**مجله علوم و صنایع غذایی ایران**

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

# بررسی اثر کاربرد فراصوت و اسید سیتریک بر قابلیت تولید فیلم زیست تخریب‌پذیر برپایه تفاله حاصل از آب‌گیری لیموترش

**میترا صوفی[۱]، آیناز علیزاده[۲*]، حامد همیشه‌کار [۳]، هادی الماسی[٤]، لیلا روفه‌گری نژاد[٥]**

۱-دانشجوی دکتری تخصصی گروه علوم و صنایع‌غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۳- استاد مرکز تحقیقات کاربردی دارویی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.

٤-دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

٥-دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

**اطلاعات مقاله**

**تاریخ های مقاله :**

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰ /۰٥/۰٤

تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۷/۰۱

**کلمات کلیدی:**

تفاله میوه،

فراصوت،

فیلم بسته‌بندی،

لیموترش.

DOI: 10.52547/fsct.19.123.1

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2

* مسئول مکاتبات:

a.alizadeh@iaut.ac.ir

**چکیده**

تفاله حاصل از آب‌گیری لیموترش، شامل ترکیبات زیستی با ارزشی می‌باشد که در زمینه تولید فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر نیز حائز اهمیت می‌باشند. در این راستا، هدف از مطالعه‌ی حاضر بررسی قابلیت تهیه فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر از تفاله لیموترش (۱، ۳ و ٥ درصد) و متعاقباً بررسی اثر کاربرد فراصوت و محلول اسید سیتریک بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی (ضخامت، حلالیت، نفوذپذیری به بخار آب، رنگ و شفافیت) نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله لیموترش می‌باشد. مطابق نتایج به‌دست آمده با افزایش میزان تفاله از ۱تا٥ درصد میزان مقاومت به شکست، ضخامت و تغییرات رنگی نمونه‌های فیلم افزایش یافته و میزان حلالیت، نفوذپذیری به بخارآب و شفافیت نمونه‌های فیلم کاهش معنی‌داری نشان داد. این در حالی است که استفاده از ٥ درصد تفاله منجر به کاهش میزان ازدیاد طول تا نقطه شکست نمونه‌های فیلم در مقایسه با فیلم‌های تهیه شده از ۳ درصد تفاله گردید. همچنین نتایج به‌دست آمده نشانگر اثر معنی‌دار فراصوت و اسید سیتریک در بهبود خصوصیات مکانیکی و فیزیکی نمونه‌های فیلم در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده بود. لذا با توجه به بررسی بعمل آمده امکان استفاده از تیمار فراصوت و اسید سیتریک در تولید فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر از تفاله لیموترش به منظور بهبود ویژگی‌های عملکردی فیلم‌های حاصل از تفاله لیموترش امکان پذیر بوده و نمونه تهیه شده از ۳ درصد تفاله لیموترش و تیمار شده با فراصوت و تهیه شده با ۱ درصد اسید سیتریک به‌عنوان نمونه فیلم با ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ممانعتی مطلوب انتخاب گردید.

[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]

[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

## ۱- مقدمه

در عصر حاضر، آلودگی‌های زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر در سراسر جهان است. موادی که برای بسته‌بندی موادغذایی به‌کار می‌روند؛ شامل پلاستیک‌ها با منشاء مواد نفتی بوده که به‌علت در دسترس بودن در مقادیر زیاد، قیمت پایین و ویژگی‌های کاربردی مطلوب به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱،۲]. با این حال نگرانی در مورد مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مواد بسته‌بندی پلاستیکی حاصل از فرآورده‌های نفتی و تجزیه‌ناپذیر و همچنین تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات‌غذایی با کیفیت بالا، باعث توسعه فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر شده است [۲،۳]. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی برای جایگزینی پلاستیک‌های سنتزی مشتق شده از ترکیبات نفتی با پلاستیک‌های به‌دست آمده از منابع تجدیدپذیر صورت گرفته است و پلیمرهای زیستی مختلفی مانند پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها به‌عنوان فیلم‌های بسته‌بندی توسعه پیدا کرده‌اند [٤–۷]. همچنین در دو دهه اخیر به موازات تهیه فیلم و پوشش خوراکی از بیوپلیمرهای خالص، به‌منظور بهره‌وری بیشتر و افزایش ارزش‌غذایی، تهیه پوشش‌ها و فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر از پوره میوه‌ها و سبزی‌ها نیز توسعه پیدا کرده است که از آن جمله می‌توان به فیلم‌های حاصل از پوره سیب [۸]، پوره موز [۹]، پوره انبه [۱۰]، پوره هویج [۱۱] و... اشاره نمود. امروزه بیوپلیمرها عمدتاً از گیاهان و میوه‌های زراعی تولید می‌گردند؛ این درحالی‌است که فضای زراعی اختصاص داده شده برای تولید بیوپلیمرها همچنان قابل چشم‌پوشی است [٤،۱۲]. لذا استفاده از مواد اولیه بر پایه زیستی و زیست‌تخریب‌پذیر بدون نیاز به زمین‌های زراعی؛ برای تولید بیوپلیمرها مورد توجه می‌باشد [۱۱]. ضایعات کارخانه‌های صنایع‌غذایی با توجه به هزینه ناچیز و سهولت دسترسی به‌عنوان بهترین منبع برای تولید بیوپلیمرها می‌باشند؛ که از آن جمله می‌توان به ضایعات مرکبات اشاره نمود [۱۳]. در صنایع تبدیلی نیمی از مرکبات که محصول آن آبمیوه و کنسانتره است؛ به‌عنوان تفاله یا ضایعات از خط تولید خارج می‌شود که ٦٥–٦٠ درصد ماده خشک آن پوست، ۳۵–۳۰ درصد تفاله و تا ۱۰ درصد آن دانه است [۳،٤]. بر اساس آمار و اطلاعات سازمان خواروبار جهانی سالانه ۲۲ میلیون تن لیموترش در جهان تولید می‌گردد [١٤] که ایران دارای سطح زیرکشت ۲۳/٦ درصدی در تولید لیموترش بوده و این مقدار برابر با ٦/۸ درصد سطح تولید لیموترش در جهان است؛ این درحالی‌است که نیمی از این مقدار به تفاله حاصل از آبگیری تبدیل می‌شود که حاوی ترکیبات فعال زیستی و غنی از فیبرهای رژیمی، فلاونوئیدها و ویتامین‌ها است؛ به‌طوری‌که علاوه برخواص تغذیه‌ای، دارای خواص تکنولوژیکی نیز می‌باشند [۱۲]. فرآوری صنعتی لیمو نظیر آب‌گیری و تولید آب‌لیموترش دارای باقیمانده ٦٠–٥٠ درصدی از مقدار طبیعی لیمو می‌باشد. این مقدار بالای ضایعات دارای موادجامد بالا، آب و pH ٤–۳ بوده و نگهداری نامناسب آن می‌تواند باعث آسیب جدی به محیط زیست گردد [٤،۱۲]. ضایعات لیمو حاوی پکتین، قندهای محلول، همی‌سلولز، سلولز، نشاسته، پروتئین، لیگنین، خاکستر، چربی و فلاونوئیدها می‌باشد که اهمیت عملیات بازیافت و استفاده مجدد از آن را نشانگر است [۳،۱۳]. لذا این ترکیبات از نقطه نظر تولید بیوپلیمرها نیز جالب به‌نظر می‌رسند. پکتین غالب‌ترین ترکیب موجود در تفاله لیموترش بوده که از قابلیت تشکیل فیلم بالایی برخوردار است به‌طوریکه مطالعات متعددی در رابطه با استفاده از پکتین حاصل از مرکبات در تهیه انواع فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر انجام پذیرفته است [۲–٤]. لذا بازیافت حداکثری پکتین و ترکیبات موثر در تشکیل فیلم از تفاله لیموترش، و تبدیل آن از حالت نامحلول به محلول در آب به‌منظور بهبود خصوصیات فیلم تولیدی از ضایعات میوه از اهمیت بالایی برخوردار است [٤،۱۳]. فرآیند استخراج مرسوم پکتین در مقیاس صنعتی شامل استخراج در آب داغ (٦٠–١٠٠°C) اسیدی شده با یک اسید معدنی (مانند سولفوریک، فسفریک، نیتریک، هیدروکلریک و یا سیتریک اسید) تا رسیدن به pH ۳–۱/۳ به مدت ۰/۵ تا ٦ ساعت می‌باشد [۱۵]. با این حال به دلیل زمان نسبتاً طولانی و حرارت‌دهی در این روش، پکتین استخراج شده می‌تواند خود دستخوش تخریب حرارتی شده که این خود می‌تواند منجر به تغییرات نامطلوب در خواص فیزیکوشیمیایی و عملکردی آن شود [١٦]. برای بهبود عملکرد این روش اخیراً روش‌های



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]
[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

جدیدی از جمله استخراج با فراصوت به‌عنوان تکنیک‌های سازگارتر با محیط زیست و کارآمدتر برای افزایش بازیافت ترکیبات با ارزش از بافت‌های گیاهی، توسعه داده شده‌اند [۱۷،۱۸]. استخراج با امواج اولتراسوند فرآیندی است که در آن از امواج صوتی با فرکانس بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز جهت استخراج ترکیبات هدف از بافت‌های گیاهی مختلف استفاده می‌شود. روش فراصوت مصرف انرژی و حلال کمتری داشته و راندمان استخراج بیشتر و در درجه حرارت پایین‌تری انجام می‌شود [۳،۱۷]. به‌طوریکه مسیبی و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه خود در زمینه بهینه‌سازی استخراج پکتین به‌کمک امواج فراصوت از تفاله شاه‌توت به این نتیجه دست یافتند که راندمان استخراج پکتین با افزایش شدت صوت فراصوت افزایش یافته و پکتین تولیدشده از قابلیت تشکیل ژل نیز برخوردار بود [۱۵]. علاوه بر موارد یادشده اسید سیتریک یک اسید کربوکسیلیک سه‌منظوره بوده و می‌تواند به‌عنوان یک اتصال‌دهنده عرضی عمل نموده و با تشکیل یک شبکه سه‌بعدی از تحرک زنجیره‌های پلیمری کاسته و ویژگی‌های ممانعتی به آب و مقاومت مکانیکی فیلم‌های پلی‌ساکاریدی را بهبود بخشد [۱۹،۲۰]. لذا با توجه به اینکه بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان داده است که تاکنون هیچ مطالعه‌ای در رابطه با بررسی اثر اسیدسیتریک و استفاده از امواج فراصوت بر قابلیت تشکیل فیلم از تفاله لیموترش انجام نشده است؛ بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اثر استفاده از اسید سیتریک و امواج فراصوت بر قابلیت تولید فیلم زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه تفاله لیموترش و متعاقباً بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های مختلف فیلم تولیدی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد مورد استفاده

مواداولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل، تفاله حاصل از آبگیری لیموترش (شرکت آسیاشور، ایران)، سولفات کلسیم، نیترات منیزیم، سولفات پتاسیم، اسید سیتریک (مونوهیدراته، با خلوص ۹۹/۵ درصد) و گلیسرول (مرک، آلمان) می‌باشد.

### ۲-۲-آماده سازی تفاله لیموترش

تفاله حاصل از آبگیری لیموترش طبق روش باتوری و همکاران (۲۰۱۷)، با کمی تغییر فرآوری گردید؛ به این صورت که ابتدا تفاله لیموترش به‌منظور خارج کردن قندمحلول با آب شسته شد. بدین منظور تفاله لیموترش ابتدا در آب به مدت ۲٤ ساعت خیسانده شده و سپس دو مرحله دیگر شستشو به‌طوری‌که نسبت آب به تفاله در تمام مراحل ۱/۵ به ۱ باشد؛ در نظر گرفته شد. هر مرحله شستشو شامل غوطه‌ور کردن تفاله لیموترش در حمام آب و تحت هم‌زدن ۱۱۵ دور بر دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۳۵ درجه سلسیوس بود. بعد ازآبگیری تفاله لیمو جمع‌آوری شده و به مدت ۱٦ ساعت در دمای ٤۰ درجه سلسیوس خشک گردید. در ادامه تفاله خشک شده در دستگاه آسیاب به پودر گردیده و سپس در تهیه فیلم مورد استفاده قرار گرفت [٤].

### ۲-۳-روش تهیه فیلم از تفاله لیموترش

در این پژوهش اثر استفاده از غلظت‌های مختلف تفاله‌لیموترش، اسید سیتریک و کاربرد فراصوت بر قابلیت تشکیل فیلم و متعاقباً اثر این عوامل بر خواص مکانیکی و فیزیکی فیلم‌های تولیدی مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور از غلظت‌های مختلف تفاله لیموترش (۱ ، ۳ و ۵ درصد وزنی/وزنی) همراه با افزودن ۷ درصد وزنی/وزنی گلیسرول در تهیه فیلم با استفاده از محلول اسیدسیتریک (۰ و ۱ درصد وزنی/حجمی) استفاده گردید. محلول نمونه‌های به‌دست آمده به دو قسمت (نمونه‌های تیمار شده با فراصوت و نمونه‌های بدون تیمار با فراصوت) تقسیم شده و به مدت ۲۰ دقیقه تحت امواج فراصوت (٤۰ کیلوهرتز) قرار گرفتند. در ادامه سوپانسیون ایجاد شده به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۷۰ درجه سلسیوس همراه با هم‌زدن با سرعت ۱۱۵ دور بر دقیقه هم‌زده شده و سپس به‌منظور جداسازی ذرات درشت صاف گردید. هم‌زدن تا رسیدن به دمای محیط ادامه داشت. در نهایت از نمونه‌های تهیه شده در داخل پلیت‌های پلی‌استایرن ریخته شد و نمونه‌ها در ۳۵ درجه سلسیوس به مدت ۳٦ ساعت خشک گردیدند. همچنین نمونه‌های فیلم تهیه شده قبل از آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی در دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم (رطوبت نسبی ۵۳٪) در ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ٤۸ ساعت قرار گرفتند [٤].



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]
[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

**Table 1** The fabricated LWP-based film samples.

| Film samples | Lemon waste powder (%w/w) | Citric acid concentration (%w/v) | Ultrasound treatment (40KHZ, 20min) |
|---|---|---|---|
| LWP1%/CA0%/Ultrasound | 1 | 0 | + |
| LWP1%/CA0% | 1 | 0 | - |
| LWP1%/CA1%/Ultrasound | 1 | 1 | + |
| LWP1%/CA1% | 1 | 1 | - |
| LWP3%/CA0%/Ultrasound | 3 | 0 | + |
| LWP3%/CA0% | 3 | 0 | - |
| LWP3%/CA1%/Ultrasound | 3 | 1 | + |
| LWP3%/CA1% | 3 | 1 | − |
| LWP5%/CA0%/Ultrasound | 5 | 0 | + |
| LWP5%/CA0% | 5 | 0 | − |
| LWP5%/CA1%/Ultrasound | 5 | 1 | + |
| LWP5%/CA1% | 5 | 1 | − |

LWP: Lemon Waste Powder; CA: Citric Acid

## ۲-٤- روش آزمایش

### ۲-٤-۱- ضخامت

ضخامت فیلم‌ها در ٦ نقطه به صورت تصادفی توسط میکرومتر دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ mm، (AOS Digimatic Caliper آمریکا) اندازه‌گیری شد و میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده به‌عنوان ضخامت فیلم‌ها گزارش گردید [۲].

### ۲-٤-۲- ویژگی‌های مکانیکی

پارامترهای مکانیکی نمونه‌ها نظیر مقاومت کششی نهایی (UTS)، درصد افزایش طول تا نقطه شکست (EB) با دستگاه (DBBP-20، بونگشین، کره) سنجیده شدند. برای این منظور نمونه‌ها در اشکال دمبلی‌شکل با سایز ۰/۵×۸ سانتی‌متر بریده شدند و در دو فک دستگاه سنجش تثبیت شدند. فاصله بین دو فک دستگاه ۵۰ میلی‌متر و سرعت حرکت فک‌ها ۱۰ میلی‌متر در دقیقه تنظیم شد [۱۳].

### ۲-٤-۳- نفوذپذیری به بخارآب

تعیین میزان نفوذپذیری به بخارآب (WVP) فیلم‌ها مطابق روش موسوی کلجاهی و همکاران (۲۰۲۱)، انجام پذیرفت. برای این منظور ویال‌های شیشه‌ایی با قطر ۱/۵ سانتی‌متر و عمق ٤ سانتی‌متر با نمک سولفات کلسیم ($CaSO_4$) پر شد تا رطوبت داخلی آن‌ها تا صفر درصد کاهش یابد. سپس نمونه‌های فیلم بر روی ویال‌ها تثبیت شدند و به یک دسیکاتور حاوی محلول اشباع سولفات پتاسیم ($K_2SO_4$) جهت ایجاد رطوبت نسبی۹۷ درصد در محیط خارج ویال منتقل گردیدند. وزن ویال‌ها در فواصل ۲٤ ساعت به‌مدت یک هفته اندازه‌گیری شد و نفوذپذیری به بخارآب فیلم‌ها ارزیابی شد [۱۳].

### ۲-٤-۵- حلالیت فیلم

برای تعیین میزان حلالیت در آب نمونه‌های فیلم تهیه شده، قطعات فیلم (٤cm×٤cm) در دمای ۱۰۵°C به مدت ۲٤ ساعت به منظور اندازه‌گیری ماده‌خشک اولیه ($W_i$) خشک گردید. در ادامه فیلم‌های خشک شده در ۵۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به مدت ۲٤ ساعت در دمای اتاق غوطه‌ور گردید. بعد از ۲٤ ساعت، بخش‌های نامحلول فیلم با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۱ جداسازی شده و در دمای ۱۰۵ °C به مدت ۲٤ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت ($W_f$) خشک گردید. میزان حلالیت در آب مطابق فرمول زیر اندازه‌گیری گردید [۲۱]:

$$\text{Solubility in water\%} = \frac{(Wi - Wf)}{Wi} \times 100$$

### ۲-٤-٦-تعیین رنگ نمونه‌های فیلم

بررسی کمی رنگ نمونه‌های فیلم (L*,a*,b*) با استفاده از روش پردازش تصویر و با قراردادن نمونه‌های فیلم و صفحات رنگی استاندارد RAL-k5 در جعبه استاندارد و متعاقباً عکس‌برداری با استفاده از دوربین دیجیتال ( Canon Power shot SX720 HS, Japan) انجام پذیرفت. همچنین، صفحه رنگی سفید (L*=89.90 , a*=1.77 , b*=-3.41) به‌عنوان رنگ زمینه استاندارد استفاده شده و اختلاف رنگ کلی (ΔE) نمونه‌های فیلم به شرح زیر محاسبه شد[۲۲]:

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



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]
[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

$\Delta a^*$ و $\Delta b^*$ تفاوت بین پارامترهای رنگی نمونه‌های فیلم با فیلم شاهد

**۲-٤-۷- تعیین میزان شفافیت نمونه‌های فیلم**

شفافیت نمونه‌های فیلم با اندازه‌گیری درصد عبور نور در ٦٦٠ نانومتر (T660) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV / vis (Unico,UV-2100, USA) تعیین شد [۲۳].

**۲-٤-۸- روش تجزیه و تحلیل آماری**

نمونه‌های فیلم با غلظت‌های مختلف تفاله‌لیموترش تحت تاثیر کاربرد محلول اسید سیتریک و فراصوت در سه تکرار تهیه شده و در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) با آنالیز واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) مورد تجزیه در سه تکرار قرار گرفت. برای تأیید اختلاف میانگین بین تیمارها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده شد. آنالیز آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS 25 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزارGraph Pad Prism8 استفاده گردید.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱-ضخامت فیلم

ضخامت فاکتور مهمی در تعیین خصوصیات مکانیکی، نفوذپذیری به بخارآب و شفافیت فیلم می‌باشد [۲]. فاکتور ضخامت تحت تأثیر عواملی همچون نوع پلیمر، مقدار ماده‌خشک، دمای خشک کردن و نوع ترکیبات بکار رفته در ترکیب پلیمر قرار می‌گیرد [۳]. شکل ۱ ضخامت فیلم‌های حاصل از مقادیر مختلف تفاله لیموترش با کاربرد اسیدسیتریک و فراصوت را نشان می‌دهد. مقایسه میانگین نتایج مربوط به فیلم‌های تولیدی نشان می‌دهد که مقادیر تفاله لیموترش دارای بیشترین اثر بر میزان ضخامت نمونه‌های فیلم تولیدی بود. همچنین نمونه‌های تولید شده با اسیدسیتریک و تیمارشده با فراصوت دارای ضخامت بیشتری نسبت به نمونه‌های بدون اسید سیترک و تیمارنشده با فراصوت بودند. طبق نتایج به‌دست آمده بیشترین و کمترین میزان ضخامت به ترتیب مربوط به نمونه LWP5%/CA1%/Ultrasound (۰/۲۱۰±۰/۰۰۳mm) و LWP1%/CA0% (۰/۱۲٦±۰/۰۰۲mm) بود. این امر می‌تواند با افزایش ضخامت فیلم به دلیل اثر کاربرد اسید سیتریک و فراصوت در افزایش انحلال ترکیبات مختلف موجود در تفاله لیموترش نظیر پکتین و افزایش مقدار ماده جامد در محلول تشکیل‌دهنده فیلم در ارتباط باشد [۲٤،۲۵]. به طوریکه نیسار و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه خود عنوان نمودند که ضخامت فیلم تحت تاثیر محتوای مواد جامد تشکیل دهنده فیلم می‌باشد [۲]. همچنین اورسوان و همکاران (۲۰۱٦)، نیز نتایج مشابهی را در زمینه افزایش مواد جامد تشکیل‌دهنده فیلم با افزودن پودر موز در ساختار فیلم آگار و متعاقباً افزایش ضخامت نمونه‌های فیلم تولیدی گزارش نمودند [۲٤].

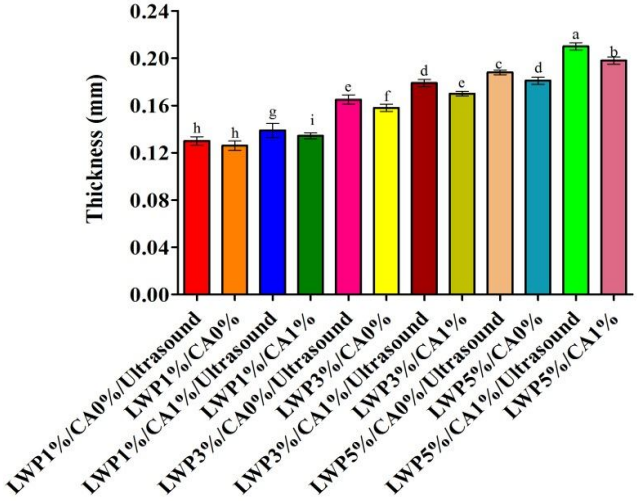


**Fig 1** Thickness of LWP-based film samples (Different letters show significant differences at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$). LWP: Lemon Waste Powder; CA: Citric Acid).

### ۳-۲- نفوذپذیری به بخارآب (WVP) فیلم

بالا بودن رطوبت نسبی محیط، یکی از عوامل اصلی بروز فساد در موادغذایی محسوب می‌شود. به‌همین دلیل، بازدارندگی نسبت به بخارآب یکی از ویژگی‌های مهم پلیمرهای مورد استفاده برای بسته‌بندی موادغذایی به‌شمار می‌رود [۱۳]. WVP فیلم‌ها به فاکتورهای مختلفی از جمله یکپارچگی فیلم، نسبت گروه‌های آب‌دوست به آب‌گریز، نسبت بخش‌های آمورف به کریستالی فیلم، تحرک زنجیره پلیمری و همچنین میزان حلالیت در آب بستگی دارد [۲]. شکل ۲ میزان WVP نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله لیموترش را نشان می‌دهد. مطابق نتایج به‌دست آمده، کمترین و بیشترین میزان نفوذپذیری به بخار آب به ترتیب مربوط به فیلم LWP5%/CA1%/Ultrasound ($۱/۵۳\times۱۰^{-۷}\pm۰/۱۷ gPa^{-1}h^{-1}m^{-1}$) و LWP1%/CA0%



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]
[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

($۷/۲۰\times۱۰^{-۷}\pm۰/۲۲ gPa^{-1}h^{-1}m^{-1}$) بود. مطابق نتایج به دست آمده افزایش غلظت تفاله لیموترش از ۱ به ۵ درصد منجر به کاهش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) میزان نفوذپذیری به بخارآب نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله لیموترش گردید. این امر می‌تواند در نتیجه افزایش مقادیر ترکیبات با ماهیت هیدروفوبی موجود در تفاله نظیر فیبرها، نشاسته مقاوم و ترکیبات با ماهیت روغنی و ایجاد پیوندهای هیدروژنی و کووالانسی بین ترکیبات تفاله لیموترش باشد که میزان گروه‌های هیدروکسیل بیوپلیمرها را برای جذب مولکول‌های آب کاهش داده و انتقال رطوبت از درون فیلم را محدود نموده است [۲٤]. همچنین تفاله لیموترش دارای ترکیبات متنوعی نظیر اسانس لیمو می‌باشد که به علت ماهیت روغنی و هیدروفوبی می‌تواند در ساختار شبکه پلی‌ساکاریدی دخالت نموده و سرعت جذب و انتقال مولکول‌های آب را کاهش دهد [۱۳]. علاوه براین حضور اسانس لیمو می‌تواند ضریب حلالیت فیلم را کاهش داده و لذا باعث بهبود ویژگی‌های بازدارندگی نسبت به بخارآب و بدین ترتیب کاهش WVP فیلم‌های حاصل از تفاله لیموترش گردد [۲۱]. نتایج مشابهی نیز توسط صادقی ورکانی (۲۰۱۸)، در زمینه اثر افزایش غلظت موسیلاژ دانه بالنگو در کاهش WVP نمونه‌های فیلم حاصل، به‌دلیل شکل‌گیری منظم زنجیره‌های پلیمری در غلظت‌های بالا و موسوی کلجاهی و همکاران (۲۰۲۱)، در زمینه اثرگذاری اسانس پرتقال موجود در تفاله پرتقال در کاهش نفوذپذیری به‌بخار آب نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله پرتقال مطابقت داشت [۱۳،۲۵]. مطابق شکل ۲، استفاده از محلول اسیدی و کاهش pH نیز اثر قابل توجهی ($p<۰/۰۵$) در کاهش مقادیر WVP نمونه‌های فیلم داشت که می‌تواند به دلیل اثر محلول اسیدی در کاهش وزن مولکولی ترکیبات تشکیل دهنده تفاله لیموترش نظیر پکتین و تبدیل شکل‌های غیرمحلول آن به انواع محلول و در نتیجه افزایش راندمان بازیافت ترکیبات مطلوب موجود در تفاله لیموترش و با قابلیت تشکیل فیلم باشد [۱۵]. نتایج مشابهی نیز توسط حسینی و همکاران (۲۰۱٦)، در رابطه اثر مطلوب کاهش pH در افزایش بازده استخراج پکتین از نارنج گزارش گردیده است [۱۸]. بهبود خصوصیات ممانعتی نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله لیموترش با کاربرد اسید سیتریک می‌تواند با عملکرد این اسید به‌عنوان اتصال‌دهنده عرضی نیز در ارتباط باشد [۲٦]. به‌طوریکه ما و همکاران (۲۰۱۸)، در مطالعه خود در زمینه تشکیل فیلم از تفاله سویا با استفاده از اسید سیتریک به این نتیجه دست یافتند که ایجاد پیوندهای کووالانسی استری بین گروه‌های هیدروکسیل پلیمر و گروه کربوکسیل اسید سیتریک منجر به بهبود ویژگی‌های مکانیکی و خصوصیات ممانعتی نمونه‌های فیلم نسبت به رطوبت گردید [۲۰]. همچنین قنبرزاده و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه خود در رابطه با اثر اسید سیتریک بر تغییرات WVP نمونه‌های فیلم حاصل از نشاسته ذرت به این نتیجه دست یافتند که استفاده از اسید سیتریک احتمالاً منجر به ایجاد مسیر پر پیچ و خم برای مولکول‌های آب شده و WVP نمونه‌های فیلم را کاهش می‌دهد [۲۷]. نتایج به دست آمده نشانگر اثر قابل توجه تیمار فراصوت در pH های پایین نسبت به pH های بالا در افزایش راندمان ورود ترکیبات با قابلیت تشکیل فیلم از تفاله به محلول تشکیل دهنده فیلم بود. این امر در نتیجه ایجاد هسته‌های کاویتاسیون است که باعث تخریب بیشتر بافت‌های گیاهی و ایجاد حفراتی در دیواره سلولی شده و موجب تسریع خروج محتویات سلول و افزایش راندمان بازیافت ترکیبات موجود در تفاله لیموترش و متعاقباً بهبود خصوصیات ممانعتی نسبت به رطوبت نمونه‌های فیلم تولیدی می‌گردد [۱۵]. نتایج مشابهی نیز توسط زاهدی و همکاران (۲۰۱۹)، در رابطه با اثر مطلوب فراصوت در بهبود استخراج پکتین از تفاله گوجه‌فرنگی گزارش گردیده است [۱۷]. همچنین بوراه و همکاران (۲۰۱۷)، نیز در بررسی خود گزارش نمودند که افزایش زمان استفاده از فراصوت منجر به کاهش قابل توجه در نفوذپذیری به بخارآب نمونه‌های فیلم حاصل از اختلاط تفاله لیموشیرین و پوست سیب‌زمینی گردید [۳].

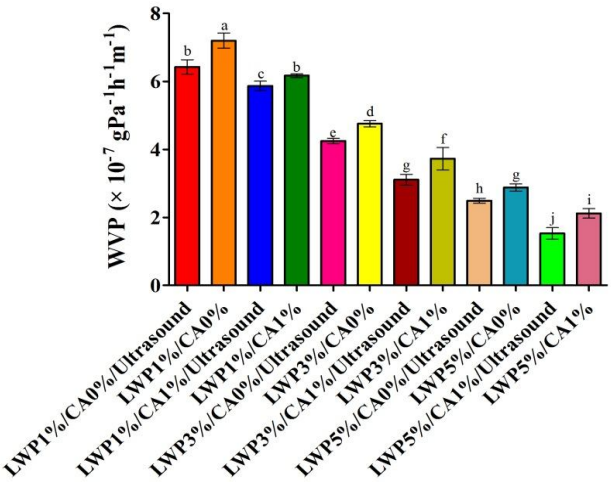


**Fig 2** WVP of LWP-based film samples (Different letters show significant differences at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$). LWP: Lemon Waste Powder; CA: Citric Acid).



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]
[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

## ۳-۳- حلالیت فیلم

حلالیت در آب جهت برآورد مقاومت فیلم در برابر آب به خصوص در محیط‌های با رطوبت بالا اندازه‌گیری می‌گردد [۲۲]. مقاومت فوق‌العاده در برابر آب در فرایند ذخیره‌سازی، حمل و نقل و نگهداری موادغذایی بسیار مطلوب است [۳]. نتایج حاصل از میزان حلالیت نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله لیموترش در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق نتایج به‌دست آمده، بیشترین و کمترین میزان حلالیت در آب به ترتیب مربوط به نمونه LWP1%/CA0% (۵۱/۲۱±۰/۲۸٪) و LWP5%/CA1%/Ultrasound (۲۰/۴۷±۰/۸۲٪) می‌باشد. همچنین میزان حلالیت نمونه‌ها با افزایش غلظت تفاله لیموترش و با استفاده از محلول اسید سیتریک و فراصوت به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) کمتر از نمونه‌های بدون تیمار بود. این امر می‌تواند به‌دلیل افزایش بازیافت ترکیبات موجود در تفاله نظیر پکتین، ترکیبات فنلی و همچنین فیبرها و اسانس‌های روغنی از تفاله لیموترش باشد که منجر به تشکیل پیوندهای عرضی درون مولکولی بیشتر در بین مولکول‌های پلیمری در ماتریکس فیلم شده و متعاقباً منجر به کاهش میل پلی‌ساکارید به مولکول‌های آب، بهبود انسجام ماتریکس فیلم و افزایش مقاومت به آب نمونه‌های فیلم گردد [۲۲]. نتایج مشابهی نیز توسط سایر نویسندگان در رابطه با حلالیت در آب پایین فیلم‌های حاصل از پوست میوه گزارش گردیده است [۳،۲۸]. همچنین اورسوان و همکاران (۲۰۱۶)، در مطالعه خود در رابطه با افزودن پودر موز در فیلم آگار به این نتیجه دست یافتند که میزان حلالیت در آب نمونه‌های فیلم با افزایش میزان پودر موز کاهش چشمگیری یافت که این امر می‌تواند با افزایش ماهیت هیدروفوبی نمونه‌های فیلم آگار با افزودن پودر موز به‌دلیل مقادیر قابل توجه ترکیبات هیدروفوب موجود در پودر موز نظیر چربی، فیبر و نشاسته مقاوم باشد [۲۴]. مونز لابرادور و همکاران (۲۰۱۸)، نیز در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که استفاده از فراصوت منجر به بهبود ویژگی‌های ژلی‌شونده پکتین استخراجی از مرکبات شده و می‌تواند به‌عنوان پوشش خوراکی برای افزایش ماندگاری توت‌فرنگی مورد استفاده قرار گیرد [۲۹]. علاوه‌براین، اثر معنی‌دار استفاده از اسید سیتریک در کاهش حلالیت در آب نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله لیموترش می‌تواند به‌دلیل ایجاد اتصالات عرضی بین اسید سیتریک و ترکیبات پلیمری موجود در تفاله نظیر پکتین و فیبرها باشد که منجر به ایجاد ساختار چگال‌تر می‌گردد [۲۰]. همچنین ایجاد اتصالات عرضی منجر به جایگزینی بخشی از گروه‌های هیدروکسیل با گروه‌های هیدروفوبی استری می‌گردد که دلیلی بر کاهش میزان جذب رطوبت و حلالیت نمونه‌های فیلم می‌باشد. نتایج مشابهی نیز در این زمینه توسط سایر محققان گزارش گردیده است [۲۰،۲۶].

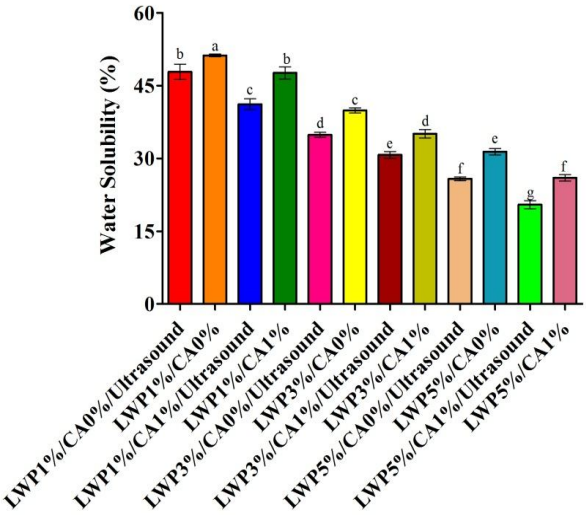


**Fig 3** Solubility of LWP-based film samples (Different letters show significant differences at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$). LWP: Lemon Waste Powder; CA: Citric Acid).

## ۳-۴- ویژگی‌های مکانیکی فیلم

ویژگی‌های مکانیکی بسته‌بندی، یکی از عوامل مهم در نگهداری و حمل و نقل موادغذایی است که در قالب استحکام کششی (UTS) و ازدیاد طول تا نقطه شکست (EB٪) اندازه‌گیری می‌گردند. شکل ۴a و ۴b مقادیر مربوط به UTS و EB نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله لیموترش را نشانگر است. مطابق نتایج به‌دست آمده، کمترین و بیشترین میزان مقاومت به کشش به ترتیب مربوط به نمونه LWP1%/CA0% (۲/۲۳±۰/۲۲MPa) و LWP5%/CA1%/Ultrasound (۱۴/۶۴±۰/۳۵MPa) می‌باشد. مطالعات انجام پذیرفته در رابطه با تولید فیلم از پوره میوه‌ها نشانگر مقاومت کششی کمتر این فیلم‌ها در مقایسه با فیلم‌های حاصل از بیوپلیمرهای خالص بود که این امر ناشی از رقیق شدن ماتریکس توسط اجزای میوه و اثرات پلاستیسایزری قندهای دارای وزن مولکولی پایین و اسیدهای



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]
[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

میوه عنوان گردیده است [۴،۳۰]. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، افزایش میزان تفاله به ۵ درصد منجر به افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) مقاومت کششی نمونه‌های فیلم حاصل از تفاله لیموترش نسبت به نمونه‌های تولید شده از ۱ درصد تفاله لیموترش گردید. این امر می‌تواند به دلیل عدم کفایت میزان پکتین و ترکیبات استخراجی از تفاله لیموترش در مقدار ۱ درصد در ایجاد ماتریکس منسجم در فیلم‌های حاصله و عدم ایجاد پیوندهای عرضی کافی بین ترکیبات تشکیل‌دهنده فیلم تفاله لیموترش نظیر کربوهیدارت‌ها و ترکیبات فنلی باشد [۳۱،۳۲]. به‌طوری‌که در نمونه‌های حاوی ۵ درصد تفاله بر همکنش‌های قوی نشان‌دهنده اثر پیوندهای عرضی و کاهش حجم‌های خالی بین مولکولی پلیمر پلی‌ساکاریدی می‌باشد [۱۳]. مطابق شکل ۴a، اعمال تیمار فراصوت و استفاده از محلول اسید سیتریک منجر به افزایش میزان بازیافت ترکیبات موجود در تفاله لیموترش گردیده است. این امر می‌تواند در نتیجه اثر فراصوت و اسید سیتریک در هیدرولیز ترکیبات نامحلول پکتین به پکتین محلول و همچنین اثر امواج فراصوت از طریق تخریب سلولی ناشی از انرژی حاصل از ترکیدن حباب‌های کاویتاسیونی و افزایش انتقال جرم در لایه مرزی مجاور ماتریکس گیاهی در بهبود فرآیند استخراج باشد [۱۶]. نتایج مشابهی نیز توسط امان‌پور و آصفی (۲۰۲۰)، در رابطه با اثر مثبت فراصوت و استفاده از شرایط اسیدی در بهبود بازیافت پکتین از میوه به گزارش گردیده است [۱۶]. این نتیجه نشانگر آن است که در نمونه‌های با میزان تفاله لیموترش ثابت، استفاده از تیمار فراصوت و محلول اسید سیتریک منجر به پیوستگی ساختاری بیشتری در فیلم تولیدی گردیده است. این امر می‌تواند در نتیجه اثر فراصوت در کاهش اندازه ذرات، پخش یکنواخت اجزای تراوش شده از تفاله لیموترش نظیر پکتین باشد که در نهایت منجر به افزایش ایجاد پیوندهای هیدروژنی می‌گردد [۳۳]. در این رابطه گوا و همکاران (۲۰۲۱)، در مطالعه خود در رابطه با اثر فراصوت بر قابلیت تشکیل فیلم از پوست هندوانه به‌عنوان منبع پکتین به این نتیجه دست یافتند که اعمال تیمار فراصوت قبل از تشکیل فیلم بر ویژگی‌های فیلم حاصل اثر مطلوبی داشت و منجر به بهبود خصوصیات مکانیکی و ممانعتی نمونه‌های فیلم گردید [۳۳]. علاوه‌براین اسید سیتریک می‌تواند با ایجاد اتصالات متقابل با گروه‌های هیدروکسیل پلی‌ساکاریدی منجر به بهبود سازگاری بین مولکولی پلیمری و افزایش مقاومت کششی نمونه‌های فیلم گردد [۲۰]. چن و همکاران (۲۰۲۱)، در مطالعه خود در رابطه با استفاده از اسید سیتریک در فیلم حاصل از نشاسته به این نتیجه دست یافتند که اسید سیتریک به‌عنوان یک اتصال‌دهنده عرضی منجر به حفظ شبکه بهم‌پیوسته زنجیره‌های پلیمری نشاسته شده و از سرخوردن زنجیره‌ها در کنار یکدیگر جلوگیری می‌نماید [۲۶].

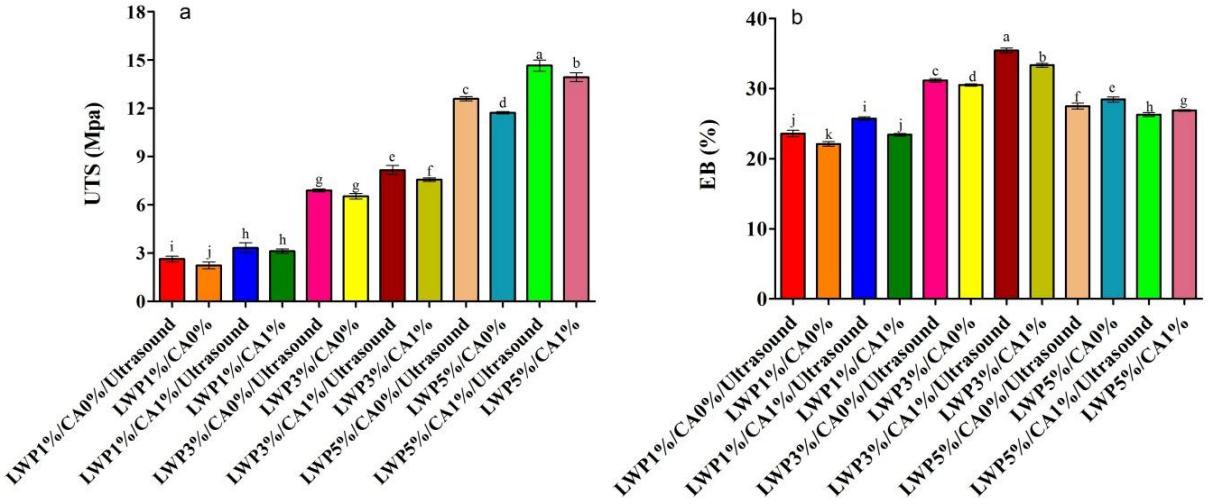


**Fig 4** Mechanical characteristics of LWP-based film samples (a: Tensile Strength b: Elongation at the break; Different letters show significant differences at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$). LWP: Lemon Waste Powder; CA: Citric Acid).



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]
[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

مطابق شکل ٤b ، افـزایش میـزان تفالـه لیمـوترش از ۱ بـه ۳ درصد منجر به بهبود EB نمونه‌های فیلم شـد. ایـن در حـالی است که افزایش میـزان تفالـه بـه ۵ درصـد منجـر بـه کـاهش معنی‌دار (p<۰/۰۵) EB نمونه‌های فیلم گردید. این امـر مـی-تواند به دلیل حضور مقادیر بالای ترکیبات با قابلیـت تـشکیل ژل حاصل از تفاله و ایجاد پیوندهای هیدروژنی متعـدد مـابین زنجیره‌های پلیمری باشد که یک شبکه‌ی پیوسـته‌ی سـخت از طریـق ایجـاد پیونـدهای هیـدروژنی تـشکیل داده و حرکـت زنجیره‌های پلیمری را کاهش می‌دهد و باعث سفتی فیلم و در نتیجه تولید فـیلم‌هـای سـخت مـی‌گـردد [٣٤]. مطـابق نتـایج به‌دست‌آمده، استفاده از تیمار فراصـوت و محلـول اسـیدی در نمونه های فیلم حاصل از ۵ درصد تفاله لیمـوترش منجـر بـه افت معنی‌دار میزان EB در مقایسه با نمونه‌هـای بـدون تیمـار گردید. رضایی و همکاران (۲۰۲۰)، نیز در مطالعه خود نتـایج مشابهی را در زمینه اثر امواج مـایکروویو در بهبـود اسـتخراج پکتین از پوست کمبزه گزارش نمودند و دلیل آن را اثر انـرژی جذب شده توسط ماتریکس گیاه و در نتیجـه تخریـب بیـشتر دیواره سلولی عنوان نمودند [۳۵].

## ۳-۵- تغییرات رنگ فیلم

خصوصیات رنگی به‌دلیل اثرگذاری بر ظاهر کلی و پذیرش مصرف‌کننده از اهمیت بالایی برخوردار است [۲]. به‌منظور درک بهتر خصوصیات ظاهری فیلم‌های حاصل از تفاله لیموترش بررسی میزان فاکتورهای L*, a*, b* و همچنین میزان تغییرات رنگی انجام پذیرفت. مطابق نتایج به‌دست آمده (جدول ۲)، فیلم حاصل از تفاله لیموترش دارای رنگ زرد کم‌رنگ بود؛ که این امر می‌تواند در نتیجه وجود رنگ‌دانه‌های فلاونوئیدی طبیعی موجود در پوست لیموترش و ترکیبات فنلی موجود در آن باشد [٢٤]. به‌طوریکه گیترو و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه خود عنوان نمودند که افزودن کوئرستین و سیترال به فیلم کفیران منجر به تغییر رنگ آن به رنگ زرد می‌گردد [٣٦]. با این حال، با افزایش میزان تفاله از ۱ تا ۵ درصد، فیلم‌های تولیدی از رنگ زرد بیشتری برخوردار بودند که این امر به‌صورت افزایش معنی‌دار در فاکتور b* و ΔE نمونه‌های فیلم نمود پیدا می‌کند. همچنین مقادیر L* و a* نمونه‌های فیلم با افزایش غلظت تفاله به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) کاهش می‌یابد. این پدیده احتمالاً می‌تواند به‌دلیل وجود ترکیبات فنلی در تفاله لیموترش باشد که می‌توانند منجر به جذب نور در طول موج‌های کوتاه شوند. اورسوان و همکاران (۲۰۱٦)، نیز نتایج مشابهی را در زمینه افزایش میزان زردی و کاهش میزان روشنایی فیلم‌های آگار با افزایش میزان غلظت پودر موز گزارش نمودند [٢٤]. همچنین اگرچه استفاده از تیمار فراصوت اثر معنی‌داری بر فاکتورهای رنگی نمونه‌های فیلم نداشت (P>۰/۰۵)؛ با این حال استفاده از محلول اسید سیتریک منجر به کاهش مقادیر فاکتورهای L* a* و افزایش پارامتر b* گردید. همچنین نتایج حاصل نشانگر اثر سه متغیر غلظت تفاله لیموترش و استفاده از اسید سیتریک و فراصوت در افزایش میزان تغییرات رنگی نمونه‌های فیلم بود که می‌تواند در نتیجه اثر متغیرهای مربوطه در افزایش ورود ترکیبات موجود در تفاله لیموترش به محلول تشکیل‌دهنده فیلم نظیر ترکیبات فنلی و رنگدانه‌های محلول در آب باشد که منجر به افزایش تغییرات رنگی نمونه‌های فیلم گردید [٣٦].

**Table 2** Transparency and color properties of lemon waste based film samples

| Sample | L* | a* | b* | ΔE | Transparency(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| LWP1%/CA0%/Ultrasound | 78.98±0.36$^{b}$ | -1.23±0.33$^{b}$ | 17.15±0.36$^{gh}$ | 23.48±0.19$^{k}$ | 73.77±0.91$^{a}$ |
| LWP1%/CA0% | 80.04±1.34$^{ab}$ | -0.82±0.57$^{ab}$ | 16.78±0.10$^{h}$ | 22.60±0.02$^{l}$ | 74.16±0.73$^{a}$ |
| LWP1%/CA1%/Ultrasound | 78.11±0.83$^{cd}$ | -2.18±0.21$^{c}$ | 18.07±0.44$^{f}$ | 24.82±0.64$^{i}$ | 70.12±0.56$^{b}$ |
| LWP1%/CA1% | 78.63±0.45$^{bc}$ | -1.82±0.34$^{c}$ | 17.50±0.42$^{fg}$ | 24.03±0.19$^{j}$ | 70.88±0.66$^{b}$ |
| LWP3%/CA0%/Ultrasound | 77.57±0.19$^{d}$ | -3.61±0.10$^{d}$ | 19.84±0.55$^{e}$ | 26.86±0.41$^{g}$ | 55.16±0.93$^{c}$ |
| LWP3%/CA0% | 77.80±0.17$^{cd}$ | -3.27±0.23$^{d}$ | 19.29±0.63$^{e}$ | 26.21±0.51$^{h}$ | 55.52±0.41$^{c}$ |
| LWP3%/CA1%/Ultrasound | 76.35±0.61$^{e}$ | -4.33±0.08$^{e}$ | 21.09±0.35$^{d}$ | 28.66±0.02$^{e}$ | 48.90±0.97$^{d}$ |
| LWP3%/CA1% | 76.63±0.45$^{e}$ | -4.07±0.09$^{e}$ | 20.77±0.18$^{d}$ | 28.19±0.17$^{f}$ | 49.76±0.83$^{d}$ |
| LWP5%/CA0%/Ultrasound | 73.90±0.28$^{g}$ | -5.83±0.44$^{f}$ | 24.73±0.27$^{bc}$ | 33.25±0.07$^{c}$ | 41.82±0.69$^{e}$ |
| LWP5%/CA0% | 74.75±0.32$^{f}$ | -5.50±0.16$^{f}$ | 24.10±0.39$^{c}$ | 32.24±0.21$^{d}$ | 42.24±0.47$^{e}$ |
| LWP5%/CA1%/Ultrasound | 72.79±0.23$^{h}$ | -7.36±0.15$^{h}$ | 26.17±0.38$^{a}$ | 35.37±0.24$^{a}$ | 36.67±0.72$^{f}$ |
| LWP5%/CA1% | 73.18±0.90$^{gh}$ | -6.89±0.21$^{g}$ | 25.37±0.33$^{b}$ | 34.40±0.43$^{b}$ | 37.73±0.28$^{f}$ |

Data are expressed as mean ± standard deviation (n=3), and different letters show significant differences at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$). LWP: Lemon Waste Powder; CA: Citric Acid.



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]

[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

## ۳-٦- شفافیت فیلم

شفافیت از ویژگی‌های مهم فیلم‌های مورد استفاده در بسته‌بندی موادغذایی است که نشانگر تراکم ساختاری فیلم و قابلیت کاربرد فیلم بوده و با ترکیب، نحوه اختلاط و شرایط فراوری نمونه‌های فیلم در ارتباط می‌باشد [۳۷]. مطابق نتایج به‌دست آمده (جدول ۲) بیشترین میزان شفافیت مربوط به فیلم LWP1%/CA0% (۷٤/۱٦±۰/۷۳٪) بوده که میزان آن با افزایش میزان تفاله از ۱ تا ۵ درصد به ۳٦/٦۷±۰/۷۲ درصد در نمونه LWP5%/CA1%/Ultrasound کاهش یافت. این امر می تواند به علت افزایش میزان مواد جامد در محلول تشکیل دهنده فیلم و افزایش واکنش‌های بین مولکولی و کاهش تحرک زنجیره‌های پلیمر با افزایش میزان مواد جامد باشد؛ به‌طوریکه فعل و انفعالات بین اجزای تشکیل دهنده منجر به افزایش پراکندگی نور و کاهش شفافیت فیلم‌ها می‌شود [۲۵،۳۸]. همچنین نتایج به دست آمده نشانگر اثر غیرمعنی‌دار ($p>۰/۰۵$) فراصوت در میزان شفافیت نمونه‌های مختلف فیلم بود. این در حالی است که استفاده از محلول ۱ درصد اسید سیتریک منجر به کاهش میزان شفافیت نمونه‌های فیلم گردید. این امر می‌تواند به دلیل پراکندگی نور توسط اجزای محلول تفاله لیموترش باشد که تحت تاثیر شرایط اسیدی به محلول تشکیل‌دهنده فیلم انتقال یافته و به‌طور کامل در شبکه پلیمر توزیع شده و انتقال کلی نور از طریق ماتریکس فیلم را کاهش می‌دهند [۳۹]. لین و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه خود در رابطه با افزودن پکتین در فیلم کامپوزیتی کربوکسی متیل سلولز حاوی اسانس آویشن به این نتیجه دست یافتند که شفافیت فیلم تحت تاثیر ساختار داخلی ماتریکس و توزیع اجزا بوده و با افزایش غلظت پکتین کاهش می‌یابد [۳۸]. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان در این زمینه گزارش گردیده است [۲،٤۰]. همچنین صادقی ورکانی و همکاران (۲۰۱۸)، نیز نتایج مشابهی را در رابطه با کاهش میزان شفافیت نمونه‌های فیلم حاصل از موسیلاژ دانه بالنگو با افزایش غلظت موسیلاژ استفاده شده گزارش نمودند [۲۵]. مطابق نتایج به دست آمده کمترین میزان شفافیت مربوط به نمونه LWP5%/CA1%/Ultrasound بود که می‌تواند برای محافظت از محصولات غذایی در برابر واکنش‌های اکسیداسیونی مناسب باشد.

## ٤- نتیجه گیری کلی

فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر حاصل از تفاله لیموترش باکاربرد فراصوت و اسید سیتریک با موفقیت تولید شدند و مشخصه‌هایشان با تست‌های ضخامت، نفوذپذیری به بخار آب، حلالیت در آب، بررسی تغییرات رنگی، شفافیت و همچنین مشخصه‌های مکانیکی نظیر مقاومت به کشش و ازدیاد طول تا نقطه پارگی سنجیده شدند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، فیلم‌های تولید شده از ۱ درصد تفاله دارای حداکثر میزان نفوذپذیری به بخارآب، حلالیت در آب و شفافیت و کمترین میزان ضخامت، تغییرات رنگی، مقاومت به کشش و ازدیاد طول تا نقطه پارگی بود. همچنین افزایش مقادیر تفاله لیموترش به ۵ درصد و استفاده از فراصوت و اسید سیترک منجر به بهبود ویژگی‌های عملکردی نمونه‌های فیلم نظیر مقاومت به کشش، ممانعت نسبت به نفوذ بخار آب و کاهش حلالیت گردید. با این حال طبق نتایج به‌دست آمده، نمونه‌های حاوی ۵ درصد تفاله و تیمار شده با فراصوت و تولیدشده با اسید سیتریک دارای بیشترین میزان کدورت، تغییرات رنگی و ضخامت بوده و میزان ازدیاد طول تا نقطه پارگی آن در مقایسه با نمونه‌های حاوی ۳ درصد تفاله به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. لذا مطابق یافته‌های این تحقیق نمونه‌های فیلم حاصل از ۳ درصد تفاله لیموترش، تیمارشده با فراصوت و تولیدشده از محلول ۱ درصد اسید سیتریک به‌عنوان فیلم بهینه به دلیل خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و ممانعتی مطلوب تعیین گردید. نتایج این تحقیق نشانگر قابلیت تولید فیلم بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر از تفاله لیموترش بود که می‌تواند افق جدیدی در زمینه چالش‌های دفع تفاله صنعتی ناشی از آب‌گیری لیموترش باز نموده و پتانسیلی برای جایگزینی پلاستیک‌های با منشا نفتی باشد.

## ۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مدیریت گروه و آزمایشگاه دانشگاه آزاداسلامی واحد تبریز کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

## ٦-منابع

[1] Otoni, C.G., Avena-Bustillos, R.J., Azeredo, H.M.C., Lorevice, M. V., Moura, M.R., Mattoso, L.H.C., and McHugh, T.H. (2017). Recent advances on edible films



[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]
[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

based on fruits and vegetables—a review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 16(5): 1151–1169.

[2] