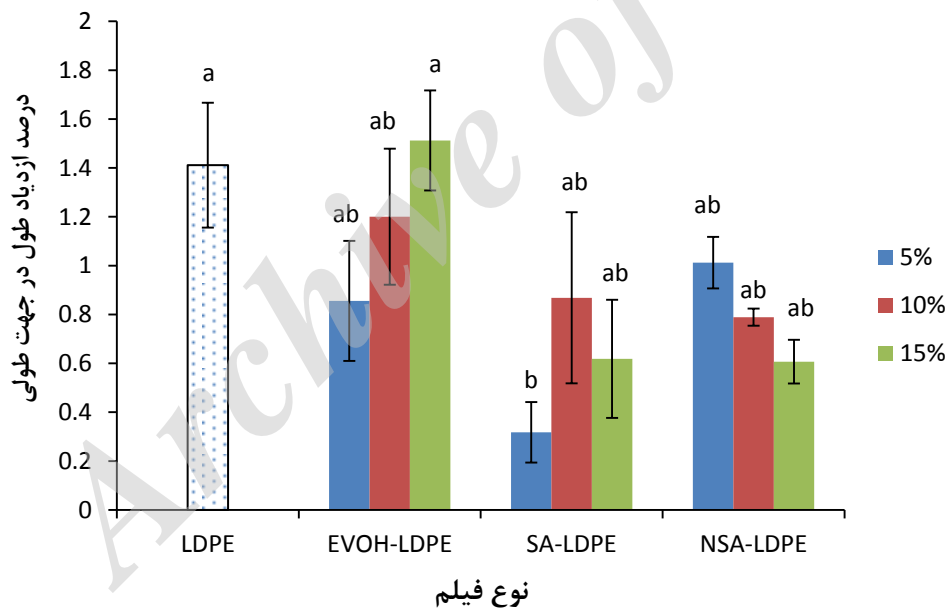


شکل ۶۳- میزان تنش کششی عرضی در فیلم‌های LDPE با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

شین و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که در فیلم‌های سه لایه (LLDPE, LLDPE:OS, LLDPE) حاوی گیرنده تجارتي اکسیژن (OS) با ضخامت کلی ۱۳۵ میکرومتر، مقاومت به کشش در جهت طولی و عرضی نسبت به LLDPE خالص کاهش یافت که علت آن حضور مواد آلی (به عنوان گیرنده اکسیژن) در فیلم نسبت دادند. ذرات آلی

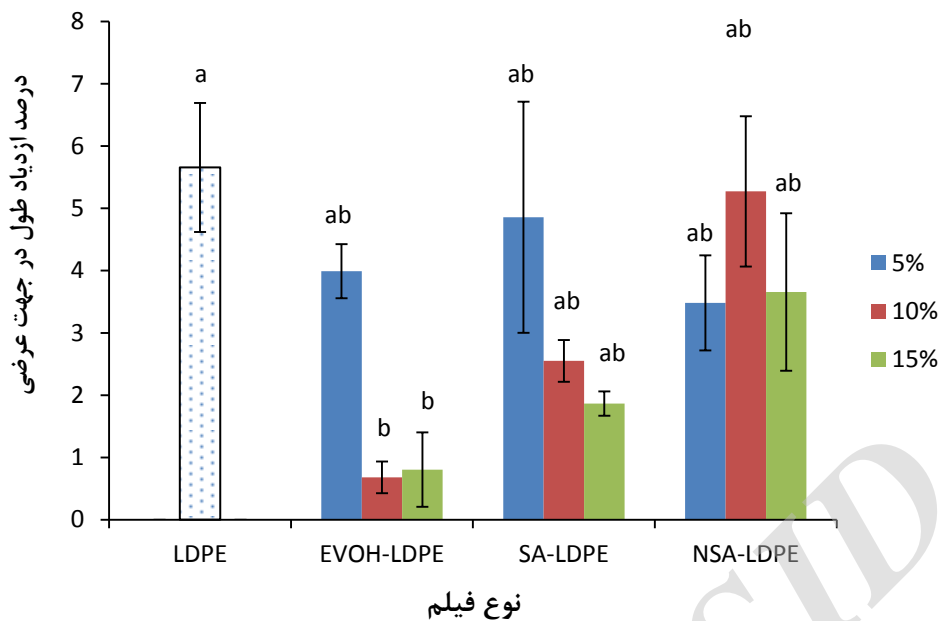
افزوده شده به ماتریکس پلیمر پایه ممکن است در حین فرایند و تولید فیلم و اکستروژن آگومره شوند. آگومرها نقاط وضعیفی هستند که براحتی شکسته می‌شوند و مقاومت به کشش فیلم‌ها را کاهش می‌دهند (۱۱۲).

نتایج بررسی درصد ازدیاد طول در هر دو جهت در فیلم‌های SA-LDPE و NSA-LDPE (شکل ۶۴ و ۶۵) بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین آنها و نمونه شاهد (به استثنای غلظت ۵ درصد فیلم SA-LDPE) بود ( $P > 0.05$ ). گرچه از لحاظ عددی درصد ازدیاد طول فیلم‌های فعال نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. همچنین افزایش غلظت نمک آسکوربات از ۵ به ۱۰ درصد با تغییر شاخص و معنی داری در درصد ازدیاد طول در هر دو جهت عرضی و طولی در فیلم‌های LDPE فعال همراه نبود ( $P > 0.05$ ). نتایج راموس و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیانگر تغییر جزئی در ویژگی‌های کششی فیلم‌های پلی‌پروپیلن فعال حاوی کارواکرول و تیمول در مقایسه با PP خالص بود (۱۰۹). در حالی که در مطالعه دیگری گزارش شده است که افزایش غلظت اسید آسکوربیک در ماتریکس فیلم‌های بر پایه پروتئین آب پنیر با افزایش قابل توجه درصد ازدیاد طول همراه بوده است (۶۸).



شکل ۶۴- درصد ازدیاد طول در جهت طولی در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و EVOH. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).



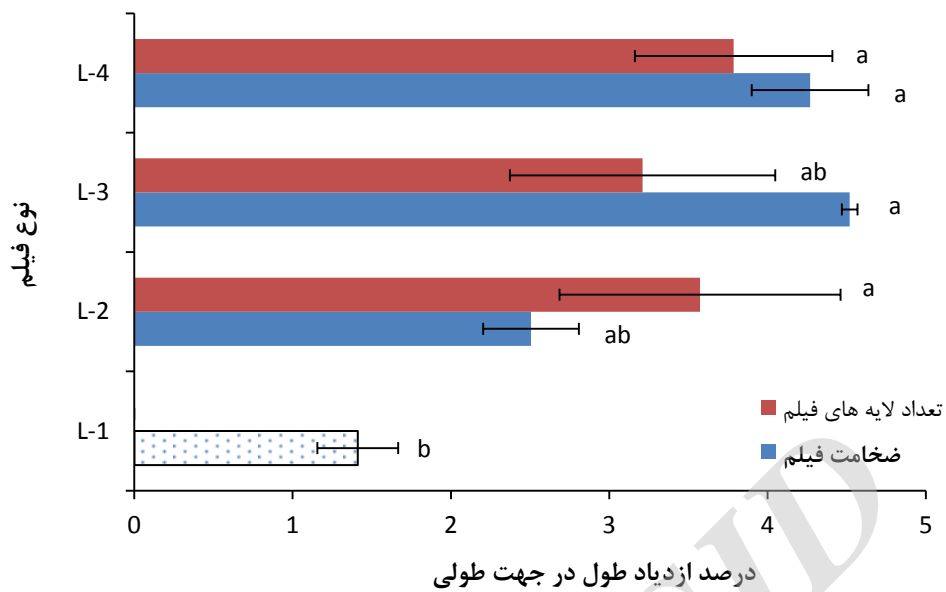


شکل ۶۵- درصد ازدیاد طول در جهت عرضی در فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف آسکوربات سدیم و EVOH. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

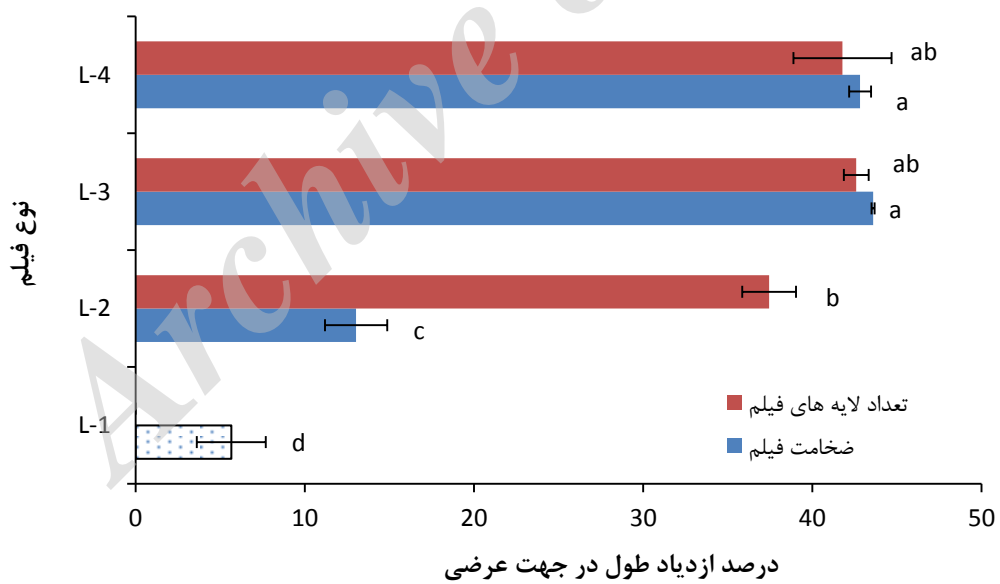
کمترین درصد ازدیاد طول در جهت عرضی به غلظت ۱۵ درصد فیلم SA-LDPE (۶۷ درصد کاهش نسبت به شاهد) و در جهت طولی به غلظت ۵ درصد فیلم NSA-LDPE (۲۸/۲۶ درصد کاهش نسبت به شاهد) مربوط بود.

بررسی نتایج درصد ازدیاد طول در فیلم EVOH-LDPE (شکل ۳-۱۹ و ۳-۲۰) نشانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین درصد ازدیاد طول در جهت طولی این فیلم‌ها در تمامی نسبت‌های اختلاط با نمونه شاهد بود ( $P > 0.05$ ). در حالی که از لحاظ عددی افزایش نسبت EVOH در ماتریکس پلیمر LDPE با افزایش درصد ازدیاد طول همراه بود. برخلاف نتایج فوق افزایش نسبت EVOH در ماتریکس LDPE از ۵ به ۱۰ و ۱۵ درصد به کاهش قابل توجه و معنی دار درصد ازدیاد طول در جهت عرضی نسبت به فیلم LDPE خالص منجر شد ( $P < 0.05$ ).

اثر افزایش ضخامت یا تعداد لایه‌های فیلم LDPE بر درصد ازدیاد طول در جهت طولی در شکل ۶۶ و در جهت عرضی در شکل ۶۷ آورده شده است. همان طور که پیداست افزایش ضخامت یا تعداد لایه‌ها تاثیر معنی دار و چشمگیری بر افزایش درصد ازدیاد طول در هر دو جهت طولی و عرضی به نمایش گذاشت ( $P < 0.05$ ). فیلم‌های با ضخامت ۳۰ میکرومتر، بیشترین درصد ازدیاد طول در جهت عرضی (۴۳/۵۹ درصد) و طولی (۴/۵۲ درصد) را نسبت به سایر ضخامت‌ها نشان دادند. همچنین فیلم‌های چهار لایه بیشترین درصد ازدیاد طول در جهت طولی را از خود به نمایش گذاشتند.



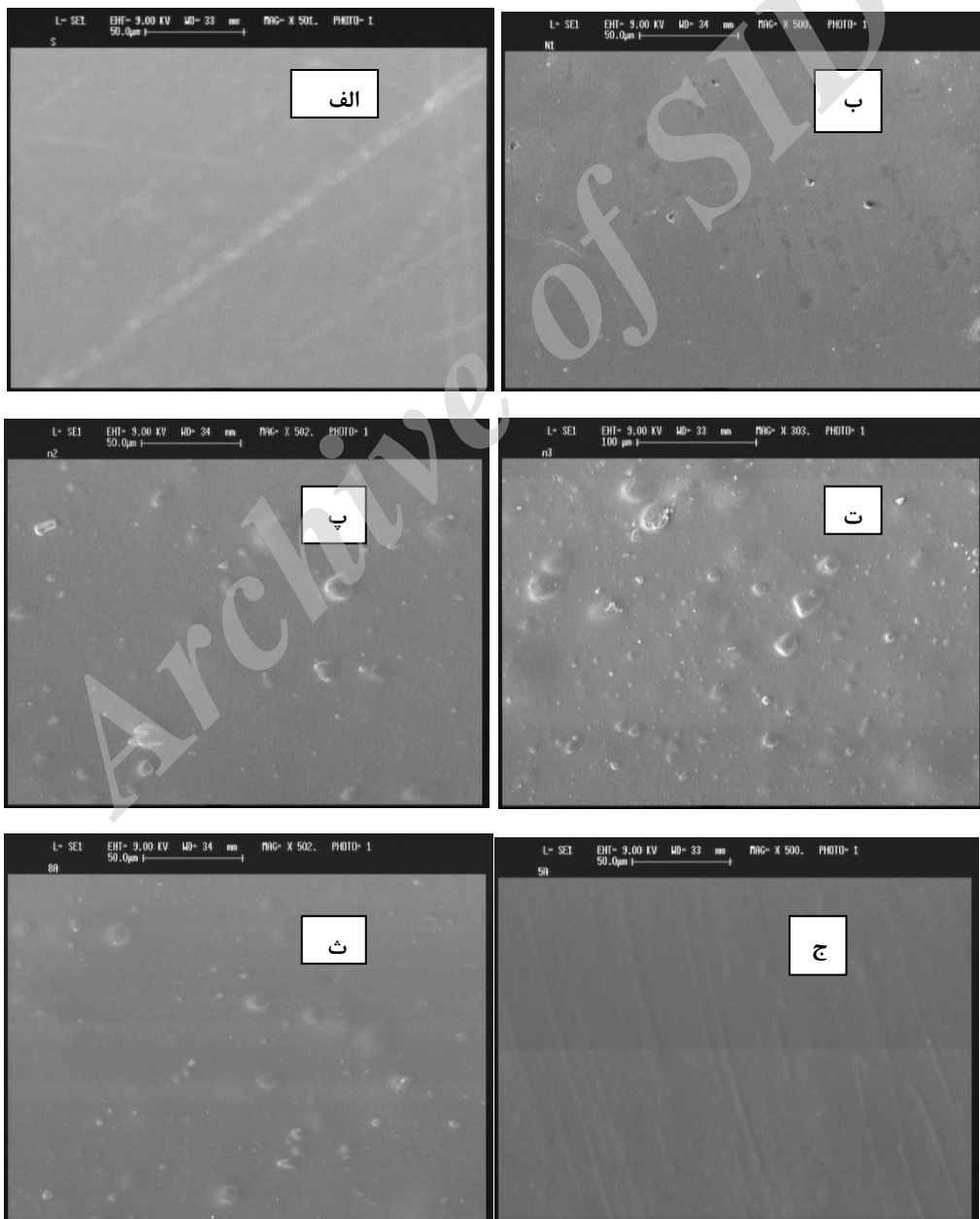
شکل ۶۶- درصد ازدیاد طول در جهت طولی در فیلم‌های LDPE با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).



شکل ۶۷- درصد ازدیاد طول در جهت عرضی در فیلم‌های LDPE با تعداد لایه‌ها و ضخامت‌های مختلف. تیرک‌های رسم شده روی ستون‌ها نشانگر انحراف معیار می‌باشد. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

#### ۹-۴- بررسی نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی

شکل ۶۸ (الف تا ج) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) را برای فیلم‌های LDPE خالص، SA-LDPE، NSA-LDPE و EVOH-LDPE نشان می‌دهد. همان طور که پیداست فیلم LDPE خالص دارای موفولوژی سطحی کاملا یکنواخت و همگن است در حالی که ذرات آسکوربات سدیم افزوده شده به ماتریکس LDPE در تصاویر به دست آمده کاملا مشهود است. به نظر می رسد ذرات آسکوربات سدیم اغلب به فرم کروی و به صورت لکه‌های روشن تر (سفید رنگ) در ماتریکس LDPE توزیع شده اند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که افزایش درصد آسکوربات سدیم منجر به کاهش یکنواختی موفولوژی سطحی و افزایش خلل و فرج شد به طوری که ذرات آسکوربات سدیم در ماتریکس فیلم LDPE طی اکستروژن تجمع یافته و ذراتی با ابعاد بزرگتر را تشکیل دادند.



شکل ۶۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی؛ الف- فیلم LDPE خالص، ب- فیلم NSA-LDPE حاوی ۵ درصد آسکوربات سدیم، پ- فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم، ت- فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۵ درصد آسکوربات سدیم، ث- فیلم SA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم، ج- فیلم EVOH-LDPE حاوی ۱۰ درصد EVOH.

نتایج سایر محققین نیز موید کاهش یکنواختی سطحی و افزایش خلل و فرج در نتیجه وارد کردن یک افزودنی به ماتریکس پلیمر می‌باشد (۳۸، ۵۴، ۱۰۹). بدیهی است تجمع ذرات بر ویژگی‌های گیرندگی اکسیژن فیلم‌ها تاثیرگذار است. همچنین نتایج SEM گویای این مطلب بود که فیلم SA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم نسبت به فیلم‌های NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم از یکنواختی سطحی بیشتری برخوردار بودند در حالی که اندازه ذرات آسکوربات سدیم در آنها بزرگتر و پراکندگی ذرات در ماتریکس کمتر بود. ذرات آسکوربات سدیم با ابعاد ۲/۵۲ میکرومتر تا ۱۱/۷ میکرومتر در فیلم‌های مختلف مشاهده شد.

تصاویر بدست آمده برای فیلم EVOH-LDPE (شکل ۶۸-ج) بیانگر موفولوژی سطحی کاملاً یکنواخت بود. به نظر می‌رسید که وارد کردن EVOH به ماتریکس پلیمر، در آن ایجاد بافت لایه‌ای کشیده و جهت‌دار ایجاد کرد.

#### ۴-۱۰- بررسی نتایج شاخص‌های رنگی فیلم

جدول ۴ شاخص‌های رنگی فیلم‌های SA-LDPE، NSA-LDPE و EVOH-LDPE را در مقایسه با LDPE خالص نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این مطلب است که افزودن آسکوربات سدیم به ماتریکس LDPE در هر دو فیلم SA-LDPE و NSA-LDPE منجر به افزایش روشنی (شاخص L) شد گرچه این افزایش در برخی غلظت‌های آسکوربات سدیم معنی دار بود ( $P < 0.05$ ). این نتیجه با مشاهده بصری در تناقض بود.

بیان و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که با افزودن BHT و توکوفرول به ماتریکس فیلم PLA شفافیت (شاخص روشنی) فیلم‌ها کاهش و Haze افزایش یافت. همان طور که در تصاویر SEM مشاهده شد ذرات آسکوربات سدیم در ماتریکس LDPE به صورت لکه‌های سفید پراکنده شده اند و با افزایش غلظت به صورت تجمع یافته ظاهر شدند. لکه‌های سفید به ویژه در ابعاد بزرگتر منجر به پراکنش نور شده و در نتیجه افزایش شاخص روشنی را به همراه خواهند داشت که می‌تواند دلیل بر افزایش روشنی فیلم‌های فعال حاوی گیرنده اکسیژن در مقایسه با شاهد باشد. فیلم EVOH-LDPE نیز شاخص روشنی بیشتری نسبت به نمونه LDPE خالص نشان داد که البته این تفاوت معنی دار نبود ( $P > 0.05$ ). افزایش درصد EVOH در فیلم‌های EVOH-LDPE با افزایش غیرمعنی دار روشنی همراه بود ( $P > 0.05$ ) (۲۷).

شین و همکاران (۲۰۱۱) در ارزیابی ویژگی‌های نوری فیلم‌های PE حاوی گیرنده تجاری اکسیژن اذعان داشتند که فیلم‌های با پراکندگی و ابعاد بزرگتر گیرنده اکسیژن OS2 به دلیل پراکنش نور، از شفافیت کمتری برخوردار بودند (۱۱۲).

در فیلم‌های SA-LDPE شاخص قرمزی (a) و شاخص زردی (b) نسبت به LDPE خالص به ترتیب کاهش و افزایش نشان داد. شاخص زردی در فیلم‌های NSA-LDPE و EVOH-LDPE نیز نسبت به نمونه شاهد بیشتر بود.

نتایج ارزیابی رنگ همچنین بیانگر این مطلب بود فیلم‌های EVOH-LDPE در همه نسبت‌های EVOH بیشترین اختلاف کلی رنگ ( $\Delta E$ ) را با فیلم LDPE خالص داشتند. البته این اختلاف فقط در نسبت ۵ درصد EVOH معنی دار بود ( $P < 0.05$ ). در حالی که اختلاف کلی رنگ فیلم‌های SA-LDPE و NSA-LDPE با فیلم شاهد تقریباً در یک محدوده مقداری بود. کمترین شاخص روشنی، شاخص زردی، شاخص قرمزی و اختلاف کلی رنگ به ترتیب به فیلم EVOH-LDPE حاوی ۵ درصد EVOH، LDPE خالص، SA-LDPE حاوی ۵ درصد آسکوربات سدیم و NSA-LDPE حاوی ۱۵ درصد آسکوربات سدیم مربوط بود.

جدول ۵ شاخص‌های رنگی فیلم‌های LDPE با ضخامت و تعداد لایه‌های متفاوت را نشان می‌دهد. نتایج به طور کلی بیانگر این مطلب است که با افزایش ضخامت فیلم LDPE از ۷/۵ میکرومتر به ۴۵ میکرومتر، شاخص روشنی به طور معنی دار افزایش یافت ( $P < 0.05$ ). این نتیجه در مورد افزایش تعداد لایه‌ها نیز صادق بود با این تفاوت که تنها اختلاف معنی دار مشاهده شده از لحاظ شاخص روشنی بین فیلم‌های چهار لایه با سایر فیلم‌های چند لایه و تک لایه بود ( $P < 0.05$ ).

بین فیلم‌های LDPE با ضخامت و تعداد لایه‌های متفاوت از لحاظ شاخص قرمزی (a) اختلاف معنی داری (به استثنای فیلم LDPE با ضخامت ۴۵ میکرومتر) مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). نتایج همچنین بیانگر این مطلب بود که با افزایش تعداد لایه‌ها و ضخامت فیلم LDPE شاخص زردی (b) به طور معنی داری نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). کمترین شاخص قرمزی و زردی مربوط به فیلم LDPE با ضخامت ۴۵ میکرومتر بود.

با افزایش ضخامت فیلم LDPE اختلاف کلی رنگ ( $\Delta E$ ) فیلم‌ها با فیلم LDPE با ضخامت ۷/۵ میکرومتر به طور معنی دار کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). این نتیجه در مورد افزایش تعداد لایه‌ها نیز صادق بود. بیشترین و کمترین اختلاف کلی رنگ با فیلم LDPE شاهد به ترتیب به فیلم LDPE با ضخامت ۱۵ میکرومتر و فیلم LDPE ۴ لایه مربوط بود.

گالدی و اینکارناتو (۲۰۱۱) قابلیت فیلم‌های PET فعال حاوی گیرنده تجاری اکسیژن به نام Amosorb (AMS) را جهت جلوگیری از اکسایش بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد موزهای بسته‌بندی شده در فیلم‌های حاوی ۱۰ درصد AMS بهترین رنگ را داشتند. آنها گزارش کردند که افزایش غلظت AMS از ۱۰ به ۲۰ درصد نه تنها نقش



مثبتی در نگهداری موزها نداشت بلکه رنگ تیره تری نسبت به نمونه شاهد نیز داشت که علت آن را در جذب سریع اکسیژن در این فیلم دانستند که با اشباعیت و غیرفعال شدن سریعتر آن همراه خواهد بود (۵۴).

جدول ۴- شاخص‌های نوری\* فیلم‌های LDPE خالص، SA-LDPE، NSA-LDPE و EVOH-LDPE.

ΔE	b	a	L	غلظت	نوع فیلم
-	-۲/۱۷±۰/۵b	۰/۰۳±۰/۰۱a	c۱۶/۵۳±۴/۱	-	LDPE
۴۱/۱۲±۲/۲bc	-۱/۶۱±۰/۱ab	-۰/۰۹±۰/۰۵b	ab۲۵/۶۱±۲/۲	۵	SA-LDPE
۴۲/۷۰±۲/۵bc	-۱/۵۱±۰/۱ab	-۰/۰۵±۰/۱۹ab	abc۲۴/۰۳±۲/۶	۱۰	
۴۳/۳۵±۰/۷abc	-۱/۹۲±۰/۲ab	-۰/۱۰±۰/۳b	abc۲۳/۳۰±۰/۷	۱۵	
۴۲/۰۷±۳/۱bc	-۱/۸۰±۰/۴ab	-۰/۰۱±۰/۰۳ab	۲۴/۶۲±۳/۲abc	۵	NSA-LDPE
۴۲/۶۰±۱/۸bc	-۲/۱۴±۰/۰b	-۰/۰۱±۰/۰۳ab	۲۴/۰۱±۱/۸abc	۱۰	
۳۷/۳۱±۱/۴c	-۱/۷۸±۰/۳ab	-۰/۰۳±۰/۰۲ab	۲۹/۴۵±۱/۵a	۱۵	
۵۰/۴۸±۱/۹a	-۱/۵۷±۰/۲ab	-۰/۰۴±۰/۰۲ab	۱۶/۱۴±۱/۹c	۵	EVOH-LDPE
۴۶/۰۶±۳/۸ab	-۱/۱۴±۰/۳a	-۰/۰۳±۰/۰۱ab	۲۰/۶۹±۳/۹bc	۱۰	
۴۵/۷۷±۲/۷ab	-۱/۱۶±۰/۴a	-۰/۰۲±۰/۰ab	۲۰/۹۷±۲/۸abc	۱۵	

\* میانگین ± انحراف معیار

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

جدول ۵- شاخص‌های نوری\* فیلم‌های LDPE با ضخامت‌ها . تعداد لایه‌های مختلف

ΔE	b	a	L	نوع فیلم
-	-۲/۱۷±۰/۵a	۰/۰۳±۰/۰۱a	c۱۶/۵۳±۴/۱	۷/۵ میکرومتر
۴۸/۲۴±۰/۵a	-۳/۳۵±۰/۳ab	-۰/۰۱±۰/۰a	bc۱۸/۱۸±۰/۵	۱۵ میکرومتر
۴۱/۳±۲/۷cd	-۳/۴۶±۰/۷ab	-۰/۱۰±۰/۰۴ab	ab۲۵/۱۶±۲/۸	۳۰ میکرومتر
۴۰/۴۳±۰/۸cd	-۵/۸۱±۰/۴c	-۰/۱۹±۰/۰۳b	a۲۵/۷۹±۰/۸	۴۵ میکرومتر
-	-۲/۱۷±۰/۵a	۰/۰۳±۰/۰۱a	c۱۶/۵۳±۴/۱	تک لایه
۴۶/۰۷±۱/۰ab	-۳/۵۱±۰/۲b	۰/۰۲±۰/۰a	abc۲۰/۳۴±۱/۱	دو لایه
۴۳/۶۵±۰/۸bc	-۴/۲۲±۰/۱b	-۰/۰۳±۰/۰a	abc۲۲/۶۹±۰/۸	سه لایه
۳۹/۶۱±۰/۹d	-۴/۵۳±۰/۵bc	-۰/۰۵±۰/۰a	a۲۶/۷۳±۱/۰	چهار لایه

