دانشکده کشاورزی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی علوم و صنایع غذایی- تکنولوژی مواد غذایی

بررسی خواص آنتی اکسیدانی کنستانتره آب انار و عصاره پودر قشر داخلی انار در سوسیس فرانکفورتر

به وسیله‌ی

مریم رفسنجانی فیروزی

استادان راهنما

دکتر مهرداد نیاکوثری

دکتر محمد هادی اسکندری

اسفند ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين أنعمت عليهم غير المغضوب عليهم ولا الضالين

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب مریم رفسنجانی فیروزی دانشجوی رشته ی علوم و صنایع غذایی گرایش تکنولوژی مواد غذایی دانشکده ی کشاورزی اظهارمی کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهارمی کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشرننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم .کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: مریم رفسنجانی

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۱/۸/۸

به نام خدا

بررسی خواص آنتی اکسیدانی کنستانتره آب انار و عصاره پودر قشر داخلی انار در سوسیس فرانکفورتر

به کوشش

مریم رفسنجانی فیروزی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی

علوم و صنایع غذایی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته ی پایان نامه، با درجه: **عالی**

دکتر مهرداد نیاکوثری، استادیار بخش علوم و صنایع غذایی (راهنما).....

دکتر محمد هادی اسکندری، استادیار بخش علوم و صنایع غذایی (راهنما).....

دکتر محمود امین لاری، استاد بخش علوم پایه دانشکده دامپزشکی(مشاور).....

دکتر حمیدرضا قیصری، دانشیار بخش بهداشت مواد غذایی دانشکده دامپزشکی (مشاور).....

اسفندماه ۹۰

تقدیم به

همسرم به صمیمیت باران

دخترم به طراوت شبنم

تقدیم به پدرم استوارترین پشتوانه زندگیم که همواره چتر محبتش برسرم بوده است.

تقدیم به مادرم دل انگیز ترین رایحه مهر، که دامان پر مهرش یگانه پناهم بوده است.

تقدیم به اساتید دلسوزم که عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند. تقدیم به خواهر، برادران و دوستان با صفا و بی ریایم که در هر مرحله مشوق و یاریگرم بودند.

سپاسگزاری

راز و رمز پویای علم و کشف معانی بدیع و تجلی جلوه های شهودی معرفت کیمیایی است که آسمان علم به برکت سیما و سیره ی نورانی نبی مکرم صلی الله علیه و آله و سلم، انسان دربند خاک را به معراج حضور می خواند و چه خرم علمی که از چشمه ی معارف سیراب شود و چه زیبا دانشی که قبای پرنیانش به عطر و بوی گلستان محمدی معطر شود و چه معماری باشکوهی، بنایی که سنگ هویت و فرهنگ آن ریشه درمدینه النبی بیابد.

سپاس از همسرم، از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت، امنیت ، آرامش و آسایش برای من فراهم آورده است، همدلی که با واژه های صبر و تلاش، آشنایی دارد و تلاش راستین را می شناسد و عطر رویایی آن را استشمام می کند و مرا در راه رسیدن به اهداف عالی یاری می رساند .

سپاس از پدر و مادرم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است.

سپاس از اساتید دانشمند و بزرگوارم آقای دکتر مهرداد نیاکوثری و آقای دکتر محمد هادی اسکندری که مظاهیر صادق بردباری و برادری اند. آنان که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته اند و من را در مقابل این همه عظمت و شکوه نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

سپاس از اساتید مشاور گرانقدرم آقای دکتر محمود امین لاری و آقای دکتر حمیدرضا قیصری که همیشه مدیون و مرهون همت عالمانه و ارشادات حکیمانه ایشان هستم و از محضر پرفیض تدریسشان بهره ها برده ام.

سپاس از اساتید محترم بخش علوم و صنایع غذایی، کارمندان محترم بخش و همه دوستانم در این دوره تحصیلی که دلسوزانه مرا یاری دادند.

