

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

دانشکده صنایع غذایی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc) در  
رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی

## پیش‌بینی پایداری اکسایشی مغز گردو با استفاده از آزمون تسریع یافته

پژوهش و نگارش

حامد حسینی

استاد راهنما

دکتر محمد قربانی

اساتید مشاور

دکتر علیرضا صادقی ماهونک

دکتر یحیی مقصودلو

دی ۱۳۹۰



### تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱) قبل از چاپ پایان‌نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان‌نامه رساله باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب حامد حسینی دانشجوی رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی - گرایش شیمی مواد غذایی مقطع کارشناسی ارشد تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آنرا قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.



تقدیم به:

شهدای دفاع مقدس

و

پدر

مادر

برادر

و

خواهر عزیزم





## تقدیر و تشکر

حمد و سپاس بیکران خداوندی را که یاریم گردانید تا با بهره از گستره بی‌انتهای لطفش گذر از مرحله دیگر از زندگانیم را تجربه نمایم.

از استاد محترم راهنما جناب آقای دکتر محمد قربانی به خاطر حمایت و راهنمایی بی‌دریغ ایشان در تمامی مراحل انجام پایان‌نامه، خالصانه تشکر نموده و موفقیت این استاد فرهیخته را در تمامی عرصه‌ها از خداوند منان خواستارم.

کمال تشکر و سپاسگزاری خود را از جناب آقای دکتر علیرضا صادقی‌ماهونک و جناب آقای دکتر یحیی مقصودلو که با راهنمایی‌های ارزنده خود به ارتقای کیفیت علمی این پایان‌نامه کمک نمودند، اعلام می‌دارم. از جناب آقای دکتر سیدمهدی جعفری و جناب آقای دکتر حبیب‌الله میرزایی که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و در طول تحصیل افتخار شاگردی این دو استاد فرزانه را بدست آوردم، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر مهدی علیزاده که با نظرات شایسته خود مرا در تکمیل پایان‌نامه یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

کمال تشکر و سپاسگزاری خود را از جناب آقای دکتر مهدی کاشانی‌نژاد که در زمینه تحلیل آماری پایان‌نامه افتخار بهره‌مندی از تجربیات علمی ارزنده ایشان را یافتم، اعلام می‌دارم. از سرکار خانم گرائیلی و سرکار خانم اسلامی به خاطر زحمات بی‌دریغشان در دانشکده صنایع غذایی تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از خانم سمانه ممشلو، خانم ویدا مردانی، آقای محمدرضا ساری و تمامی دوستانی که مرا در اجرای هر چه بهتر این پایان‌نامه یاری نمودند، تشکر و سپاسگزاری نمایم.

## چکیده

محصولات غذایی در طول زمان به‌طور ذاتی فاسد و خراب می‌شوند. اکسایش چربی به‌عنوان مهمترین عامل فساد محسوب می‌شود. در این پژوهش سعی شد با بررسی برخی از شاخص‌های اکسایش شامل عدد پراکسید، عدد دی و تری‌ان‌مزدوج و شاخص اسید تیوباربیتوریک در گردو طی نگهداری طبیعی و تسریع‌یافته (۶۲، ۷۲ و ۸۲ درجه سانتی‌گراد) پایداری اکسایشی گردو پیش‌بینی شود. در شرایط نگهداری طبیعی از اشکال مختلف گردو جهت تعیین میزان تاثیر شرایط مختلف نگهداری بر پایداری اکسایشی گردو استفاده شد. علاوه بر این گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در شرایط تسریع‌یافته قرار گرفتند و با استفاده از یک معادله درجه اول پایداری اکسایشی این دو نمونه در شرایط واقعی پیش‌بینی شد. زمان رسیدن به عدد پراکسید ۲ میلی‌اکی‌والان پراکسید بر کیلوگرم به‌عنوان مقاومت اکسایشی گردو در شرایط مختلف در نظر گرفته شد. در شرایط نگهداری طبیعی بیشترین عدد پراکسید (۳/۵۲۶ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) برای مغز گردو خرد شده بعد از ۱۱ ماه نگهداری و کمترین عدد پراکسید (۱/۰۱۹ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) برای گردو کامل بعد از ۱۲ ماه نگهداری در ۴ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. تفاوت معنی‌داری بین عدد پراکسید گردو کامل و مغزهای گردو بسته‌بندی شده مشاهده نشد. در شرایط نگهداری تسریع‌یافته اثر دما، وجود پوسته و اثر متقابل این دو بر پایداری اکسایشی گردو کامل و مغز گردو معنی‌دار شد. بیشترین پایداری (۸ روز) برای گردو کامل نگهداری شده در ۶۲ درجه سانتی‌گراد و کمترین پایداری (۲ روز) برای مغز گردو در ۸۲ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. وابستگی دمایی سرعت اکسایش در گردو و مغز گردو توسط معادله سینتیک آرنیوس با ضریب همبستگی مناسبی (۰/۹۴ تا ۱) شبیه‌سازی شد. بیشترین و کمترین انرژی فعال‌سازی به‌ترتیب برای تشکیل هیدروپراکسیدها (۷۹/۵۷ کیلوژول بر مول درجه کلونین) و تشکیل مالون آلدئید (۳۵/۶۷ کیلوژول بر مول درجه کلونین) حاصل شد. علاوه بر این عدد پراکسید و عدد دی و تری‌ان‌مزدوج توانستند پایداری اکسایشی گردو کامل و مغز گردو را با تقریب مناسبی پیش‌بینی کنند.

**واژه‌های کلیدی:** گردو، پایداری اکسایشی، آزمون تسریع‌یافته، عدد پراکسید، عدد دی‌ان‌مزدوج.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه و کلیات.....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- کلیات.....
۳	۱-۲-۱- مکانیسم‌های فساد مواد غذایی.....
۳	۱-۲-۱-۱- بی‌ثباتی فیزیکی.....
۴	۲-۱-۲-۱- فساد میکروبی.....
۵	۳-۱-۲-۱- فساد شیمیایی.....
۵	۲-۲-۱- مکانیسم واکنش‌های اکسایش چربی‌ها.....
۷	۳-۲-۱- روش‌های اندازه‌گیری اکسایش در روغن یا ماده غذایی.....
۷	۱-۳-۲-۱- عدد پراکسید.....
۸	۲-۳-۲-۱- تعیین مقدار جذب فرابنفش در روغن‌های خوراکی.....
۸	۳-۳-۲-۱- عدد اسید تیوباریتوریک.....
۹	۴-۳-۲-۱- عدد اسیدی و اسیدیته.....
۱۰	۴-۲-۱- مفهوم عمر ماندگاری.....
۱۰	۵-۲-۱- آزمون عمر ماندگاری تسریع یافته.....
۱۱	۱-۵-۲-۱- محدودیت‌های آزمون عمر ماندگاری تسریع یافته.....
۱۲	۲-۵-۲-۱- اصول اساسی آزمون عمر ماندگاری تسریع یافته.....
۱۲	۱-۲-۵-۲-۱- فرضیه سرعت اولیه.....
۱۳	۲-۲-۵-۲-۱- فرضیه مدل سینتیک.....
۱۶	۶-۲-۱- پیش‌بینی عمر ماندگاری مواد غذایی در دمای انجماد آن‌ها.....
۱۶	۷-۲-۱- تعیین نقطه پایان عمر ماندگاری.....
۱۷	فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته.....
۱۸	۱-۲- ترکیب شیمیایی گردو.....

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۲- مرور مطالعات در زمینه روش‌های بررسی اکسایش روغن‌ها.....	۲۰
۳-۲- مطالعات در زمینه عمر ماندگاری طی نگهداری در شرایط واقعی.....	۲۲
۴-۲- پیش‌بینی عمر ماندگاری مواد غذایی.....	۲۴
۵-۲- ضرورت انجام تحقیق.....	۳۰
۶-۲- هدف تحقیق.....	۳۰
۷-۲- فرضیه‌های انجام تحقیق.....	۳۰
فصل سوم: مواد و روش‌ها.....	۳۱
۱-۳- مواد و تجهیزات مورد استفاده.....	۳۲
۱-۱-۳- گردو.....	۳۲
۲-۱-۳- مواد شیمیایی.....	۳۲
۳-۱-۳- تجهیزات آزمایشگاهی.....	۳۳
۲-۳- انجام آزمون‌های اولیه بر روی گردو.....	۳۳
۳-۳- آماده‌سازی گردو برای نگهداری در شرایط متفاوت.....	۳۴
۱-۳-۳- آماده‌سازی نمونه‌های مربوط به شرایط نگهداری واقعی.....	۳۴
۲-۳-۳- آماده‌سازی نمونه‌های مربوط به شرایط نگهداری تسریع یافته.....	۳۶
۴-۳- استخراج روغن.....	۳۶
۵-۳- آزمون‌های انجام گرفته بر روی روغن گردو.....	۳۷
۱-۵-۳- ضریب شکست.....	۳۷
۲-۵-۳- اندازه‌گیری اسیدیته.....	۳۷
۳-۵-۳- اندازه‌گیری عدد پراکسید.....	۳۸
۴-۵-۳- اندازه‌گیری عدد اسید تیو باریتوریک.....	۳۹
۵-۵-۳- اندازه‌گیری جذب فرابنفش (عدد دی و تری‌ان‌مزدوج).....	۴۰
۶-۳- تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به شرایط نگهداری تسریع یافته.....	۴۰

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴۲	۷-۳- تجزیه و تحلیل آماری.....
۴۳	فصل چهارم: نتایج و بحث.....
۴۴	۱-۴- ترکیبات دانه.....
۴۶	۲-۴- تغییرات دما و رطوبت نسبی محیط نگهداری و رطوبت گردو طی نگهداری.....
۴۸	۳-۴- اثر شرایط نگهداری بر پایداری اکسایشی گردو در طی دوره نگهداری یکساله.....
۴۹	۱-۳-۴- پایداری اکسایشی شکل‌ها مختلف گردو در طی نگهداری یکساله.....
۵۶	۲-۳-۴- مقایسه پایداری اکسایشی شکل‌ها مختلف گردو در طی نگهداری یکساله.....
۶۳	۴-۴- نتایج آزمون تسریع‌یافته در تخمین پایداری اکسایشی گردو و مغز گردو.....
۶۳	۱-۴-۴- پایداری اکسایشی گردو کامل و مغز گردو دو نیم در طی نگهداری تسریع‌یافته.....
۷۶	۲-۴-۴- تغییرات ضریب شکست روغن گردو در طی نگهداری تسریع‌یافته.....
	۳-۴-۴- پیش‌بینی پایداری اکسایشی گردو کامل و مغز گردو دو نیم در شرایط طبیعی
۸۰	و مقایسه با شرایط نگهداری واقعی.....
۸۷	فصل پنجم: نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها.....
۸۸	۱-۵- نتیجه‌گیری کلی.....
۹۰	۲-۵- پیشنهادها.....
۹۰	۱-۲-۵- پیشنهادهای پژوهشی.....
۹۰	۲-۳-۵- پیشنهادهای اجرایی.....
۹۲	منابع.....

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: مکانیسم‌های مختلف فساد و متغیرهای بحرانی در مواد غذایی گوناگون .....	۴
جدول ۲-۱: مراحل اکسایش روغن و چربی‌های خوراکی .....	۶
جدول ۱-۳: مشخصات مواد مورد استفاده در پژوهش .....	۳۱
جدول ۲-۳: مشخصات لوازم و دستگاه‌های مورد استفاده .....	۳۳
جدول ۱-۴: برخی مشخصات شیمیائی و فیزیکی گردو .....	۴۴
جدول ۲-۴: برخی شاخص‌های شیمیائی روغن استخراج شده از گردو تازه .....	۴۴
جدول ۳-۴: میانگین تغییرات ماهانه دمای محیط در طی دوره یکساله نگهداری گردو، مغز، مغز خرد و مغز بسته‌بندی .....	۴۶
جدول ۴-۴: تغییرات درصد رطوبت نمونه‌ها و مشخصات تجزیه و تحلیل آماری مربوطه در طی دوره نگهداری .....	۴۷
جدول ۵-۴: تغییرات شاخص‌های شیمیائی گردو کامل، مغز گردو دو نیم شده و مغز گردو خرد شده به ۸ قسمت تقریباً مساوی در طی دوره نگهداری یکساله در شرایط محیطی .....	۵۰
جدول ۶-۴: تغییرات شاخص‌های شیمیائی مغز گردو دو نیم بسته‌بندی شده در طی نگهداری در شرایط محیطی ....	۵۳
جدول ۷-۴: تغییرات شاخص‌های شیمیائی گردو و مغز گردو دو نیم نگهداری شده در یخچال (۴°C) طی دوره یکساله .....	۵۶
جدول ۸-۴: مقایسه میانگین عدد پراکسید (میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن گردو) برای شکل‌های مختلف گردو در طی دوره یکساله نگهداری .....	۵۷
جدول ۹-۴: مقایسه میانگین عدد دی‌ان‌مزدوج (میکرو مول بر گرم روغن گردو) برای شکل‌های مختلف گردو در طی دوره یکساله نگهداری .....	۵۸
جدول ۱۰-۴: مقایسه میانگین عدد تری‌ان‌مزدوج (میکرو مول بر گرم روغن گردو) برای شکل‌های مختلف گردو در طی دوره یکساله نگهداری .....	۶۰
جدول ۱۱-۴: مقایسه میانگین شاخص مواد واکنش‌دهنده با اسید تیوباربیتریک برای شکل‌های مختلف گردو در طی دوره یکساله نگهداری .....	۶۱
جدول ۱۲-۴: مقایسه میانگین درصد اسیدهای چرب آزاد بر حسب اسید لینولئیک برای شکل‌های مختلف گردو در طی دوره یکساله نگهداری .....	۶۲
جدول ۱۳-۴: اثر دما بر مدت زمان مقاومت اکسایشی روغن استخراج شده از گردو و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در شرایط تسریع‌یافته .....	۶۴

## فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

- جدول ۴-۱۴: اثر وجود پوسته گردو بر مدت زمان مقاومت اکسایشی روغن استخراج شده از گردو و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در شرایط تسریع یافته..... ۶۵
- جدول ۴-۱۵: اثر متقابل دما و وجود پوسته گردو بر مدت زمان مقاومت اکسایشی روغن استخراج شده از گردو و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در شرایط تسریع یافته..... ۶۵
- جدول ۴-۱۶: مشخصات هیدروپراکسیدهای تشکیل یافته در طی اکسایش روغن استخراج شده از گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در دماهای متفاوت..... ۶۷
- جدول ۴-۱۷: مشخصات دی‌ان‌های مزدوج تشکیل یافته در طی اکسایش روغن استخراج شده از گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در دماهای متفاوت..... ۶۹
- جدول ۴-۱۸: تجزیه و تحلیل همبستگی خطی بین عدد دی‌ان مزدوج (میکرو مول بر گرم) و عدد پراکسید (میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) در گردو و مغز گردو دو نیم طی نگهداری در دماهای متفاوت..... ۷۱
- جدول ۴-۱۹: مشخصات تری‌ان‌های مزدوج تشکیل یافته در طی اکسایش روغن استخراج شده از گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در دماهای متفاوت..... ۷۲
- جدول ۴-۲۰: مشخصات مالون آلدهید تشکیل یافته در طی اکسایش روغن استخراج شده از گردو و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در دماهای متفاوت..... ۷۴
- جدول ۴-۲۱: معادله عمر ماندگاری آرنیوسی،  $Q_{10}$ ، انرژی فعال‌سازی و ضریب همبستگی محصولات حاصل از اکسایش روغن گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در شرایط تسریع یافته..... ۸۱
- جدول ۴-۲۲: ثابت سرعت پیش‌بینی شده توسط معادله عمر ماندگاری آرنیوسی برای تشکیل محصولات حاصل از اکسایش روغن گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در طی نگهداری در شرایط واقعی..... ۸۳
- جدول ۴-۲۳: مدت زمان پیش‌بینی شده توسط معادله عمر ماندگاری آرنیوسی برای محصولات تشکیل شده در طی اکسایش روغن استخراج شده از گردو و مغز نگهداری شده در شرایط طبیعی..... ۸۴

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۴-۱: عدد پراکسید (میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن گردو) گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در طی اکسایش روغن آنها در سه دمای ۶۲، ۷۲ و ۸۲ درجه سانتی‌گراد.....	۶۷
شکل ۴-۲: عدد دی‌ان مزدوج (میکرو مول بر گرم روغن گردو) گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در طی اکسایش روغن آنها در سه دمای ۶۲، ۷۲ و ۸۲ درجه سانتی‌گراد.....	۶۹
شکل ۴-۳: همبستگی خطی بین عدد دی‌ان مزدوج (میکرو مول بر گرم) و عدد پراکسید (میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) برای روغن حاصل از گردو و مغز گردو دو نیم شده طی نگهداری در دماهای متفاوت.....	۷۰
شکل ۴-۴: عدد تری‌ان مزدوج (میکرو مول بر گرم روغن گردو) گردو کامل و مغز گردو دو نیم شده در طی اکسایش روغن آنها در سه دمای ۶۲، ۷۲ و ۸۲ درجه سانتی‌گراد.....	۷۲
شکل ۴-۵: شاخص مواد واکنش‌دهنده با اسید تیوباریتوریک مربوط به گردو و مغز گردو دو نیم شده در طی اکسایش روغن در سه دمای ۶۲، ۷۲ و ۸۲ درجه سانتی‌گراد.....	۷۴
شکل ۴-۶: نمودار تغییرات ضریب شکست روغن حاصل از گردو کامل در طی مدت نگهداری در دمای ۶۲ درجه سانتی‌گراد.....	۷۷
شکل ۴-۷: نمودار تغییرات ضریب شکست روغن حاصل از مغز گردو دو نیم شده در طی مدت نگهداری در دمای ۶۲ درجه سانتی‌گراد.....	۷۷
شکل ۴-۸: نمودار تغییرات ضریب شکست روغن حاصل از گردو کامل در طی مدت نگهداری در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد.....	۷۸
شکل ۴-۹: نمودار تغییرات ضریب شکست روغن حاصل از مغز گردو دو نیم شده در طی مدت نگهداری در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد.....	۷۸
شکل ۴-۱۰: نمودار تغییرات ضریب شکست روغن حاصل از گردو کامل در طی مدت نگهداری در دمای ۸۲ درجه سانتی‌گراد.....	۷۹
شکل ۴-۱۱: نمودار تغییرات ضریب شکست روغن حاصل از مغز گردو دو نیم شده در طی مدت نگهداری در دمای ۸۲ درجه سانتی‌گراد.....	۷۹
شکل ۴-۱۲: منحنی آرنیوس ثابت سرعت اکسایش روغن حاصل از مغز گردو دو نیم شده در مقابل عکس دمای مطلق برای عدد پراکسید و شاخص مواد واکنش‌دهنده با اسید تیوباریتوریک.....	۸۰



فصل اول

مقدمه و کلیات

## ۱-۱- مقدمه

تولید و مصرف آجیل‌ها در حوزه دریای مدیترانه رواج زیادی دارد. کشت و مصرف گردو به طور گسترده در سرتاسر جهان پراکنده شده است (بلام هوف<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ دیویس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). گردو گیاهی از خانواده جوگلانداسه<sup>۳</sup> و جنس جوگلانس<sup>۴</sup> است. این جنس دارای ۲۱ گونه می‌باشد که همگی خزان‌دار و دارای میوه خوراکی هستند. برخی از این گونه‌ها از نظر چوب نیز با ارزش می‌باشند. مهم‌ترین گونه از نظر میوه گردوی ایرانی (*Juglans regia*) است. به طور کلی درخت گردو خواهان آب و هوای مدیترانه‌ای است. نیاز سرمایی این گیاه ۶۰۰ تا ۸۰۰ ساعت بین ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد در طی پاییز و زمستان می‌باشد. گردوی ایرانی در آمریکای شمالی، مرکزی و جنوبی، اروپا، آسیا و مقدار کمی در آفریقای شمالی و اقیانوسیه به عمل می‌آید. تولید جهانی گردو طبق آمار فائو، بین ۷۰۰۰۰۰ و ۸۰۰۰۰۰ تن در سال برآورد می‌شود. به‌طور کلی مغز گردو حاوی حدود ۶۰ درصد روغن می‌باشد که این مقدار بسته به واریته، مکان رشد و سرعت آبیاری بین ۵۲ تا ۷۰ درصد تغییر می‌کند.

در ایران تمرکز کشت و کار این محصول در نواحی شمال غرب، غرب و شمال کشور می‌باشد. بر طبق گزارش آمارنامه کشاورزی در سال ۱۳۸۷ سطح زیرکشت این محصول از ۲۶۲۷ هکتار در سال ۱۳۶۰ به بیش از ۲۱۳ هزار هکتار در سال ۱۳۸۷ رسیده است که بیش از ۸۱ برابر افزایش داشته است. میزان تولید این محصول در سال ۱۳۶۰ به مقدار ۱۲۵۴۰ تن بوده در حالیکه در سال ۱۳۸۷ به بیش از ۳۷۹ هزار تن بالغ گردیده است که بیش از ۳۰ برابر افزایش یافته است. البته طبق آمار موجود عملکرد در واحد سطح در سال ۱۳۶۰ برابر ۵۴۹۸ کیلوگرم در هکتار بوده که در سال ۱۳۸۷ به ۲۴۳۴ کیلوگرم در هکتار رسیده است. همچنین وزارت جهاد کشاورزی حداکثر سطح زیر کشت را در استان کرمان و حداکثر میزان تولید را در استان همدان گزارش کرده است (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۳۸۷).

ترکیبات اصلی روغن گردو به‌ترتیب تری‌آسیل گلیسرول‌ها، اسیدهای چرب آزاد، دی‌آسیل گلیسرول‌ها، منوآسیل گلیسرول‌ها، استرول‌ها، استرهای استرول و فسفولیپیدها می‌باشند. روغن گردو به‌علت محتوای بالای اسیدهای چرب چند غیراشباعی برای استفاده در پخت و پز مناسب نیست، اما یک

- 
1. Blomhoff
  2. Davis
  3. Juglandaceae
  4. *Juglans*

ترکیب عالی برای کاربرد در انواع نان، کلوچه، شیرینی و بیسکوئیت‌ها می‌باشد (ساویج<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۹). گزارش شده که مصرف منظم گردو باعث کاهش بیماری‌های قلبی و عروقی می‌شود. فواید سلامتی گردو معمولاً به ترکیب شیمیایی آن مربوط می‌شود. گردو منبع خوبی از اسیدهای چرب و توکوفرول‌ها می‌باشد. از نظر درصد اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده روغن گردو، لینولئیک اسید بیشترین اسید چرب غیراشباع و پالمیتیک اسید بیشترین اسید چرب اشباع می‌باشد (ساویج و همکاران، ۱۹۹۹؛ آمارال<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۳).

## ۲-۱- کلیات

### ۱-۲-۱- مکانیسم‌های فساد مواد غذایی

تمام محصولات غذایی ترکیبی از مواد خام بیولوژیک هستند. محصولات بیولوژیکی در طول زمان به‌طور ذاتی فاسد و خراب می‌شوند. سه گروه اصلی فساد در مواد غذایی فساد فیزیکی، میکروبی و شیمیایی می‌باشند. چندین عامل مهم که تاثیر زیادی بر انواع فساد دارند عبارتند از: دما، pH، فعالیت آبی<sup>۳</sup>، تماس با اکسیژن، نور و مواد شیمیایی یا مواد مغزی موجود در محصولات غذایی.