\* میانگین ± انحراف معیار

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

#### ۴-۱۰- بررسی طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوری

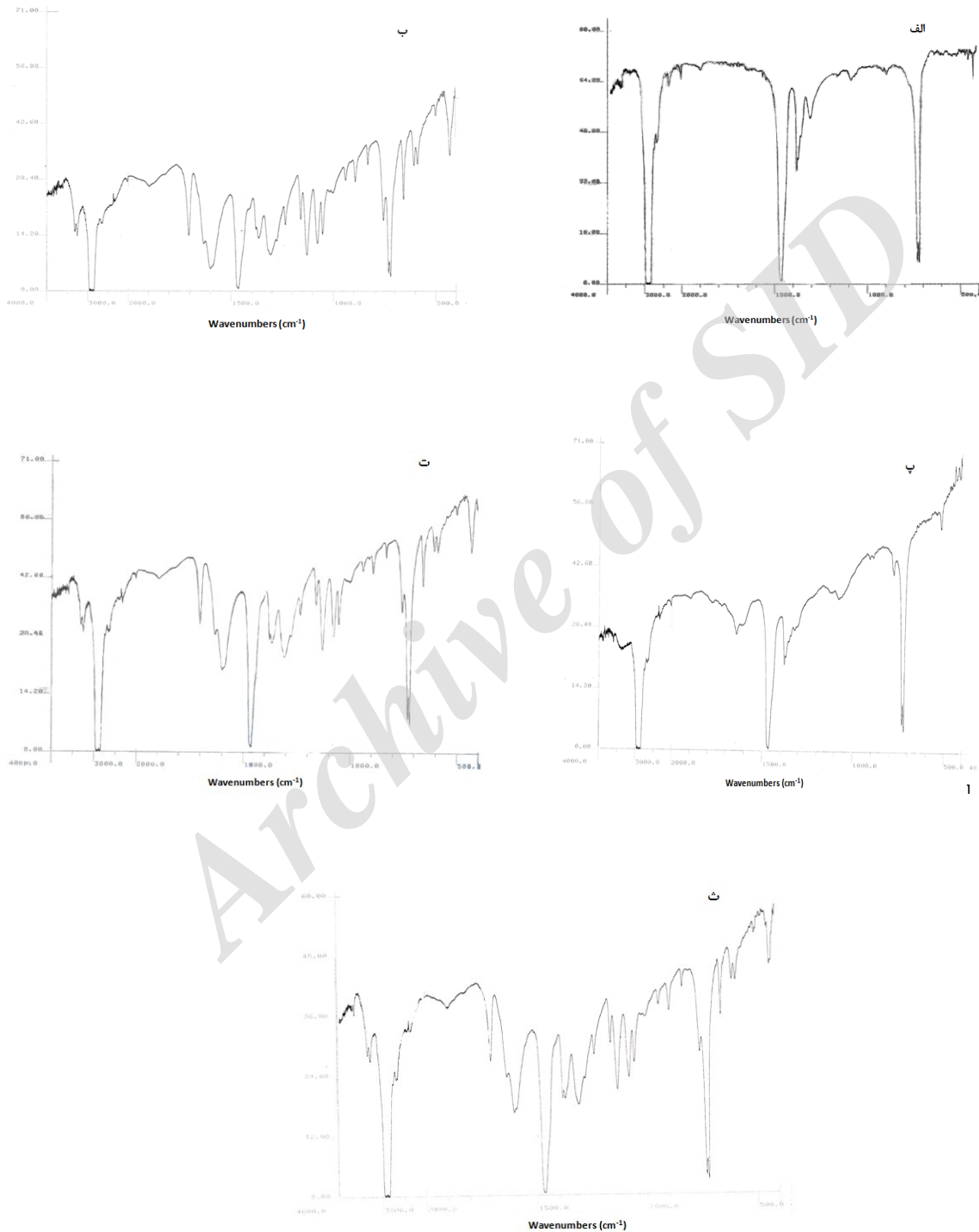
جهت بررسی رهایش آسکوربات سدیم از ماتریکس پلیمر به داخل محلول‌های مدل، برخی از فیلم‌های فعال حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم در روزهای اول و سیزدهم از محلول‌های مدل خارج شده و پس از خشک شدن در مجاورت هوای آزاد در محدوده عدد موجی ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی‌متر تحت آزمون FTIR. قرار گرفتند. طیف‌های مربوطه در شکل ۳-۲۴ آورده شده‌اند. همان‌طور که از شکل ۳-۲۴-الف پیداست ۶ ناحیه پیک جذبی مشخص در اعداد موجی ۷۳۰/۷۲۰ (دو تایی)، ۱۳۸۰، ۱۴۶۲، ۲۸۲۹ و ۲۹۶۰ بر سانتی‌متر در فیلم LDPE خالص مشاهده می‌شود که این پیک‌ها به ترتیب می‌تواند به گروه C-H با جنبش ارتعاشی نوسانی، گروه C-H با ارتعاش خمشی، گروه C-H با ارتعاش کششی، گروه C-H با ارتعاش کششی متقارن و گروه C-H با ارتعاش کششی نامتقارن در مولکول LDPE مربوط باشد که به نتایج کوئی و همکاران (۲۰۱۱) نزدیک است. این محققین ۶ پیک جذبی را در اعداد موجی ۷۱۹/۷۲۹ (دو تایی)، ۱۴۶۲/۱۴۷۳ (دو تایی)، ۲۸۴۹ و ۲۹۱۹ بر سانتیمتر مشاهده کردند (۳۸).

طیف به دست آمده برای فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم خارج شده از مدل غذایی آبی در روز اول و سیزدهم به ترتیب در شکل ۶۹-ب و ۶۹-پ آورده شده است. همان‌طور که از شکل بر می‌آید طیف فیلم NSA-LDPE در روز اول و سیزدهم با یکدیگر کاملاً متفاوت است. طیف مربوط به روز اول حاکی از وجود دو پیک جذبی در محدوده ۱۵۸۰ تا ۱۶۳۵ بر سانتیمتر و ۱۷۰۵ بر سانتیمتر است در حالی که این پیک‌ها در طیف فیلم LDPE خالص مشاهده نمی‌شود. سمیعانی و حسینی (۱۳۸۶) در مقاله خود بیان کردند که گروه عاملی C=C داخل حلقه معمولاً دو پیک در محدوده ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ بر سانتیمتر را به نمایش می‌گذارد و گروه عاملی C=O در محدوده ۱۷۰۵ تا ۱۷۲۰ دیده می‌شود. همچنین گزارش شده است که پیک جذبی گروه عاملی کربوکسیل O=C=O در محدوده عدد موجی ۱۵۳۰ تا ۱۷۱۰ بر سانتیمتر بروز می‌کند (۱۴۱).

با توجه به ساختمان شیمیایی مولکول آسکوربات سدیم (شکل ۷۰) می‌توان گفت که دو پیک جذبی مشاهده شده در طیف FTIR روز اول فیلم NSA-LDPE در محدوده ۱۶۳۵-۱۵۸۰ بر سانتی‌متر و ۱۷۰۵ بر سانتی‌متر به ترتیب به گروه عاملی C=C در داخل حلقه و گروه کتونی C=O موجود در ساختمان آسکوربات سدیم مربوط می‌باشد که مؤید حضور آسکوربات سدیم در ماتریکس پلیمر می‌باشد. پیک‌های جذبی مربوط به محدوده‌های مذکور در روز سیزدهم (شکل ۶۹-پ) نیز دیده می‌شود اما شدت جذب یا به عبارتی غلظت این پیک‌ها به طور قابل توجهی کاهش یافته است که رهایش و مهاجرت آسکوربات سدیم از ماتریکس پلیمر به داخل محلول مدل را تأیید می‌کند.

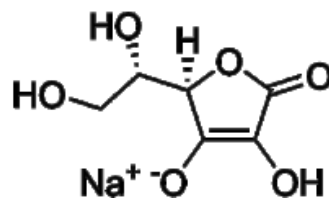
مقایسه طیف روز سیزدهم فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم در مدل غذایی اتانولی و آبی (شکل ۶۹-پ و ت) نشانگر وجود تفاوت مشخصی بین آنها بود. پیک‌های جذبی فیلم خارج شده از مدل غذایی ۱ در روز پنجم نزدیک به طیف روز اول این فیلم در مدل آبی بود. این نتیجه بیانگر حضور مقدار بیشتری آسکوربات سدیم در

ماتریکس فیلم پس از گذشت سیزده روز از غوطه وری آن در مدل اتانولی بود؛ به عبارت دیگر بر اساس این نتایج می توان گفت شدت مهاجرت آسکوربات سدیم در مدل غذایی ۱ بسیار کندتر بوده است.



شکل ۶۹- طیف FTIR الف- فیلم LDPE خالص، ب- فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم در مدل ۲ روز اول، پ- فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم در مدل آبزی روز سیزدهم، ت- فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم در مدل اتانولی روز اول، ث- فیلم SA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم در مدل آبزی روز اول





شکل ۷۰- ساختمان شیمیایی آسکوربات سدیم

شکل ۶۹-ت طیف FTIR روز اول فیلم SA-LDPE مربوط به مدل غذایی آبی را نشان می‌دهد. پیک‌های جذبی مشاهده شده در این فیلم مشابه با طیف روز اول فیلم NSA-LDPE در مدل غذایی آبی است اما شدت جذب کمتر می‌باشد. این نتیجه می‌تواند تایید کننده اثر اندازه ذرات افزودنی موجود در ماتریکس پلیمر بر میزان مهاجرت و رهایش آن باشد.

به طور کلی نتایج FTIR مؤید این مطلب بود که به دلیل ماهیت قطبی آسکوربات سدیم، مهاجرت آن به محیط آبی طی زمان با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد و اندازه ذرات کوچکتر امکان رهایش و مهاجرت را بیشتر خواهد کرد.

#### ۴-۱۱- بررسی پایداری حرارتی فیلم‌ها

شکل ۷۱ نمودار TGA فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم را در مقایسه با LDPE خالص نشان می‌دهد. همان طور که از شکل پیداست افزودن آسکوربات سدیم به ماتریکس پلیمر منجر به تخریب سریع‌تر آن شد. به طور کلی نتایج حاکی از وجود دو مرحله تخریب قبل از مرحله اصلی تخریب پلیمر در فیلم‌های فعال حاوی آسکوربات سدیم بود. بر اساس ترموگرام‌های TGA اولین مرحله تخریب در فیلم‌های حاوی آسکوربات سدیم از حدود ۲۳۲ تا ۲۳۵ درجه سانتیگراد آغاز شد (جدول ۶) در حالی که در فیلم LDPE خالص اولین تخریب در دمای ۲۲۸ درجه سانتیگراد رخ داد که به دمای تخریب اول در فیلم‌های فعال نزدیک است. از این رو، احتمال می‌رود این تخریب به افزودنی در خود پلیمر مربوط باشد. مرحله دوم تخریب در فیلم‌های فعال در دمای ۲۵۱ تا ۲۵۷ درجه سانتیگراد رخ داد که بسیار گسترده‌تر بود. از آنجایی که مرحله دوم تخریب در فیلم LDPE خالص مشاهده نمی‌شود، می‌توان گفت که تخریب رخ داده در این محدوده به تجزیه آسکوربات سدیم مربوط می‌باشد. لویز و همکاران (۲۰۱۲) نیز دمای تخریب آسکوربات سدیم خالص حدود ۲۴۹/۲ درجه سانتیگراد گزارش کردند. تخریب اصلی مربوط به پلیمر LDPE از دمای حدود ۳۵۷ درجه سانتیگراد شروع شد (۸۷).

جدول ۶- پارامترهای TGA به دست آمده برای فیلم‌های فعال مورد مطالعه

مرحله دوم تخریب		مرحله اول تخریب		فیلم فعال
درصد افت وزنی (درصد بر درجه سانتیگراد)	دما (درجه سانتیگراد)	افت وزنی (درصد بر درجه سانتیگراد)	دما (درجه سانتیگراد)	
۳/۲	۲۵۱	۲/۶	۲۳۴	NSA-LDPE حاوی ۵ درصد آسکوریات سدیم
۱/۴	۲۵۷	۱/۲	۲۳۳	NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوریات سدیم
۳/۸	۲۵۳	۱/۸	۲۳۲	NSA-LDPE حاوی ۱۵ درصد آسکوریات سدیم
۱/۴	۲۵۲	۰/۷	۲۳۵	SA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوریات سدیم

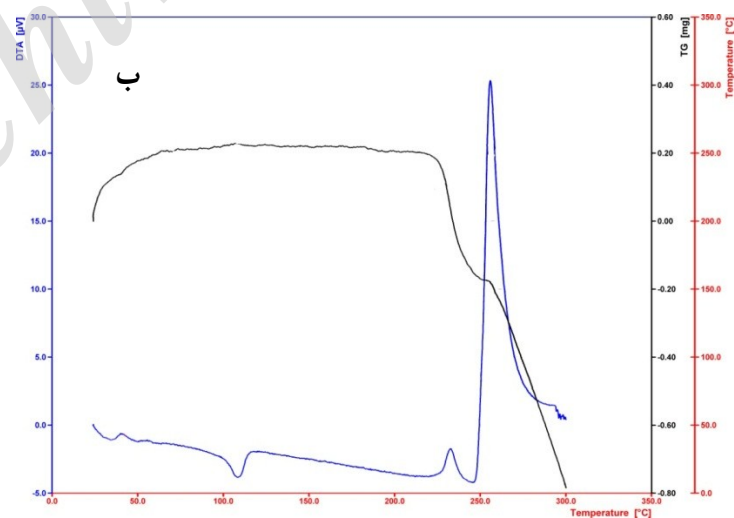
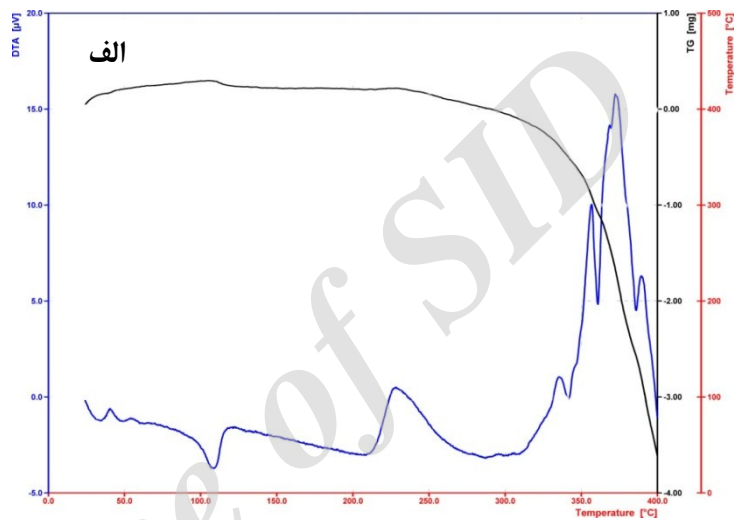
بررسی ترموگرام فیلم‌های حاوی اسید اسکوربیک بر پایه پلیمر EVOH، نشانگر پیک‌های تخریبی در دماهای ۱۱۶/۵، ۲۲۷/۴، ۳۳۵/۶، ۳۸۸/۱ و ۴۵۱ درجه سانتیگراد بود که به ترتیب با ۳/۴، ۱، ۷۳/۷، ۸/۴ و ۳/۸ درصد افت وزنی همراه بود. ناحیه ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد به تخریب حرارتی پلیمر مربوط بود. آنالیز مستقل TGA اسید اسکوربیک، پیک تخریبی در دمای ۲۴۹ درجه سانتیگراد را نشان داد. همچنین دمای گذار شیشه‌ای<sup>۳۱</sup> اسید اسکوربیک ۴۳/۸ درجه سانتیگراد گزارش شد. فیلم EVOH فعال حاوی اسید اسکوربیک نسبت به فیلم EVOH خالص سریعتر تخریب شد (دمای ۳۳۵/۶ درجه سانتیگراد در مقابل ۴۱۴ درجه سانتیگراد) که علت آن به تخریب حرارتی اسید اسکوربیک نسبت داده شده (۸۷).