چکیده

بررسی خواص آنتی اکسیدانی کنستانتره آب انار و عصاره پودر قشر داخلی انارد‌ر سوسیس فرانکفورتر

به کوشش
مریم رفسنجانی فیروزی

در این تحقیق اثر فرایندهای حرارتی مختلف بر ویژگیهای آنتی اکسیدانی، محتوای کل فنول و محتوای آنتوسیانین مواد آنتی اکسیدان طبیعی شامل عصاره انار سفید و عصاره انار قرمز مورد بررسی قرار گرفت و سپس اثر آنتی اکسیدانی نیترات و آنتی اکسیدان سنتزی BHT با این مواد آنتی اکسیدان طبیعی شامل کنستانتره آب انار سفید و قرمز و همچنین عصاره پودر قشر داخلی انار بطور جداگانه بر روی پارامترهای اکسیداتیو سوسیس فرانکفورتر شامل عدد TBA و عدد پراکسید، طی نگهداری در دمای ۴ درجه ی سانتیگراد به مدت ۶۰ روز بررسی گردید. هنمچنین در طول این مدت سایر پارامترها مانند رنگ نمونه های سوسیس تولید شده، pH و پایداری میکروبی اندازه گیری شد. بررسی اثر فرایندهای حرارتی در دماها و زمانهای مختلف نشان داد که هیچ کدام از فرایندهای حرارتی بر ویژگی آنتی اکسیدانی و محتوای کل فنول موجود در ترکیبات مذکور اثر کاهنده ای ندارند اما به طور معنی داری باعث کاهش میزان آنتوسیانین موجود در عصاره انار می گردند. اندازه گیری پارامترهای اکسیداسیون در نمونه های تولید شده سوسیس حاوی هر دو نوع آنتی اکسیدانهای سنتزی و طبیعی در مقایسه با نمونه کنترل که فاقد هر نوع آنتی اکسیدان بود، نشان دهنده اثر مثبت آنها در به تأخیر انداختن اکسیداسیون چربیهای نمونه های مذکور بود و بیشترین اثر آنتی اکسیدانی در نمونه های حاوی عصاره پودر قشر داخلی انار مشاهده گردید که محاسبه عدد TBARS و عدد پراکسید نمونه ها این موضوع را تأئید نمود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- چربیهای غذایی و اکسیداسیون آنها ۲
۱-۲-مکانیسم اکسیداسیون ۳
۱-۳-کاتالیزورها ۵
۱-۳-۱- فلزات ۵
۱-۳-۲- نور ۵
۱-۳-۳- حرارت ۵
۱-۳-۴- لیپوکسی ژناز ۶
۱-۳-۵- پروتئین های هم و پورفرین ها ۶
۱-۳-۶- اوزون ۶
۱-۳-۷- رادیکال های آزاد ۶
۱-۴- اکسیداسیون در گوشت ۶
۱-۵-جلوگیری از اتواکسیداسیون ۷
۱-۶-بازدارنده های اکسیداسیون ۸
۱-۶-۱- آنتی اکسیدان های سنتزی ۹
۱-۶-۱-۱- بوتیلیتد هیدروکسی انیزول(BHA) ۱۰
۱-۶-۱-۲- بوتیلیتد هیدروکسی تولوئن (BHT) ۱۰
۱-۶-۱-۳- اتوکسی کوئین ۱۱
۱-۶-۱-۴- گالات ها ۱۱
۱-۶-۱-۵- تریشری- بوتیل هیدروکوئینین (TBHQ) ۱۲
۱-۶-۲- آنتی اکسیدان های طبیعی ۱۲
۱-۶-۲-۱- اسکوربیک اسید ۱۳
۱-۶-۲-۲- کاروتنوئید ها ۱۴

عنوان **صفحه**

۱-۶-۲-۳- ترکیبات فنولی ۱۴
۱-۷- نقش آنتی اکسیدان ها در صنعت گوشت ۱۴
۱-۸- میوه انار ۱۷
۱-۸-۱- ترکیبات آب انار ۱۸
۱-۸-۲- پلی فنول ها و فیتوکمیکالهای موجود در آب انار ۱۹*
۱-۸-۳- ویژگی آنتی اکسیدانی انار ۲۱
۱-۸-۴- مقایسه ظرفیت آنتی اکسیدانی فراکسیون های مختلف آب انار ۲۲
۱-۸-۵- مقایسه ظرفیت آنتی اکسیدانی آب انار با سایر آبمیوه ها ۲۲
۱-۸-۶- خواص درمانی فلاوونوئیدها ۲۳
۱-۸-۷- فواید استفاده از آنتی اکسیدانهای طبیعی ۲۳
۱-۹-اهداف تحقیق ۲۴

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین ۲۶

فصل سوم: مواد و روش‌ها
۳-۱-مواد لازم ۳۱
۳-۲-وسایل مورد نیاز ۳۲
۳-۳-روش کار ۳۳
۳-۳-۱- تهیه مواد آنتی اکسیدان طبیعی ۳۳
۳-۳-۱-۱- تهیه آب انار ۳۳
۳-۳-۱-۲- تهیه کنستانتره آب انار ۳۳
۳-۳-۱-۳- تهیه عصاره پودر قشر داخلی انار ۳۳
۳-۳-۲- اندازه گیری پارامترهای شیمیایی ترکیبات انار ۳۳
۳-۳-۲-۱- تعیین محتوای کل آنتوسیانین ترکیبات انار ۳۳
۳-۳-۲-۲- تعیین محتوای کل فنول ترکیبات انار ۳۴
۳-۳-۲-۳- تعیین ظرفیت آنتی اکسیدانی ترکیبات انار ۳۴
۳-۳-۲-۴- بررسی اثر فرایندهای حرارتی مختلف بر ویژگیهای
آنتی اکسیدانی آب انار ۳۵
۳-۳-۳- تهیه سوسیس ۳۵
۳-۳-۴- تهیه ی محلول های شیمیایی مورد استفاده ۳۶

عنوان **صفحه**

۳-۳-۴-۱- محلول بافر KCl ۳۶
۳-۳-۴-۲- محلول بافر استات سدیم (CH_3COONa) ۳۶
۳-۳-۴-۳- محلول تری کلرواستیک (TCA) ۳۶
۳-۳-۴-۴- محلول BHT در هگزان ۳۷
۳-۳-۴-۵- محلول تیوباربیتوریک اسید (TBA) ۳۷
۳-۳-۴-۶- محلول کلرید آهن (Π) ۳۷
۳-۳-۴-۷- محلول تیوسیونات آمونیوم ۳۷
۳-۳-۴-۸- محلول سولفات آهن (Π) ۳۷
۳-۳-۵- روش نمونه برداری ۳۷
۳-۳-۶- تعیین میزان رطوبت ۳۸
۳-۳-۷- تعیین پروتئین ۳۸
۳-۳-۸- تعیین چربی تام ۳۸
۳-۳-۹- تعیین میزان خاکستر ۳۸
۳-۳-۱۰- تعیین pH ۳۸
۳-۳-۱۱- تعیین عدد پراکسید ۳۹
۳-۳-۱۲- تعیین عدد تیوباربیتوریک اسید ۳۹
۳-۳-۱۲-۱- روش تهیه محلول استاندارد ۴۰
۳-۳-۱۳- اندازه گیری رنگ ۴۱
۳-۳-۱۴- آزمونهای میکروبی ۴۱
۳-۳-۱۵- طرح آماری ۴۲

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- نتایج آزمایش‌های شیمیایی انجام شده روی سوسیس ۴۴
۴-۲- محتوای کل ترکیبات فنولی نمونه های آنتی اکسیدان مصرفی ۴۴
۴-۳- اثر فرایندهای حرارتی مختلف بر روی فعالیت آنتی اکسیدانی ۴۵
۴-۴- اثر فرایندهای حرارتی مختلف بر روی محتوای فنولیک ۴۸
۴-۵- اثر فرایندهای حرارتی مختلف بر روی میزان آنتوسیانین ۵۱
۴-۶- مقایسه اثر فرایندهای حرارتی بر روی ویژگیهای آب انار ۵۴
۴-۷- اندازه گیری pH ۵۶
۴-۸- اندیس پراکسید ۵۸

عنوان **صفحه**

۴-۹- اندیس تیو باربیتوریک اسید ۵۹
۴-۱۰- پایداری میکروبی نمونه‌های سوسیس تولید شده ۶۰
۴-۱۱- ارزیابی رنگ نمونه‌های تولید شده ۶۱