#### ۱-۱-۲-۱- بی‌ثباتی یا فساد فیزیکی

این نوع فساد می‌تواند شامل آسیب فیزیکی مثل کوفتگی میوه‌ها و سبزیجات یا خرد شدن محصولات خشک و شکننده همانند چپس سیب زمینی یا غلات صبحانه باشد. آسیب‌های فیزیکی می‌توانند رنگ را به علت واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی تغییر دهند. استفاده از سیستم‌های بسته‌بندی که به خوبی طراحی شده‌اند می‌تواند این آسیب‌ها را کاهش دهد. انتقال رطوبت یا انتقال جرم ترکیبات غذایی از بیشترین تغییرات یا بی‌ثباتی‌های فیزیکی دیگر می‌باشند. تغییر رطوبت به‌تنهایی می‌تواند محصول را غیرقابل مصرف کند، زیرا منجر به مشکلات دیگر همچون فساد میکروبی یا شیمیایی می‌شود. از دیگر تغییرات فیزیکی در غذاها می‌توان رشد بلورها و شکستن امولسیون را نام برد. در جدول ۱ تعدادی از مواد غذایی به همراه مهمترین مکانیسم‌های فساد آن‌ها و عوامل موثر بر روی این مکانیسم‌ها فهرست شده است.

- 
1. Savage
  2. Amaral
  3. Water Activity

### ۱-۲-۱-۲- فساد میکروبی

فعالیت میکروب‌ها معمولترین عامل فساد غذا می‌باشد. فساد میکروبی یک دغدغه اصلی برای غذاهای فاسد شدنی است. میکرواورگانیزم‌های عامل فساد غذا شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها می‌باشند.

جدول ۱-۱: مکانیسم‌های مختلف فساد و متغیرهای بحرانی در مواد غذایی گوناگون

ماده غذایی	مکانیسم‌های فساد	متغیرهای بحرانی
آجیل‌ها	اکسایش، تند شدن <sup>۱</sup> هیدرولیتیک، رشد کپک‌ها	اکسیژن، دما، رطوبت، نور
شیر	اکسایش، تند شدن هیدرولیتیک، رشد باکتریایی	اکسیژن، دما
پودر شیر	اکسایش، قهوه‌ای شدن، کلوخه شدن	اکسیژن، رطوبت، دما
فراورده‌های لبنی	اکسایش، رانسید شدن، تبلور لاکتوز	اکسیژن، دما
بستنی	تشکیل بلور یخ یا لاکتوز، اکسایش	دما (انجماد و ذوب)، اکسیژن
گوشت طیور تازه	رشد میکروبی	دما، اکسیژن
ماهی تازه	رشد میکروبی، اکسایش	دما، اکسیژن
گوشت گاو تازه	رشد باکتریایی، اکسایش، افت رطوبت	دما، اکسیژن، نور، رطوبت
میوه	نرم شدن آنزیمی، رشد میکروبی، کوفتگی، افت رطوبت	دما، نور، اکسیژن، حمل و نقل، رطوبت
سبزیجات برگی	فعالیت آنزیمی، افت رطوبت / پژمردگی، رشد میکروبی	دما، اکسیژن، نور، رطوبت
نان	مهاجرت رطوبت (بیاتی)، رتروگریزاسیون <sup>۲</sup> نشاسته، رشد کپک	رطوبت، دما، اکسیژن
غلات	مهاجرت رطوبت (نرم شدن)، رتروگریزاسیون نشاسته، اکسایش، شکستن	رطوبت، دما، اکسیژن، حمل و نقل
محصولات سرخ‌شده ترد	مهاجرت رطوبت (نرم شدن)، اکسایش، شکستن	رطوبت، دما، اکسیژن، حمل و نقل، نور

(کیل کاست<sup>۳</sup> و سابرامانیام<sup>۴</sup>؛ ۲۰۰۰؛ لابوزا<sup>۵</sup> و زیبیست<sup>۶</sup>، ۲۰۰۱)

1. Rancidity
2. Retrogradation
3. Kilcast
4. Subramaniam
5. Labuza
6. Szybist