بررسی نتایج TGA اختلاف معنی داری را بین ترموگرام‌های فیلم‌های فعال NSA-LDPE حاوی غلظت‌های مختلف آسکوریات سدیم نشان نداد. همچنین دمای تخریب اول و دوم در فیلم NSA-LDPE و SA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوریات سدیم به یکدیگر نزدیک بود. با وجود نزدیک بودن دمای تخریب در فیلم‌های فعال، افت وزنی آنها در دماهای مذکور با یکدیگر متفاوت بود که می‌تواند به عدم یکنواختی توزیع آسکوریات سدیم در ماتریکس پلیمر باشد. کمترین افت وزنی مشاهده شده در مرحله دوم تخریب به فیلم‌های NSA-LDPE و SA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوریات سدیم مربوط بود.

در بررسی ترموگرام‌های فیلم‌های فعال پلی‌پروپیلن حاوی ترکیب کارواکرول، راموس و همکاران (۲۰۱۲) دو مرحله تخریب را مشاهده کردند که مرحله اول تخریب که جزئی بوده و در دمای ۱۱۵ درجه سانتیگراد رخ داد را به تخریب کارواکرول و مرحله دوم تخریب را به تجزیه حرارتی ماتریکس پلیمر نسبت دادند. این محققین گزارش کردند که با توجه به پایین تر بودن دمای تخریب کارواکرول نسبت به پلیمر امکان تعیین مقدار کارواکرول افزوده شده بعد از فرایند وجود دارد که وجود آن بیانگر حضور عامل فعال در ماتریکس پلیمر پس از فرایند اکستروژن می‌باشد (۱۰۹).

<sup>31</sup>-Glass transition temperature ( $T_g$ )

در حالی که دیکاستیلو و همکاران (۲۰۱۳) باند تخریبی گسترده ای در ترموگرام چای سبز به دلیل کاراملیزاسیون قندهای گلیکوزیدی موجود در آن در محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد گزارش کردند، بررسی ترموگرام‌های فیلم‌های پلی‌پروپیلن حاوی عصاره چای سبز حاکی از وجود باند تخریبی کوچکی در این محدوده بود. نتایج این محققین همچنین نشانگر افزایش TGA فیلم پروپیلن حاوی عصاره چای سبز (۴۸۱/۳ درجه سانتیگراد) نسبت به فیلم پلی‌پروپیلن خالص (۴۷۳/۷ درجه سانتیگراد) بود (۴۱).

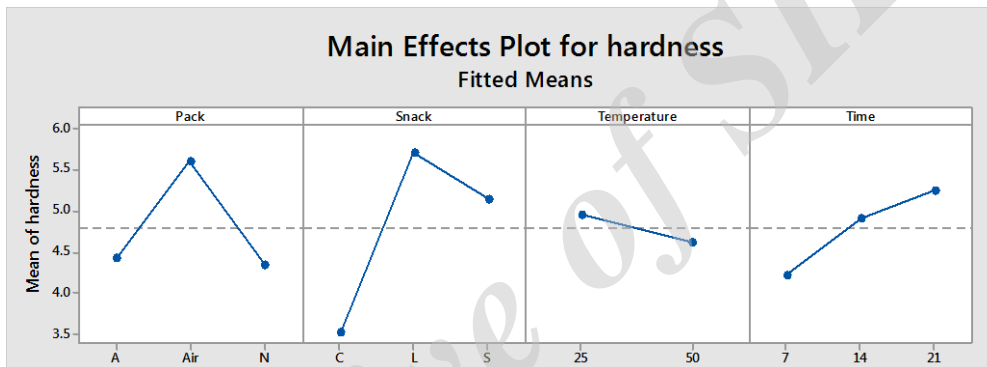


شکل ۷۱ منحنی TGA بدست آمده برای الف- فیلم LDPE خالص، ب- فیلم NSA-LDPE حاوی ۱۰ درصد آسکوربات سدیم

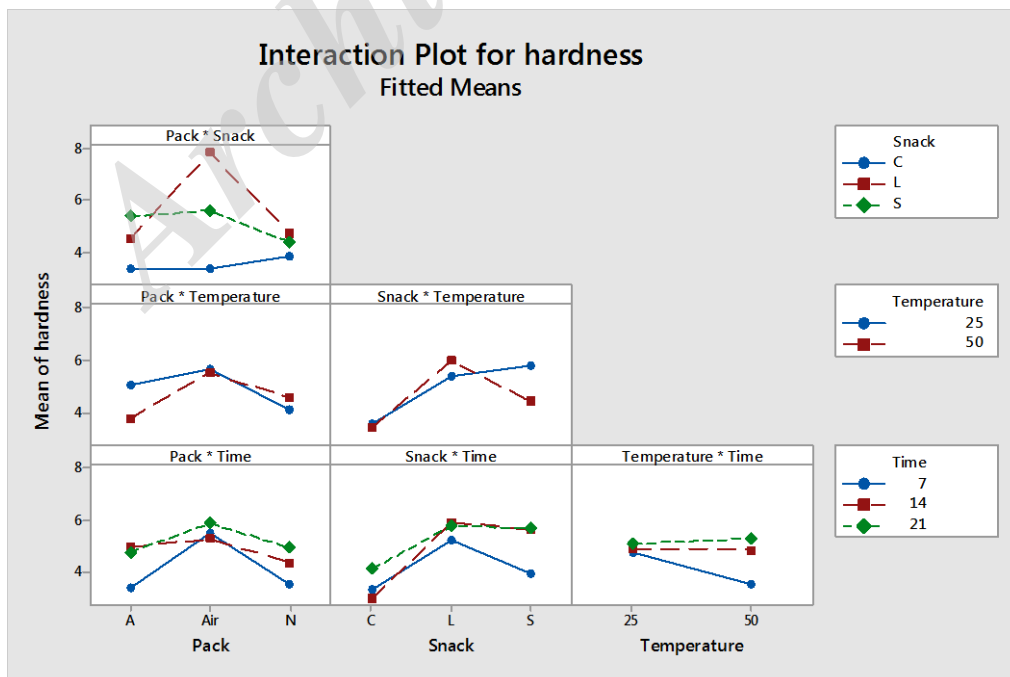
#### ۴-۱۲- تغییرات بافتی محصول نهایی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر نوع بسته بندی و اسنک بر سختی محصول معنی دار ( $p < 0.05$ ) و اثر زمان و دمای نگهداری بی معنی بود. تفاوت بین سختی نمونه‌های نگهداری شده در ازت و حاوی آسکوربات سدیم (به ترتیب ۴/۳۳ و ۴/۴۲ نیوتن) معنی دار نبود اما سختی نمونه نگهداری شده در هوا (۵/۶۰ نیوتن) تفاوت معنی داری با دو نمونه دیگر داشت. تفاوت سختی نمونه‌های حاوی نخود و کنجد نیز بی معنی بود اما سختی نمونه حاوی عدس جوانه زده (۳/۵۲ نیوتن) به طور معنی داری کمتر بود. اثرات ساده متغیرها بر سختی در شکل ۷۲ نشان داده شده است.

در بین اثرات متقابل هم تنها اثر نوع بسته بندی و اسنک معنی دار بود به طوری که نمونه حاوی عدس جوانه زده بسته بندی شده در هوا معمولی بالاترین سختی (۷/۸۴ نیوتن) را داشت. مقدار تغییرات سختی نمونه‌های اسنک در بسته بندی با هوای معمولی بیشتر از سایر بسته بندی بود (شکل ۷۳).



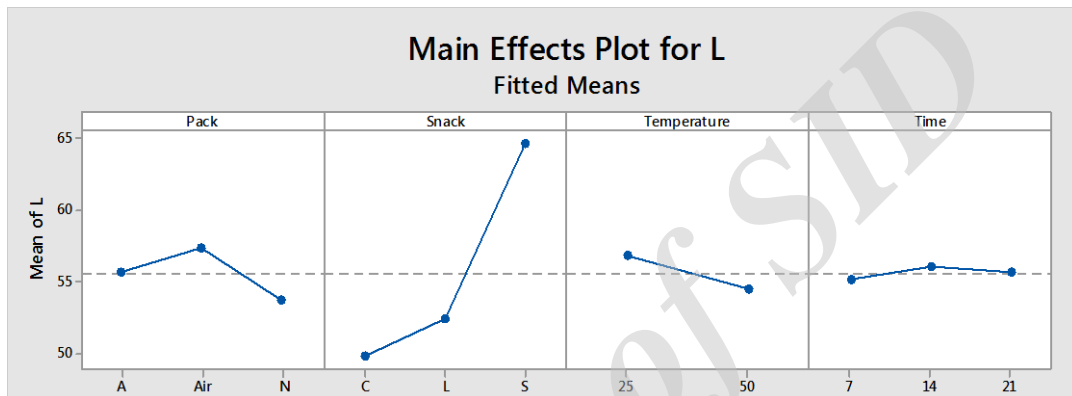
شکل ۷۲ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، دما (سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر سختی (نیوتن) محصول



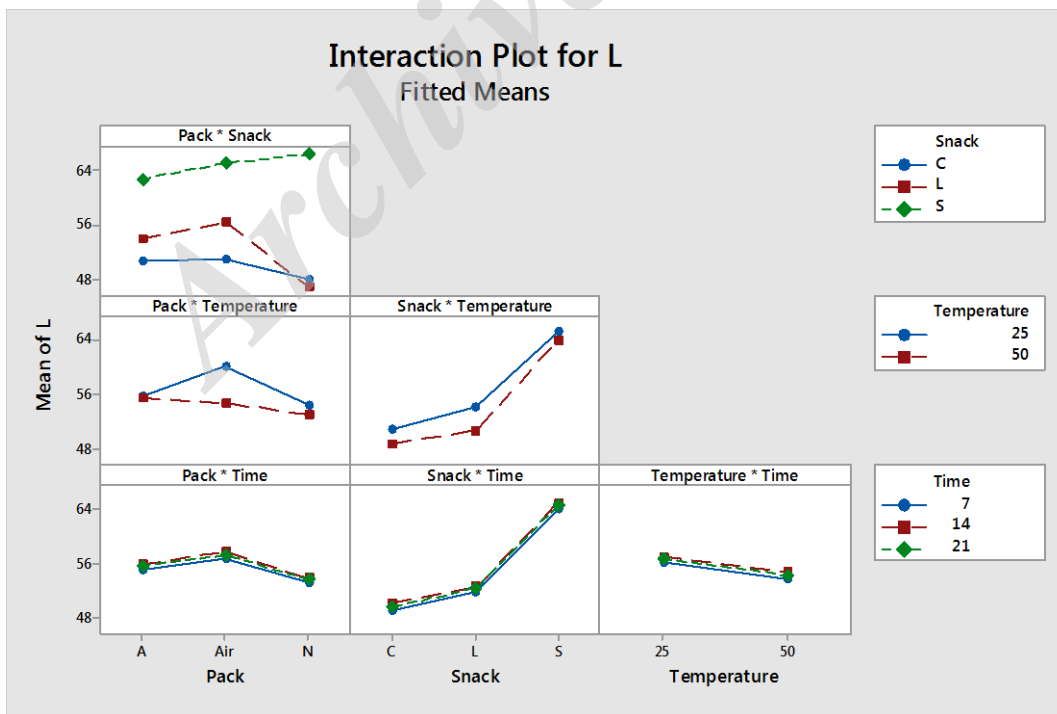
شکل ۷۳ اثر متقابل نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، دما (سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر سختی (نیوتن) محصول

### ۴-۱۳- تغییرات رنگی محصول نهایی

آنالیز واریانس تغییرات ضریب روشنی نشان داد اثرات ساده نوع بسته‌بندی، اسنک و دمای نگهداری و نیز اثرات مقابل نوع بسته‌بندی-اسنک و نوع بسته‌بندی-دما معنی‌دار بود. میانگین ضریب روشنی بین سه روش بسته‌بندی نیز معنی‌دار بود به طوری که بیشترین ضریب روشنی در نمونه بسته‌بندی شده با هوای معمولی (۵۷/۴۰) و کمترین آن در نمونه بسته‌بندی شده در ازت (۵۳/۷۲) مشاهده گردید. تفاوت این شاخص بین سه نمونه اسنک نیز معنی‌دار بود و بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب به نمونه حاوی کنجد (۶۶/۶۴) و نخود (۴۹/۷۵) تعلق داشت. نگهداری در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد نیز موجب کاهش ضریب روشنی از ۵۶/۷۷ به ۴۲/۵۴ گردید.

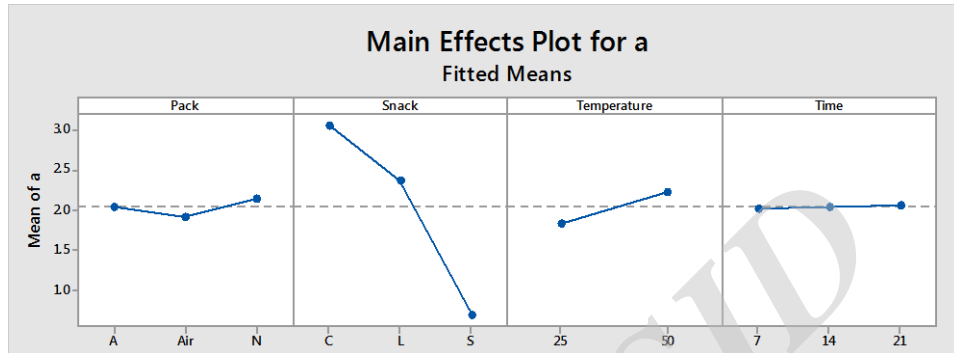


شکل ۷۴ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، دما (سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر ضریب روشنی (L) محصول

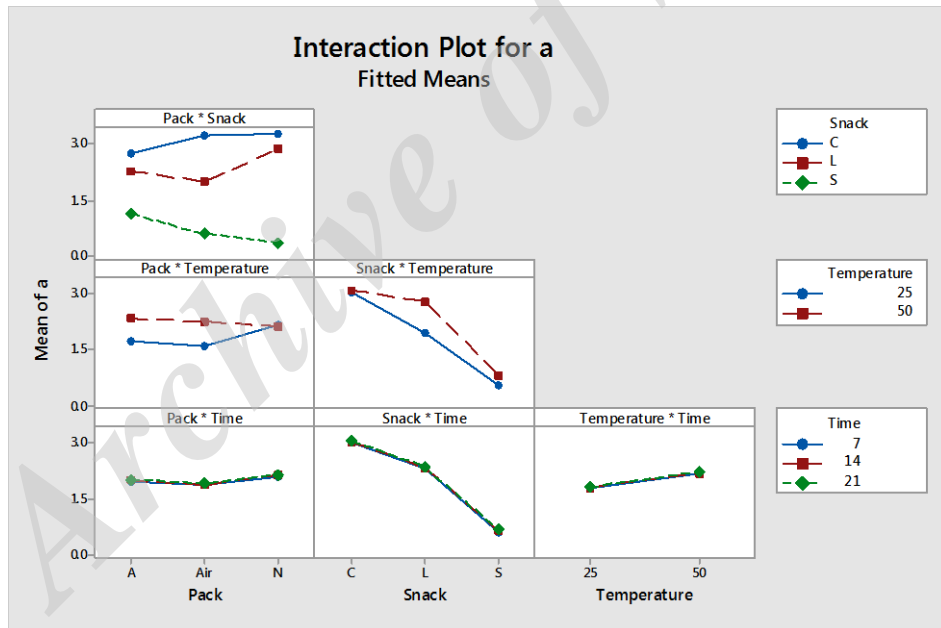


شکل ۷۵ اثر متقابل نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، دما (سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر شاخص روشنی (L) محصول

شاخص a نشان دهنده قرمزی (اعداد مثبت) و سبزی (اعداد منفی) محصول است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد غیر از زمان نگهداری، اثر سایر عوامل بر شاخص a معنی دار بود. این شاخص در نمونه نگهداری شده در هوای معمولی به طور معنی دار کمتر از نمونه نگهداری شده در ازت بود اما اختلاف آن با نمونه نگهداری شده با آسکوریات سدیم معنی دار نبود. اختلاف نمونه‌های نگهداری شده در ازت و آسکوریات سدیم نیز معنی دار نبود.

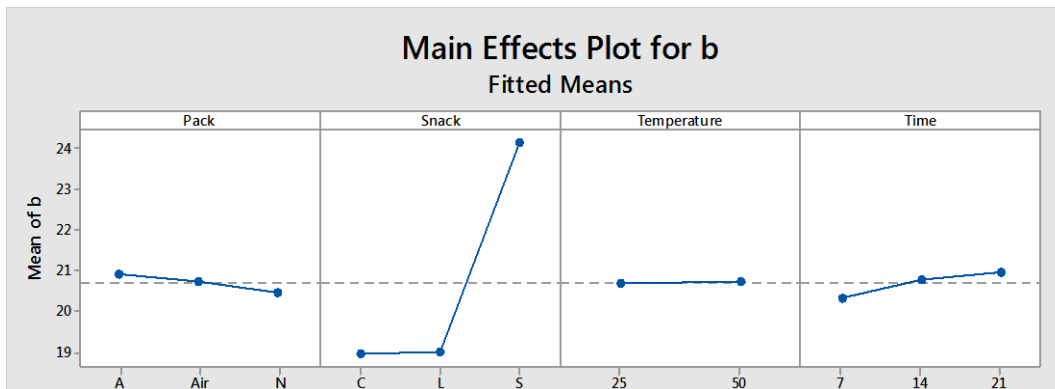


شکل ۷۶ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوریات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، دما (سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر شاخص قرمزی (a)

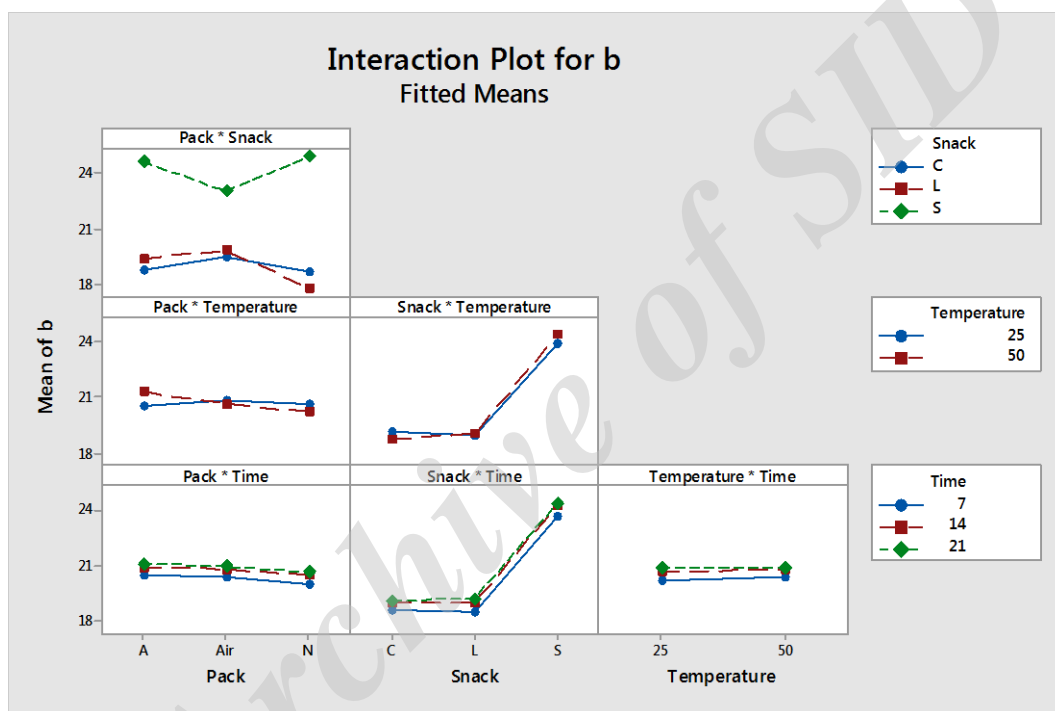


شکل ۷۷ اثر متقابل نوع بسته بندی (حاوی آسکوریات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، دما (سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر شاخص قرمزی (a)

شاخص b نشان دهنده زردی (اعداد مثبت) و آبی بودن (اعداد منفی) محصول است. اثر نوع بسته بندی و دمای نگهداری بر این شاخص بی معنی و اثر نوع اسنک و زمان نگهداری معنی دار بود. بالاترین میزان شاخص b به اسنک حاوی کنجد (۲۴/۱۶) تعلق داشت که به طور معنی دار از دو اسنک دیگر بیشتر بود. اختلاف بین اسنک نخود و عدس جوانه زده معنی دار نبود.



شکل ۷۸ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوریات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، دما (سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر شاخص زردی (b)

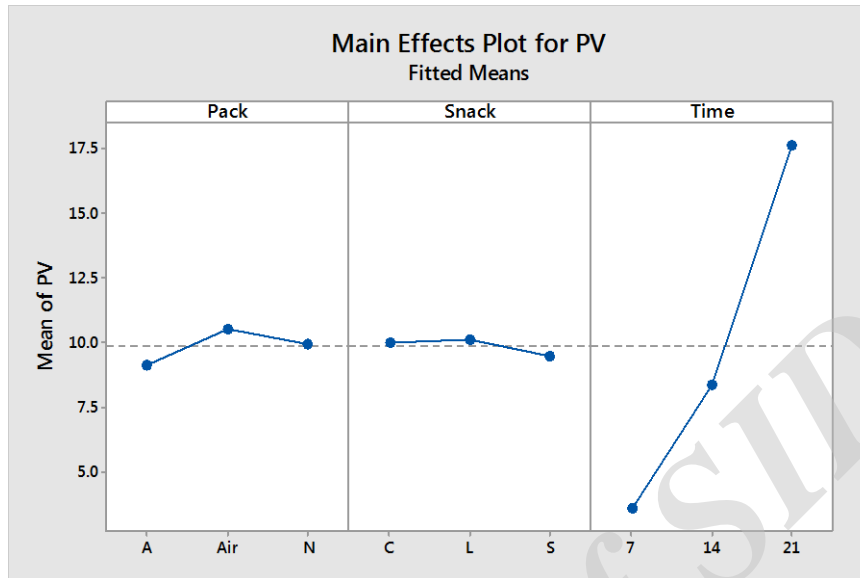


شکل ۷۹ اثر متقابل نوع بسته بندی (حاوی آسکوریات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، دما (سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر شاخص زردی (b)

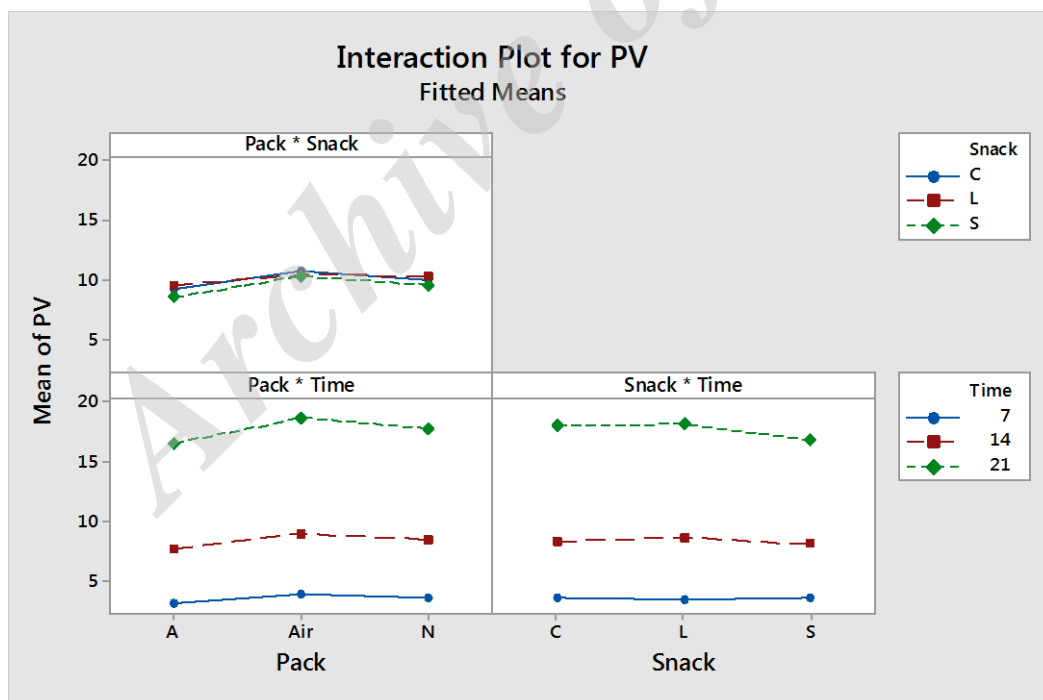
#### ۴-۱۴- تغییرات پراکسید در محصول نهایی

با توجه به حضور آنتی اکسیدان و پایداری روغن آفتابگردان در شرایط معمولی، روند تغییرات عدد پراکسید فقط در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس نشان داد اثر نوع بسته بندی و زمان نگهداری بر تغییر عدد پراکسید معنی دار و اثر نوع اسنک بی معنی بود. بالاترین عدد پراکسید (۱۰/۵۴) متعلق به نمونه نگهداری شده در هوای معمولی بود. البته تفاوت آن با نمونه بسته بندی شده در ازت (۹/۹۹) بی معنی بود. کمترین عدد پراکسید (۹/۱۵) متعلق به نمونه نگهداری شده با پوشش حاوی آسکوریات سدیم بود. روند افزایش عدد پراکسید در زمان نگهداری

معنی‌دار بود و در روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ به ترتیب ۳/۵۹، ۸/۴۱ و ۱۷/۶۸ بود. شایان ذکر است عدد پراکسید روغن آفتابگردان مورد استفاده در تهیه پوشش (دراژه) معادل ۲/۵۸ بود.



شکل ۸۰ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L) و زمان نگهداری (روز) بر تغییرات عدد پراکسید (میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم)



شکل ۸۱ اثر متقابل نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L) و زمان نگهداری (روز) بر تغییرات عدد پراکسید (میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم)

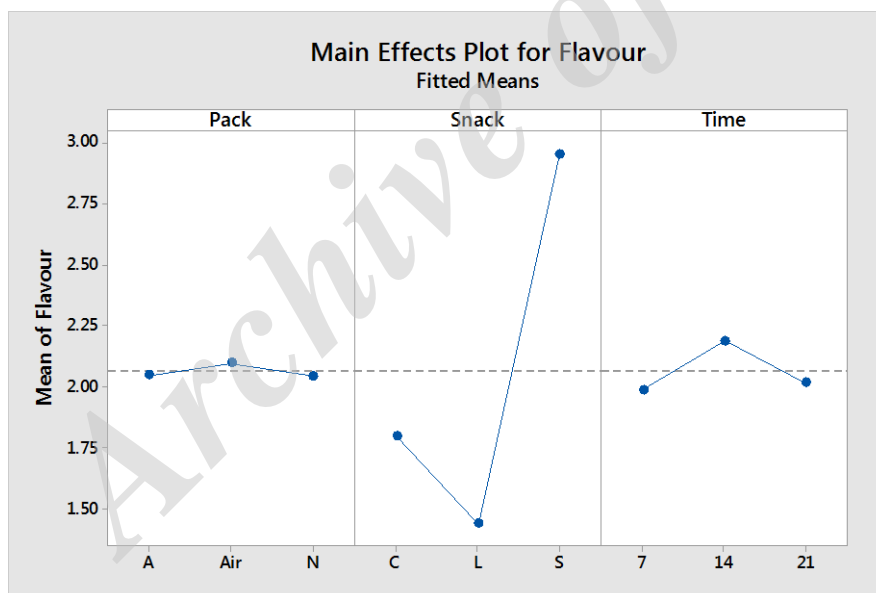


#### ۴-۱۵- شمارش باکتری زنده در محصول نهایی

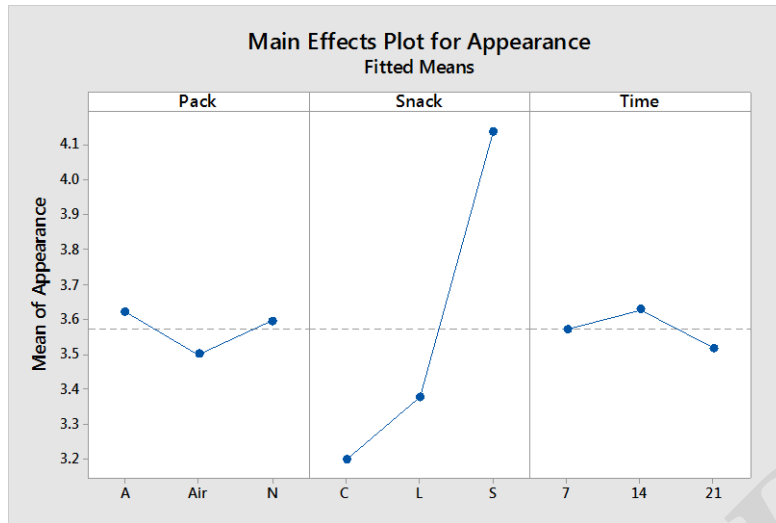
با توجه به عدم پایداری باکتری در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، شمارش فقط در نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد انجام شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر زمان بر شمارش باکتری زنده معنی‌دار اما اثر نوع اسنک و نوع بسته بندی بی معنی بود. شمارش اولیه تعداد باکتری معادل  $10^{10} * 2/3$  سلول زنده بر گرم اسنک بود که پس از ۷، ۱۴ و ۲۱ روز نگهداری به ترتیب به  $10^9 * 6/6$ ،  $10^8 * 1/05$  و  $10^7 * 5/2$  سلول زنده بر گرم رسید. این مقدار همچنان از حداقل مورد نیاز یعنی  $10^6$  بالاتر است.

#### ۴-۱۶- ویژگیهای حسی محصول نهایی

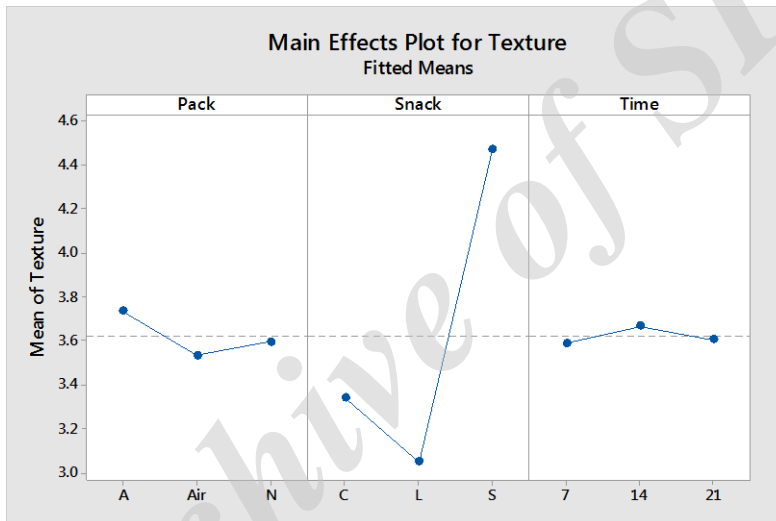
شکل‌های ۸۲ تا ۸۶ اثر نوع بسته بندی، اسنک و زمان نگهداری را بر خصوصیات حسی محصول نشان می‌دهد. آنالیز واریانس به جز اثر نوع اسنک بر همه خصوصیات مورد بررسی و اثر متقابل اسنک-نوع بسته بندی بر ظاهر، اسنک-زمان نگهداری بر بافت و اسنک-نوع بسته بندی بر پذیرش کلی اثر معنی‌داری دیگری نشان نداد. در بین اسنک‌ها، نمونه حاوی کنجد بالاترین امتیاز را کسب کرد.



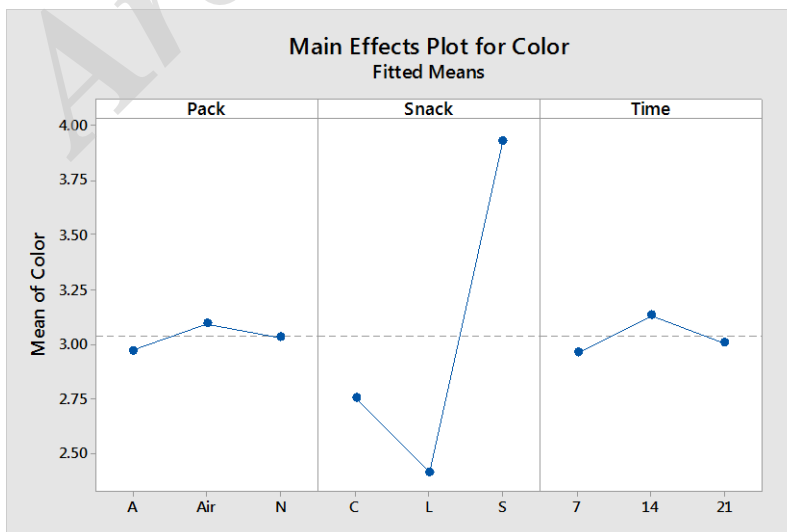
شکل ۸۲ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، زمان نگهداری (روز) بر عطر و طعم محصول



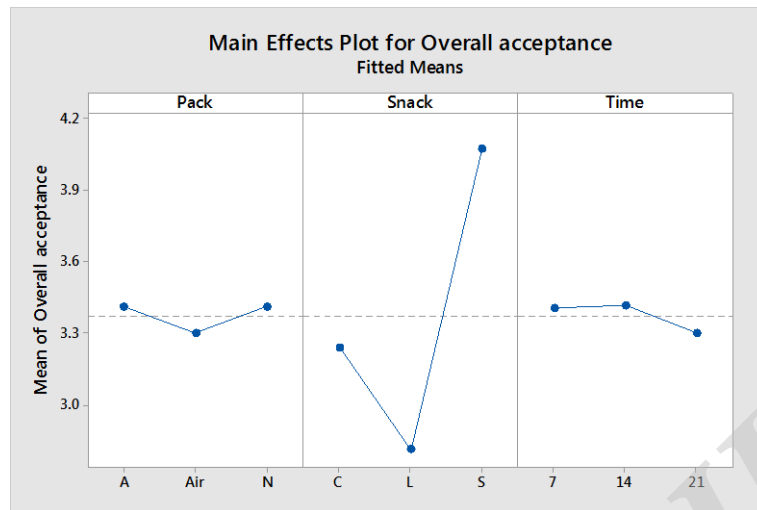
شکل ۸۳ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، زمان نگهداری (روز) بر ظاهر محصول



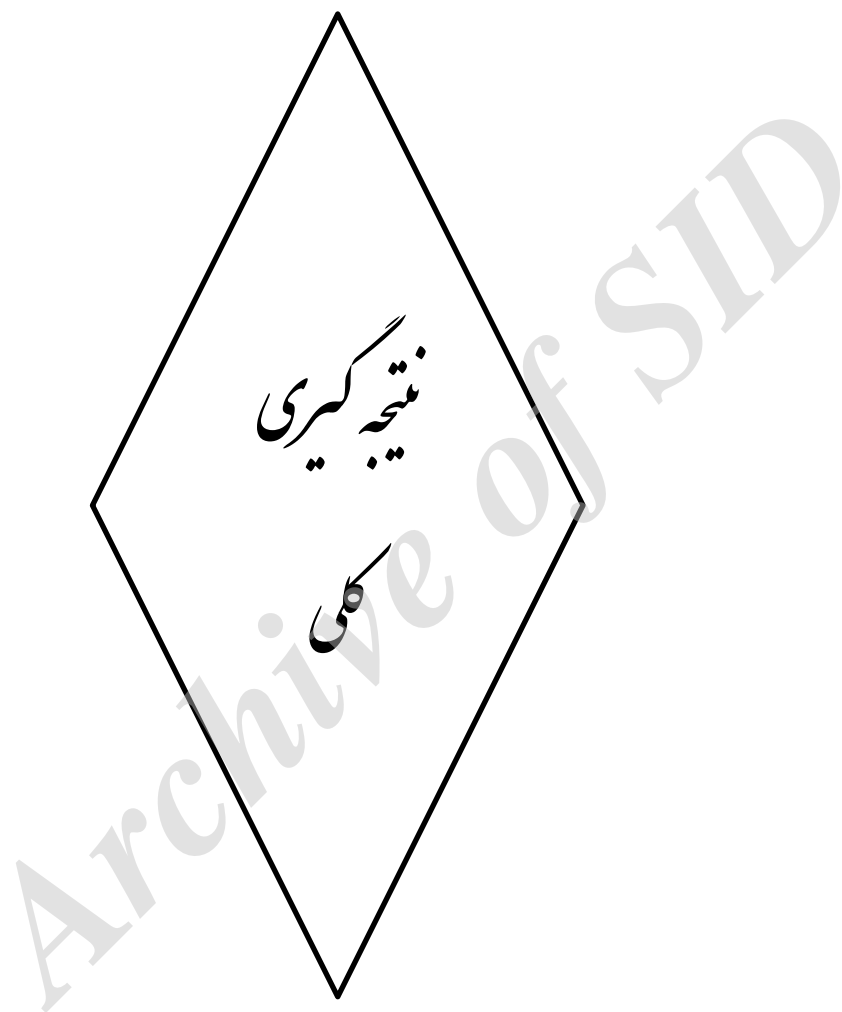
شکل ۸۴ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، زمان نگهداری (روز) بر بافت محصول



شکل ۸۵ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، زمان نگهداری (روز) بر رنگ محصول



شکل ۸۶ اثر نوع بسته بندی (حاوی آسکوربات سدیم A، هوا Air و ازت N)، اسنک (نخود C، عدس جوانه زده L)، زمان نگهداری (روز) بر پذیرش کلی محصول



## نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق ابتدا تولید اسنک حجیم از عدس جوانه زده مورد بررسی قرار گرفت. با عنایت ارزش غذایی حبوبات از قبیل عدس و افزایش آن طی فرایند جوانه زدن، تولید این محصول می‌تواند به ارتقای ارزش غذایی میان-وعده‌های مورد استفاده جامعه کمک نماید. برای حصول کیفیت مورد نظر می‌توان با کنترل دما، سرعت چرخش و رطوبت ویژگی‌های مختلف ظاهری و طعمی دست یافت.

همچنین در این تحقیق فیلم‌های گیرنده اکسیژن بر پایه آسکوربات سدیم از طریق اختلاط ذوبی غلظت‌های مختلف ذرات میکرو و نانو سدیم آسکوربات در ماتریکس LDPE تولید شدند. تصاویر SEM نشان داد که ذرات آسکوربات سدیم به فرم کروی در ماتریکس LDPE توزیع شده و افزایش درصد آسکوربات سدیم در فیلم‌ها با تجمع ذرات طی اکستروژن و تشکیل ذرات با ابعاد بزرگتر همراه بود. برخلاف مشاهده بصری، فیلم‌های SA-LDPE و NSA-LDPE دارای شاخص روشنی بالاتری نسبت به فیلم LDPE خالص بودند. با افزایش ضخامت و تعداد لایه‌های فیلم LDPE اختلاف کلی رنگ ( $\Delta E$ ) فیلم‌ها با فیلم LDPE با ضخامت ۷/۵ میکرومتر به طور معنی‌دار کاهش یافت.

با توجه به ماهیت قطبی نمک سدیم آسکوربات، میزان رهایش این ترکیب طی زمان در مدل غذایی آبی به طور قابل توجهی بالاتر از مدل غذایی اتانولی بود. نتایج FT-IR ضمن تایید نتیجه فوق نشان داد که در روزهای ابتدایی میزان مهاجرت سدیم آسکوربات از فیلم به مدل غذایی بیشتر بوده که طی زمان به دلیل تخلیه فیلم از شدت آن کاسته شده است.

در فیلم‌های گیرنده اکسیژن حاوی سدیم آسکوربات میزان نفوذپذیری به اکسیژن و بخار آب در مقایسه با LDPE خالص به ترتیب کاهش و افزایش یافت در حالی که بر خلاف آنها میزان نفوذپذیری به اکسیژن در فیلم‌های EVOH-LDPE افزایش قابل توجهی نشان داد.

فیلم‌های فعال تولید شده از مقاومت مکانیکی نسبتاً مطلوبی برخوردار بودند اما به هر حال تنش کششی طولی و عرضی و همچنین درصد ازدیاد طول در فیلم‌های SA-LDPE، NSA-LDPE و EVOH-LDPE در تمامی نسبت‌های اختلاط پایین‌تر از فیلم LDPE خالص بود.

ترموگرام‌های TGA تخریب آسکوربات سدیم را در محدوده دمایی ۲۵۱ تا ۲۵۷ درجه سانتیگراد در فیلم‌های حاوی غلظت‌های ۵ تا ۱۵ درصد آسکوربات سدیم تایید کردند که این امر با ۱/۴ تا ۳/۸ درصد افت وزنی همراه بود. علاوه بر این بر اساس نتایج مذکور می‌توان گفت که آسکوربات سدیم قادر به تحمل دمای اکسترودر (بیشینه ۱۹۰ درجه سانتیگراد) طی فرایند تولید بوده است.

تأثیر افزایش تعداد لایه های فیلم LDPE در جلوگیری از نفوذپذیری اکسیژن بیش از افزایش ضخامت لایه ها بود که می تواند به دلیل تأثیر لایه چسب بین لایه ها باشد. با افزایش ضخامت و تعداد لایه های فیلم LDPE تنش کششی طولی و عرضی و همچنین درصد ازدیاد طول آنها به طور قابل توجهی افزایش یافت.

در نهایت سه نوع اسنک حجیم حاوی کنجد، نخود و عدس جوانه زده تولید و توسط طعم دهنده سین بایوتیک پوشش داده شد. در طول زمان ماندگاری در دمای ۵۰ درجه پراکسید به بیش از ۲۰ میلی اکی والان در کیلوگرم رسید. البته شمارش باکتری پروبیوتیک نشان داد در این مدت (۲۱ روز) و در دمای معمولی تعداد سلول زنده در همه نمونه ها بیش از ۱۰<sup>۶</sup> بود.

#### ۵-۲-پیشنهادها

مطالعات زیر می تواند در توسعه بیشتر این محصولات مفید واقع شود:

کاربرد طیف بیشتری از عوامل سین بایوتیک

کاربرد آنتی اکسیدان های طبیعی به منظور افزایش پایداری اکسایشی



Archive of SID

1. ASTM E96 / E96M-16, Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM International, 2016.
2. of Official Analytical Chemists (AOAC), (2002). Solids (Total) AND Moisture in Flour Method 925.10. Official Methods of Analysis (17th edn). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. 2002.
3. of Official Analytical Chemists (AOAC), (2002). Ash of Flour Method 923.03. Official Methods of Analysis (17th edn). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. 2002.
4. of Official Analytical Chemists (AOAC), (2002). Nitrogen (Total) in fertilizers Method 955.04. Official Methods of Analysis (17th edn). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. 2002.
5. Abe Y. Active packaging with oxygen absorbers In: Minimal processing of foods. Kirkkonummi, Finland,: 1994.
6. Ahmadi A, Milani E, Madadlou A, Mortazavi SA, Mokarram RR, and Salarbashi D. Synbiotic yogurt-ice cream produced via incorporation of microencapsulated lactobacillus acidophilus (la-5) and fructooligosaccharide. Journal of food science and technology 51: 1568-1574, 2014.
7. Ahvenainen R. Novel food packaging techniques. Elsevier, 2003.
8. Ahvenainen R, and Hurme E. Active and smart packaging for meeting consumer demands for quality and safety. Food Additives & Contaminants 14: 753-763, 1997.
9. Allan-Wojtas P, Hansen LT, and Paulson A. Microstructural studies of probiotic bacteria-loaded alginate microcapsules using standard electron microscopy techniques and anhydrous fixation. LWT-Food Science and Technology 41: 101-108, 2008.
10. Altan A, McCarthy KL, and Maskan M. Evaluation of snack foods from barley–tomato pomace blends by extrusion processing. Journal of Food Engineering 84: 231-242, 2008.
11. Andersen H, and Rasmussen M. Interactive packaging as protection against photodegradation of the colour of pasteurized, sliced ham. International journal of food science & technology 27: 1-8, 1992.
12. Anderson R, Conway H, and Peplinski A. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. Starch-Stärke 22: 130-135, 1970.
13. Aqilah M. Enhancement of probiotics survival by microencapsulation with alginate and prebiotics MMG 445. Basic Biotechnology 6: 13-18, 2010.
14. Atkinson AC, and Donev A. Optimum experimental designs. Oxford University Press 132-189, 1992.
15. Ayet G, Burbano C, Cuadrado C, Pedrosa M, Robredo L, Muzquiz M, De la Cuadra C, Castano A, and Osagie A. Effect of germination, under different environmental



- conditions, on saponins, phytic acid and tannins in lentils (*Lens culinaris*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74: 273-279, 1997.
16. Badrie N, and Mellowes W. Texture and microstructure of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour extrudate. *Journal of food science* 56: 1319-1322, 1991.
  17. Barbosa-Pereira L, Cruz JM, Sendón R, de Quirós ARB, Ares A, Castro-López M, Abad MJ, Maroto J, and Paseiro-Losada P. Development of antioxidant active films containing tocopherols to extend the shelf life of fish. *Food Control* 31: 236-243, 2013.
  18. BATISTUTI JP, BARROS R, CERDEIRA M, and ARÊAS JAG. Optimization of extrusion cooking process for chickpea (*Cicer arietinum*, L.) defatted flour by response surface methodology. *Journal of food science* 56: 1695-1698, 1991.
  19. Bawa AS, and J S Sidhu. SNACK FOODS/Range on the Market. 5322-5333, 2003.
  20. BENCINI MC. Functional Properties of Drum-Dried Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Flours. *Journal of Food Science* 51: 1518-1521, 1986.
  21. Berenzon S, and Saguy IS. Oxygen absorbers for extension of crackers shelf-life. *LWT-Food Science and Technology* 31: 1-5, 1998.
  22. Berset C. Color. *Extrusion cooking* 371-385, 1989.
  23. Bhattacharya S, and Prakash M. Extrusion of blends of rice and chick pea flours: A response surface analysis. *Journal of Food Engineering* 21: 315-330, 1994.
  24. Bhattacharya S, Sivakumar V, and Chakraborty D. Changes in CIELab colour parameters due to extrusion of rice-greengram blend: a response surface approach. *Journal of food engineering* 32: 125-131, 1997.
  25. Björck I, and Asp N-G. The effects of extrusion cooking on nutritional value—a literature review. *Journal of Food Engineering* 2: 281-308, 1983.
  26. Brody AL, Strupinsky E, and Kline LR. *Active packaging for food applications*. CRC press, 2001.
  27. Byun Y, Kim YT, and Whiteside S. Characterization of an antioxidant polylactic acid (PLA) film prepared with  $\alpha$ -tocopherol, BHT and polyethylene glycol using film cast extruder. *Journal of Food Engineering* 100: 239-244, 2010.
  28. Calatayud M, López-de-Dicastillo C, López-Carballo G, Vélez D, Muñoz PH, and Gavara R. Active films based on cocoa extract with antioxidant, antimicrobial and biological applications. *Food chemistry* 139: 51-58, 2013.
  29. Cantor K. *Blown film extrusion*. Hanser Publications, 2011.
  30. Case S, Hamann D, and Schwartz S. Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat and corn based products. *Cereal Chemistry* 69: 401-404, 1992.

31. Chanlat N, Songsermpong S, Charunuch C, and Naivikul O. Twin-Screw Extrusion of Pre-Germinated Brown Rice: Physicochemical Properties and  $\gamma$ -Aminobutyric Acid Content (GABA) of Extruded Snacks. *International Journal of Food Engineering* 7: 2011.
32. Charalampopoulos D, Pandiella S, and Webb C. Evaluation of the effect of malt, wheat and barley extracts on the viability of potentially probiotic lactic acid bacteria under acidic conditions. *International Journal of Food Microbiology* 82: 133-141, 2003.
33. Chen C-M, and Yeh A-I. Effect of amylose content on expansion of extruded rice pellet. *Cereal chemistry* 78: 261-266, 2001.
34. CHEN J, SERAFIN FL, PANDYA RN, and DAUN H. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. *Journal of Food Science* 56: 84-89, 1991.
35. Chinnaswamy R, and Hanna M. Relationship between viscosity and expansion properties of variously extrusion-cooked corn grain components. *Food hydrocolloids* 3: 423-434, 1990.
36. Colín-Chávez C, Soto-Valdez H, Peralta E, Lizardi-Mendoza J, and Balandrán-Quintana R. Diffusion of natural astaxanthin from polyethylene active packaging films into a fatty food simulant. *Food research international* 54: 873-880, 2013.
37. Colonna P, and Mercier C. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. *Carbohydrate Polymers* 3: 87-108, 1983.
38. Cui L, Xu L-p, Tsai F-C, Zhu P, Jiang T, and Yeh J-t. Oxygen depletion properties of glucose-grafted polyethylene resins filled with sodium ascorbate/modified iron compounds. *Journal of Polymer Research* 18: 1301-1313, 2011.
39. Davidson R, Duncan S, Hackney C, Eigel W, and Boling J. Probiotic culture survival and implications in fermented frozen yogurt characteristics. *Journal of dairy science* 83: 666-673, 2000.
40. de Abreu DP, Rodriguez KV, and Cruz J. Extraction, purification and characterization of an antioxidant extract from barley husks and development of an antioxidant active film for food package. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 13: 134-141, 2012.
41. de Dicastillo CL, del Mar Castro-López M, López-Vilariño JM, and González-Rodríguez MV. Immobilization of green tea extract on polypropylene films to control the antioxidant activity in food packaging. *Food research international* 53: 522-528, 2013.
42. de Fátima POÇAS M. Innovations in intelligent packaging technologies for perishable foods. *Novel Processes and Control Technologies in the Food Industry*, ed by Bozoblu F, Deak T, Ray B NATO-ASI, IOS press, Amsterdam 197-211, 2001.

43. Della Valle G, Vergnes B, Colonna P, and Patria A. Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behaviour in extrusion. *Journal of Food Engineering* 31: 277-295, 1997.
44. Ding Q-B, Ainsworth P, Plunkett A, Tucker G, and Marson H. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering* 73: 142-148, 2006.
45. Ding Q-B, Ainsworth P, Tucker G, and Marson H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering* 66: 283-289, 2005.
46. Drago S, Velasco-González O, Torres R, Gonzalez R, and Valencia M. Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from *Phaseolus vulgaris* bean flour. *Plant Foods for Human Nutrition* 62: 43-48, 2007.
47. Dworschak E, and Carpenter KJ. Nonenzyme browning and its effect on protein nutrition. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 13: 1-40, 1980.
48. El-Mahdy AR, Moharram YG, and Abou-Samaha OR. Influence of germination on the nutritional quality of lentil seeds. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A* 181: 318-320, 1985.
49. Farnworth ER. The beneficial health effects of fermented foods-potential probiotics around the world. *Journal of Nutraceuticals, Functional & Medical Foods* 4: 93-117, 2005.
50. Fernández-Gutiérrez JA, Martín-Martínez S, Martínez-Bustos F, and Cruz-Orea A. Physicochemical Properties of Casein-Starch Interaction Obtained by Extrusion Process. *Starch-Stärke* 56: 190-198, 2004.
51. Fletcher S, Richmond P, and Smith A. An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering* 4: 291-312, 1985.
52. Friedman M. Food browning and its prevention: an overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 631-653, 1996.
53. Fritzen-Freire CB, Prudêncio ES, Amboni RD, Pinto SS, Negrão-Murakami AN, and Murakami FS. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. *Food Research International* 45: 306-312, 2012.
54. Galdi MR, and Incarnato L. Influence of composition on structure and barrier properties of active PET films for food packaging applications. *Packaging Technology and Science* 24: 89-102, 2011.
55. Griffin IJ, Hicks PM, Heaney RP, and Abrams SA. Enriched chicory inulin increases calcium absorption mainly in girls with lower calcium absorption. *Nutrition Research* 23: 901-909, 2003.

56. Guha M, Ali SZ, and Bhattacharya S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering* 32: 251-267, 1997.
57. GUJSKA E, and KHAN K. Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science* 56: 431-435, 1991.
58. Gupta M, Bawa AS, and Semwal AD. Effect of barley flour on development of rice-based extruded snacks. *Cereal Chemistry* 85: 115-122, 2008.
59. Hagenimana A, Ding X, and Fang T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science* 43: 38-46, 2006.
60. Haile M, Zhongli P, Baoguo L, Griffiths GA, Donald A O, Marisa M W, and Tara H M. Properties of extruded expandable breadfruit products. *LWT-Food Science and Technology* 46: 326-334, 2012.
61. Hofeldt RH, and White SA. Container closures and Materials for use in these. 1989.
62. Hsu D, Leung H, Finney P, and Morad M. Effect of germination on nutritive value and baking properties of dry peas, lentils, and faba beans. *Journal of Food Science* 45: 87-92, 1980.
63. Ilo S, and Berghofer E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering* 39: 73-80, 1999.
64. Ilo S, Liu Y, and Berghofer E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. *LWT-Food Science and Technology* 32: 79-88, 1999.
65. Ilo S, Tomschik U, Berghofer E, and Mundigler N. The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits. *LWT-Food Science and Technology* 29: 593-598, 1996.
66. Jamshidian M, Tehrany EA, and Desobry S. Antioxidants release from solvent-cast PLA film: investigation of PLA antioxidant-active packaging. *Food and Bioprocess Technology* 6: 1450-1463, 2013.
67. Jamshidian M, Tehrany EA, and Desobry S. Release of synthetic phenolic antioxidants from extruded poly lactic acid (PLA) film. *Food Control* 28: 445-455, 2012.
68. Janjarasskul T, Tananuwong K, and Krochta JM. Whey protein film with oxygen scavenging function by incorporation of ascorbic acid. *Journal of food science* 76: 2011.
69. Kailasapathy K. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT-Food Science and Technology* 39: 1221-1227, 2006.

70. Kaletunc G, and Breslauer KJ. Glass transitions of extrudates: Relationship with processing-induced fragmentation and end-product attributes. *Cereal chemistry* 70: 548-548, 1993.
71. Kerry J, and Butler P. *Smart packaging technologies for fast moving consumer goods*. John Wiley & Sons, 2008.
72. Kim CH, and Maga J. Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. *Lebensmittel-Wissenschaft+ Technologie* 20: 311-318, 1987.
73. Kinsella JE, and Melachouris N. Functional properties of proteins in foods: a survey. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 7: 219-280, 1976.
74. Kokini J, Chang C, and Lai L. The role of rheological properties on extrudate expansion. *Food extrusion science and technology* 740: 631-652, 1992.
75. Kukić J, Popović V, Petrović S, Mucaji P, Ćirić A, Stojković D, and Soković M. Antioxidant and antimicrobial activity of *Cynara cardunculus* extracts. *Food Chemistry* 107: 861-868, 2008.
76. KYLEN AM, and McCREADY RM. Nutrients in seeds and sprouts of alfalfa, lentils, mung beans and soybeans. *Journal of Food Science* 40: 1008-1009, 1975.
77. Latou E, Mexis S, Badeka A, and Kontominas M. Shelf life extension of sliced wheat bread using either an ethanol emitter or an ethanol emitter combined with an oxygen absorber as alternatives to chemical preservatives. *Journal of Cereal Science* 52: 457-465, 2010.
78. Launay B, and Lisch J. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *Journal of Food Engineering* 2: 259-280, 1983.
79. Lawton J, Davis A, and Behnke K. High-temperature, short-time extrusion of wheat gluten and a bran-like fraction. *Cereal chemistry* 62: 1985.
80. Lazou A, and Krokida M. Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International* 43: 609-616, 2010.
81. Lazou A, and Krokida M. Thermal characterisation of corn–lentil extruded snacks. *Food Chemistry* 127: 1625-1633, 2011.
82. Lazou A, Krokida M, and Tzia C. Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs. *Journal of Sensory Studies* 25: 838-860, 2010.
83. Lee YK, and Salminen S. *Handbook of probiotics and prebiotics*. John Wiley & Sons, 2009.
84. Liang M, Huff H, and Hsieh FH. Evaluating Energy Consumption and Efficiency of a Twin-Screw Extruder. *Journal of food science* 67: 1803-1807, 2002.

85. Lin S, Huff H, and Hsieh F. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *Journal of Food Science* 67: 1066-1072, 2002.
86. Liu Y, Hsieh F, Heymann H, and Huff H. Effect of Process Conditions on the Physical and Sensory Properties of Extruded Oat-Corn Puff. *Journal of Food Science* 65: 1253-1259, 2000.
87. López-de-Dicastillo C, Gómez-Estaca J, Catalá R, Gavara R, and Hernández-Muñoz P. Active antioxidant packaging films: development and effect on lipid stability of brined sardines. *Food Chemistry* 131: 1376-1384, 2012.
88. López-Molina D, Navarro-Martínez MD, Rojas-Melgarejo F, Hiner AN, Chazarra S, and Rodríguez-López JN. Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Phytochemistry* 66: 1476-1484, 2005.
89. López de Dicastillo C, Nerín C, Alfaro P, Catalá R, Gavara R, and Hernández-Muñoz P. Development of new antioxidant active packaging films based on ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH) and green tea extract. *Journal of agricultural and food chemistry* 59: 7832-7840, 2011.
90. Ma H, Pan Z, Li B, Atungulu GG, Olson DA, Wall MM, and McHugh TH. Properties of extruded expandable breadfruit products. *LWT-Food Science and Technology* 46: 326-334, 2012.
91. Maga J, and Cohen M. Effect of extrusion parameters on certain sensory, physical and nutritional properties of potato flakes. *Lebensm Wiss Technol* 11: 195-197, 1978.
92. Maga JA. Flavor formation and retention during extrusion. *Extrusion cooking* 387-398, 1989.
93. Marty C, and Berset C. Degradation Products of Trans- $\beta$ -Carotene Produced during Extrusion Cooking. *Journal of Food Science* 53: 1880-1886, 1988.
94. Mason WR, and Hoseney R. Factors affecting the viscosity of extrusion cooked wheat starch. Kansas State University, 1985.
95. Mercier C, and Feillet P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products [Wheat, rice, corn]. *Cereal Chemistry* 52: 1975.
96. Mexis S, and Kontominas M. Effect of oxygen absorber, nitrogen flushing, packaging material oxygen transmission rate and storage conditions on quality retention of raw whole unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*). *LWT-Food Science and Technology* 43: 1-11, 2010.
97. Milani E, Koocheki A, and Golimovahhed QA. Extraction of inulin from Burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. *International journal of food science & technology* 46: 1699-1704, 2011.

98. MING X, WEBER GH, AYRES JW, and SANDINE WE. Bacteriocins applied to food packaging materials to inhibit *Listeria monocytogenes* on meats. *Journal of Food Science* 62: 413-415, 1997.
99. Mountzouris KC, Balaskas C, Fava F, Tuohy KM, Gibson GR, and Fegeros K. Profiling of composition and metabolic activities of the colonic microflora of growing pigs fed diets supplemented with prebiotic oligosaccharides. *Anaerobe* 12: 178-185, 2006.
100. Mu H, Gao H, Chen H, Tao F, Fang X, and Ge L. A nanosized oxygen scavenger: Preparation and antioxidant application to roasted sunflower seeds and walnuts. *Food chemistry* 136: 245-250, 2013.
101. Myers RH, and Montgomery DC. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd Edition. Wiley, New York, 2002.
102. Narayana K, and Narasinga Rao M. Functional properties of raw and heat processed winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) flour. *Journal of Food Science* 47: 1534-1538, 1982.
103. Nascimento EMdGCd, Carvalho CWP, Takeiti CY, Freitas DDGC, and Ascheri JLR. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. *Food Research International* 45: 434-443, 2012.
104. Obatolu Veronica A, Omuetti Olusola O, and ADEBOWALE EA. Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of food process engineering* 29: 149-161, 2006.
105. Okuro PK, Thomazini M, Balieiro JC, Liberal RD, and Fávares-Trindade CS. Co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* with inulin or polydextrose in solid lipid microparticles provides protection and improves stability. *Food Research International* 53: 96-103, 2013.
106. Oliveira RPDS, Perego P, Converti A, and De Oliveira MN. Effect of inulin on growth and acidification performance of different probiotic bacteria in co-cultures and mixed culture with *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Food Engineering* 91: 133-139, 2009.
107. Padmanabhan M, and Bhattacharya M. Extrudate expansion during extrusion cooking of foods. *Cereal foods world (USA)* 1989.
108. Phillips M, Kailasapathy K, and Tran L. Viability of commercial probiotic cultures (*L. acidophilus*, *Bifidobacterium* sp., *L. casei*, *L. paracasei* and *L. rhamnosus*) in cheddar cheese. *International journal of food microbiology* 108: 276-280, 2006.
109. Ramos M, Jiménez A, Peltzer M, and Garrigós MC. Characterization and antimicrobial activity studies of polypropylene films with carvacrol and thymol for active packaging. *Journal of Food Engineering* 109: 513-519, 2012.

110. Sathe S, Deshpande S, and Salunkhe D. Functional properties of winged bean [*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC] proteins. *Journal of Food Science* 47: 503-509, 1982.
111. Shah NP. Functional foods from probiotics and prebiotics. *Food technology* 2001.
112. Shin Y, Shin J, and Lee YS. Preparation and characterization of multilayer film incorporating oxygen scavenger. *Macromolecular research* 19: 869-875, 2011.
113. Singh B, Sekhon K, and Singh N. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food chemistry* 100: 198-202, 2007.
114. Singh N, Singh B, Sandhu K, Bawa A, and Sekhon K. Extrusion behaviour of wheat, rice and potato blends. *Journal of food science and technology* 33: 291-294, 1996.
115. Singh RS, and Singh RP. Production of fructooligosaccharides from inulin by endoinulinases and their prebiotic potential. *Food Technology and Biotechnology* 48: 435, 2010.
116. Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, and İbanoğlu Ş. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry* 114: 226-232, 2009.
117. Sulieman MA, Eltayeb MM, Babiker EE, Mustafa AI, and El Tinay AH. Effect of Sprouting on Chemical Composition and Amino Acid. *Journal of Applied Sciences* 8: 2337-2340, 2008.
118. Suppakul P, Miltz J, Sonneveld K, and Bigger SW. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Journal of food science* 68: 408-420, 2003.
119. Teumac F. The history of oxygen scavenger bottle closures. *Active food packaging* 193-202, 1995.
120. Thymi S, Krokida M, Pappa A, and Maroulis Z. Structural properties of extruded corn starch. *Journal of Food Engineering* 68: 519-526, 2005.
121. Urbano G, Lopez-Jurado M, Hernandez J, Fernandez M, Moreu M-C, Frias J, Diaz-Pollan C, Prodanov M, and Vidal-Valverde C. Nutritional assessment of raw, heated, and germinated lentils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 1871-1877, 1995.
122. Valle GD, Vergnes B, Colonna P, and Patria A. Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behaviour in extrusion. *Journal of Food Engineering* 31: 277-295, 1997.
123. Vermeiren L, Devlieghere F, Van Beest M, De Kruijf N, and Debevere J. Developments in the active packaging of foods. *Trends in food science & technology* 10: 77-86, 1999.



124. Vidal-Valverde C, Frias J, Sierra I, Blazquez I, Lambein F, and Kuo Y-H. New functional legume foods by germination: effect on the nutritive value of beans, lentils and peas. *European Food Research and Technology* 215: 472-477, 2002.
125. Vignæs LK, Holck J, Meyer AS, and Licht TR. In vitro Fermentation of Sugar Beet Arabino-Oligosaccharides by Fecal Microbiota Obtained from Patients with Ulcerative Colitis Selectively Stimulates the Growth of Bifidobacterium spp. and Lactobacillus spp. *Applied and environmental microbiology AEM*. 05895-05811, 2011.
126. Watson D, O'Connell Motherway M, Schoterman M, van Neerven RJ, Nauta A, and Van Sinderen D. Selective carbohydrate utilization by lactobacilli and bifidobacteria. *Journal of applied microbiology* 114: 1132-1146, 2013.
127. Weinbreck F, Bodnár I, and Marco M. Can encapsulation lengthen the shelf-life of probiotic bacteria in dry products? *International journal of food microbiology* 136: 364-367, 2010.
128. WILLIAMS MA. Interrupted Flight Expanders-Extruders. *Extruders in Food Applications* 63-79, 2000.
129. Yeo S-K, Ewe J-A, Tham CS-C, and Liong M-T. Carriers of probiotic microorganisms. In: *Probiotics* Springer, 2011, p. 191-220.
130. Yuliani S, Torley PJ, D'Arcy B, Nicholson T, and Bhandari B. Extrusion of mixtures of starch and d-limonene encapsulated with  $\beta$ -cyclodextrin: Flavour retention and physical properties. *Food Research International* 39: 318-331, 2006.
۱۳۱. ابتهی، امینی و دادخواه. میان وعده های غذایی دانش آموزان دبستانی از چه ارزش تغذیه ای برخوردار است؟ اولین همایش ملی میان وعده های غذایی ۱۳۹۳.
۱۳۲. یارسا و باقری. حیوانات. انتشارات جهاددانشگاهی مشهد، ۱۳۸۷.
۱۳۳. پایان و حامدی. مروری بر کاربرد بسته بندی فعال در صنایع غذایی. *مجله علوم و صنایع غذایی*: دوره ۱۰، شماره ۳۸؛ از صفحه ۴۹ تا صفحه ۶۸، ۱۳۹۲.
۱۳۴. حسینی، حبیبی، هاشمی، بلوریان و زمانزاده. ارزیابی فعالیت ضد میکروبی و قدرت رنگی کورکومین در ماکارونی. پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران ۷: ۲۰۱۱.
۱۳۵. محبی زهرا، همایونی راد عزیز، عزیزی محمدحسین، اصغری جعفرآبادی محمد، افشین پژوه رضا بررسی اثر پری بیوتیک های بتاکلوکان و نشاسته مقاوم به هضم بر ویژگی های رئولوژیکی خمیر، *مجله علوم و صنایع غذایی*، دوره ۱۳، شماره ۵۰؛ از صفحه ۱۸۳ تا صفحه ۱۹۳، ۱۳۹۵.
۱۳۶. طاهانزاد، برزگر، سحری و نقدی بادی. ارزیابی فعالیت ضد اکسایشی اسانس اسطوخودوس (حذرژدش سش دژد حزش خژحشچی) در سامانه روغن خام سویا. فصلنامه علمی پژوهشی گیاهان دارویی ۱: ۱۲۷-۱۴۰، ۲۰۱۲.
۱۳۷. همایونی راد ع. خواص سلامت بخش غذاهای فراسودمند، پروبیوتیک، پری بیوتیک و سین بیوتیک. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز، ۱۳۸۷.

۱۳۸. همایونی راد عزیز، امینی امیر، خداوردی وند کشتیبان عطا، محمدی منصوره، بهادری منفرد ایاد. بررسی اثر افزودن نشاسته مقاوم نوع دو بر خواص فیزیکیوشیمیایی، رئولوژیکی، حسی و پخت ماکارونی پری بیوتیک حاصل. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، دوره ۱۰، شماره ۱؛ از صفحه ۸۱ تا صفحه ۸۸، ۱۳۹۴.
۱۳۹. ابوالقاسمی فخری لیلا، قنبرزاده بابک، دهقان نیا جلال، انتظامی علی اکبر. بررسی تاثیر نانورس (مونت موریلونیت) بر ویژگی های نفوذپذیری به بخار آب، زاویه تماس و خواص حرارتی فیلم نانوکامپوزیتی بر پایه کربوکسی متیل سلولز- پلی وینیل الکل. پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۸، شماره ۴؛ از صفحه ۳۹۹ تا صفحه ۴۰۹، ۱۳۹۱.
۱۴۰. مجذوبی و فرحناکی. تکنولوژی اکستروژن در صنایع غذایی ایران. نشر علم کشاورزی ایران، ۱۳۸۶.
۱۴۱. محکمی و طلائی. بررسی مشخصات شیمیایی الیاف کربوکسی متیل دارشده از کاغذهای باطله با استفاده از روش های XRD و FTIR فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی ۷: ۱۳۶۱.
۱۴۲. میرزای، و محمدی. تکنولوژی بسته بندی فعال. مجله بسته بندی ۶: ۷۴-۶۹، ۱۳۸۹.
۱۴۳. نویدفامیلی، زاده م، فرجی سیف. تهیه فیلمهای سد نفوذ اکسیژن بر پایه پلی اتیلن سبک و سبک خطی. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر ۱۲: ۱۹۹۹.



**Final report (Title):**

**Extending shelf life of Synbiotics extruded snacks using proper packaging**

**Code: 2306**

**Name of Research Institute:**

**Food Science and Technology Research Institute**

**Research Department:**

**Food Processing**

**Principal Investigator:**

**Gholamali GoliMovahhed**

**Date: July 2019**