نتیجه گیری کلی ۶۸
پیشنهادات ۷۱

فهرست منابع و مأخذ ۷۲

پیوست ۷۸

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ فیتوکمیکال های موجود در آب انار ۲
جدول ۱-۲ مقایسه میزان پلی فنول در میوه های مختلف ۲۲
جدول۳-۱. درصد استفاده از مواد اولیه در تهیه سوسیس ۳۵
جدول ۴-۱- ترکیبات شیمیایی اصلی نمونه‌های سوسیس تولید شده (٪) ۴۴
جدول ۴-۲- محتوای کل فنول نمونه های آنتی اکسیدان مصرفی ۴۴
جدول ۴-۳- اثر فرایند حرارتی بر روی ویژگی آنتی اکسیدانی واریته سفیدرنگ انار ۴۵
جدول ۴-۴- اثر فرایند حرارتی بر روی ویژگی آنتی اکسیدانی واریته قرمز رنگ انار ۴۵
جدول ۴-۵- اثر فرایند حرارتی بر روی محتوای کل فنولیک واریته سفیدرنگ انار ۴۸
جدول ۴-۶- اثر فرایند حرارتی بر روی محتوای کل فنولیک واریته قرمزرنگ انار ۴۸
جدول ۴-۷- اثر فرایند حرارتی بر روی میزان آنتوسیانین واریته سفیدرنگ انار ۵۱
جدول ۴-۸- اثر فرایند حرارتی بر روی میزان آنتوسیانین واریته قرمزرنگ انار ۵۱
جدول ۴-۹- رنگ خمیر نمونه‌های سوسیس تولید شده ۶۲
جدول ۴-۱۰- تغییرات شاخص L^* در سطح داخلی نمونه‌های سوسیس
تولید شده طی نگهداری به مدت ۸ هفته در دمای ۴ درجه سانتیگراد ۶۵
جدول ۴-۱۱- تغییرات شاخص a^* برش داخلی نمونه‌های سوسیس
تولید شده طی نگهداری به مدت ۸ هفته در دمای ۴ درجه سانتیگراد ۶۵
جدول ۴-۱۲- تغییرات شاخص b^* برش داخلی نمونه‌های سوسیس
تولید شده طی نگهداری به مدت ۸ هفته در دمای ۴ درجه سانتیگراد ۶۶
جدول ۴-۱۳- تغییرات شاخص L^* در سطح بیرونی نمونه‌های سوسیس
تولید شده طی نگهداری به مدت ۸ هفته در دمای ۴ درجه سانتیگراد ۶۶
جدول ۴-۱۴- تغییرات شاخص a^* در سطح بیرونی نمونه‌های سوسیس
تولید شده طی نگهداری به مدت ۸ هفته در دمای ۴ درجه سانتیگراد ۶۷
جدول ۴-۱۵- تغییرات شاخص b^* در سطح بیرونی نمونه‌های سوسیس
تولید شده طی نگهداری به مدت ۸ هفته در دمای ۴ درجه سانتیگراد ۶۷

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۱ -۱. مراحل اکسیداسیون لیپید ها..... ۴
شکل-۱-۲. نقش کاتالیستی فلزات فعال در فرآیند اکسیداسیون ۵
شکل-۱-۳. پیشگیری از واکنش های اکسیداسیون لیپیدی ۷
شکل ۱-۴. مکانیسم عمل ترکیبات سولفوری و نیتروژنی در جلوگیری از اکسیداسیون..... ۹
شکل ۱-۵. ساختار ایزومری BHA ۱۰
شکل ۱-۶. ساختار BHT ۱۱
شکل ۱-۷. ساختار آلکیل گالات ها ۱۲
شکل ۱-۸. ساختار شیمیایی TBHQ ۲
شکل ۱-۹. ساختار شیمیایی اسکوربیک اسید و مشتقات آن ۱۳
شکل۴-۱- اثر فرایند حرارتی ۶۳ درجه بر ویژگی آنتی اکسیدانی انار..... ۴۶
شکل۴-۲- اثر فرایند حرارتی ۷۲ درجه بر ویژگی آنتی اکسیدانی انار. واریته..... ۴۶
شکل۴-۳ اثر فرایند حرارتی ۸۵ درجه بر ویژگی آنتی اکسیدانی انار. واریته
۱= سفید ، واریته ۲= قرمز. ۴۷
شکل۴-۴- اثر دمای جوش بر ویژگی آنتی اکسیدانی واریته های انار. واریته. ۴۷
شکل۴-۵- اثر فرایند حرارتی ۶۳ درجه بر محتوای فنولیک.. ..... ۴۹
شکل۴-۶- اثر فرایند حرارتی ۷۲ درجه بر محتوای فنولیک.. ..... ۴۹
شکل۴-۷- اثر فرایند حرارتی ۸۵ درجه بر محتوای فنولیک.. ..... ۵۰
شکل۴-۸- اثر دمای جوش بر محتوای فنولیک.. ..... ۵۰
شکل۴-۹- اثر فرایند حرارتی ۶۳ درجه بر میزان آنتوسیانین.. ..... ۵۲
شکل۴-۱۰- اثر فرایند حرارتی ۷۲ درجه بر میزان آنتوسیانین. ۵۲
شکل۴-۱۱- اثر فرایند حرارتی ۸۵ درجه بر میزان آنتوسیانین. ۵۳
شکل۴-۱۲- اثر دمای جوش بر میزان آنتوسیانین. ۵۳
شکل۴-۱۳- مقایسه اثر فرایندهای حرارتی مختلف بر فعالیت آنتی اکسیدانی آب انار. ۵۴

عنوان **صفحه**

شکل۴-۱۴- مقایسه اثر فرایندهای حرارتی مختلف بر محتوای کل فنولیک آب انار. ۵۵
شکل۴-۱۵- مقایسه اثر فرایندهای حرارتی مختلف بر میزان آنتوسیانین آب انار. ۵۵
شکل ۴-۱۶- مقایسه pH خمیر سوسیس و نمونه سوسیس بعد از پخت. ۵۷
شکل ۴-۱۷- مقایسه pH نمونه های سوسیس بعد از پخت طی نگهداری
در ۴ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ روز. ۵۷
شکل ۴-۱۸- مقایسه تولید هیدروپرکسید در نمونه های سوسیس ت
ولید شده طی نگهداری در ۴ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ روز. ۵۸
شکل ۴-۱۹- مقایسه میزان مالون دی آلدهید در نمونه های سوسیس
تولید شده طی نگهداری در ۴ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ روز ۶۰
شکل ۴-۲۰- مقایسه پایداری میکروبی در نمونه های سوسیس تولید شده. ۶۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ چربیهای غذایی و اکسیداسیون آنها

بیشتر چربی هایی که در مواد غذایی وجود دارند تقریبا به صورت تری گلیسرید می باشند و یک منبع مناسب برای اکسیداسیون و طعم نامطلوب به حساب می آیند. واکنش های خود به خودی اکسیژن اتمسفری با لیپید ها به عنوان اتواکسیداسیون شناخته می شود و یک فرآیند مهم و معمول برای فساد اکسیداسیون است. اسید های چرب پتانسیل تخریب به وسیله این فرآیند را دارند چه به صورت اسید چرب آزاد و یا به صورت تری گلیسرید و یا فسفولیپید وجود داشته باشند. زمانی که نور و حساس کننده از قبیل کلروفیل وجود داشته باشد اکسیژن اتمسفری را به اکسیژن یگانه تبدیل می کنند که نقش مهمی در شروع اکسیداسیون دارد. فلزاتی از قبیل آهن، مس و آنزیم هایی از جمله لیپوکسی ژناز نقش مهمی در این فرآیند دارند. (Noguchi et al., 1999)

رادیکال های آزادی که از تجزیه هیدرو پراکسیدها ایجاد می شوند، بر روی آنزیم ها و DNA تاثیر گذار هستند و باعث سرطان زایی می شوند. این ترکیبات در بی رنگ شدن مواد غذایی نیز مؤثرند که به دلیل واکنش رنگدانه ها به ویژه کاروتنوئیدها با رادیکال های آزاد و مواد حد واسطی است که در طی اکسیداسیون تشکیل شده اند، هم چنین باعث کاهش ارزش تغذیه ای مواد غذایی از جمله ویتامین ها مانند ویتامین E می شوند که در مواد غذایی نقش آنتی اکسیدانی دارد.[1]

رادیکال های آلکوکسی به وسیله تجزیه هیدروپراکسید ها ایجاد می شوند و سپس خود تجزیه شده و هیدروکربن های فرار، الکل ها و آلدهید ها را آزاد می کنند. آلدهید های فرار به خاطر شرکت در آرومای روغن های اکسید شده مهم هستند و هگزانال از جمله ترکیباتی است که معمولا در محصولات ثانویه ی اکسیداسیون وجود دارد(Pokorny, 1999).

با توجه به آثار نامطلوبی که اکسیداسیون چربی ها در مواد غذایی دارد پیشگیری از آن ضروری به نظر می رسد.

[1] Initiation period

۱-۲- مکانیسم اکسیداسیون

واکنش های اتواکسیداسیون خود به خودی یک دوره ی مقدماتی را نشان می دهند که در طول این دوره تغییرات کمی در لیپید ها حاصل می شود. بعد از این مرحله اکسیداسیون شتاب می گیرد و در انتهای این دوره، طعم های نامطلوب به راحتی قابل تشخیص می باشند که آستانه ی چشایی بسیار پایینی دارند.

فرآیند اکسیداسیون لیپید ها به طور کلی به سه مرحله تقسیم می شود (شکل ۱-۱).

مرحله ی اول مرحله ی آغازی[1] نام دارد که در این مرحله رادیکال های آزاد شکل می گیرند و این واکنش خود به خودی و در بسیاری از سیستم های بیولوژیکی و غذایی معمول می باشد. وجود کاتالیست برای تبادل الکترون بین مولکول لیپیدی و اکسیژن لازم می باشد بنابراین هیچ واکنش مستقیمی بین اکسیژن و مولکول لیپیدی صورت نمی گیرد. برای کنترل فرآیند اکسیداسیون کنترل این مرحله ضروری به نظر می رسد هر چند که تشخیص این مرحله به چند دلیل مشکل می باشد:

۱- زمانی که ربایش هیدروژن رخ می دهد هیچ گونه تغییری در لیپید ها صورت نمی گیرد.

۲- روش های استاندارد اندازه گیری به اندازه ی کافی حساس نمی باشند و نمی توانند مقادیر کافی محصولات این مرحله را تعیین کنند.

۳- اگر حلقوی شدن پیش از ربایش هیدروژن صورت گیرد و هیدروپراکسید ها تشکیل شوند با روش معمول اندازه گیری پراکسید نمی توان مقادیر این محصولات را تعیین کرد.

۴- هیدروپراکسید ها سریعتر از آن چه شکل می گیرند شکسته می شوند.

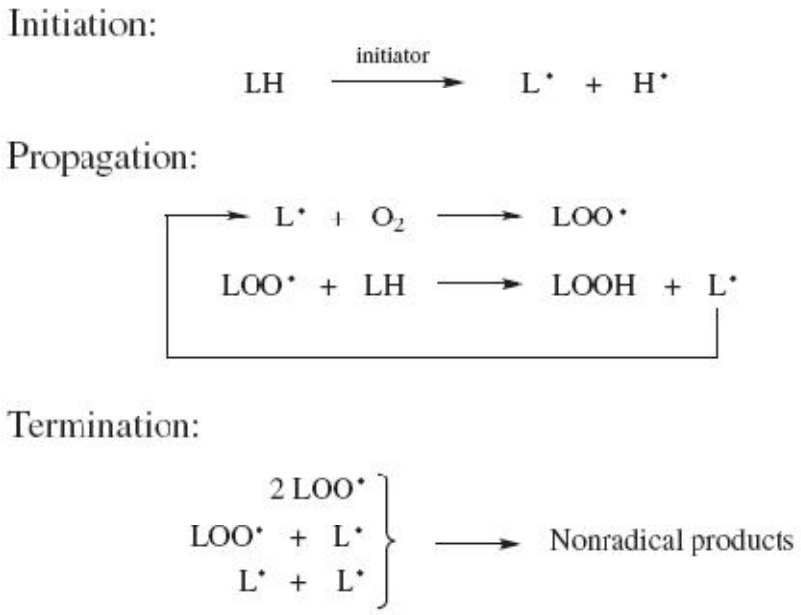
در مرحله دوم یا مرحله ی پیشرفت[1] اتم هیدروژن از مولکول لیپید جدا شده و یا اکسیژن به رادیکال آلکیل اضافه می شود. آنتالپی این واکنش در مقایسه با آنتالپی واکنش مرحله ی آغازی پایین است بنابراین سرعت رخ دادن این واکنش ها بیشتر از واکنش های آغازی می باشد. در فشار نرمال اتمسفری اکسیژن، واکنش رادیکال آلکیل با اکسیژن سریع است و میزان رادیکال های پروکسی تشکیل شده بیشتر از رادیکال های آلکیل موجود است.

رادیکال های آزاد مراحل قبل سبب ربایش هیدروژن می شوند و این مرحله را به پیش می برند. این مرحله از واکنش های متعددی تشکیل شده که جزئیات آن ها هنوز به درستی مشخص نشده است.

رادیکال های پروکسی با حمله به مولکول لیپیدی سبب جداسازی اتم هیدروژن می شوند. زمانی که جداسازی اتم هیدروژن مقدور نباشد بازآرایی و حلقوی شدن با اشتراک الکترون با باند دوگانه ی پایینی صورت می گیرد. اضافه شدن به باند دوگانه در شرایط خیلی خاص رخ

[1] Propagation period

می دهد و معمولا زمانی است که ربایش اتم هیدروژن مقدور نباشد. این شرایط معمـولا شـامل دمای پایین و حلال های بی پروتون می باشد.



شکل۱ -۱. مراحل اکسیداسیون لیپید ها(Schaich, 2005).

مرحله آخر یا مرحله ی پایانی[1] مرحله ای است که رادیکال های آزاد با هم ترکیب می شوند و مولکول هایی را ایجاد می کنند که از لحاظ الکترونـی کامـل و پـر مـی باشـند و تمـایلی بـه واکنش ندارند.

رادیکال های آلکوکسی که به وسیله ی تجزیه شدن هیدروپراکسید ها شکل می گیرند، پس از تجزیه، هیدروکربن های فرار، الکل ها یا آلدهید ها را آزاد می کنند. البته حضور پروکسـیدان ها و آنتی اکسیدان ها در این فاز هم می تواند تاثیر گذار باشد.

در این مرحله است که فرآیند اکسیداسیون به پایان می رسد و رادیکال های آزاد می توانند با چهار مکانیسم محصولات غیر رادیکالی یعنی آلدهیدهای فرار را ایجاد کنند:

۱- رادیکال های نوترکیب

۲- واکنش های تقسیمی زمانی که منبع هیدروژن وجود داشته باشد برای تولید محصـولات پایدار

۳- اکسید شدن خود مولکول ها

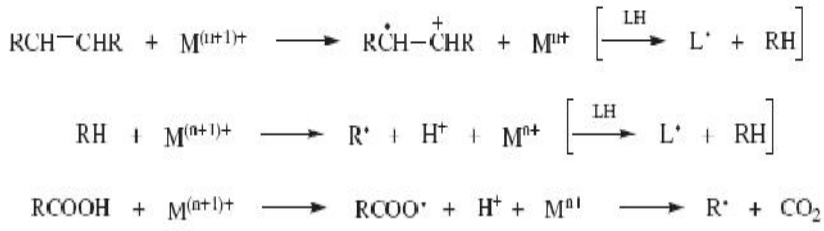
۴- حذف شدن (Schaich, 2005).

[1] Termination period

۱-۳- کاتالیزورها

۱-۳-۱- فلزات

فلزات فعال مهمترین آغاز کننده در فرآیند اکسیداسیونی لیپید ها می باشند زیرا در شکل های زیادی فعال می باشند و در غلظت های بسیار پایین (بسیار کمتر از میکرومولار) این واکنش ها را تحت تاثیر خود قرار می دهند. تنها فلزاتی که یک الکترون را انتقال می دهند می توانند به عنوان کاتالیست فعال باشند مانند: آهن، کبالت، مس، منگنز، منیزیوم و وانادیوم (شکل ۱-۲). فلزاتی مانند قلع که با انتقال دو الکترون اکسیده می شوند در این زمینه غیر فعال می باشند.



شکل-۱-۲. نقش کاتالیستی فلزات فعال در فرآیند اکسیداسیون (Yanishlieva , 2001).

این مکانیسم و سرعت آن به عوامل زیادی بستگی دارد از جمله: حضور اکسیژن، حلال، وجود پراکسید های اولیه، نوع فلز و کمپلکس آن.

۱-۳-۲- نور

نور ماورابنفش در طول موج کمتر از ۲۰۰ نانومتر سبب تخریب لیپید ها می شود و نور های مرئی با تأثیر بر روی حساس کننده ها سبب آسیب به لیپید ها می شوند.

۱-۳-۳- حرارت

حرارت انرژی کافی برای شکستن پیوند های کوولانسی کربن- کربن و کربن- هیدروژن را تامین می کند و رادیکال های لپیدی آلکیلی فراوانی را تشکیل می دهد. سپس رادیکال های زنجیره ای اکسیداسیونی شروع می شود. به ازای افزایش هر ۱۰ درجه ی سانتی گراد واکنش های اکسیداسیونی دو برابر می شود.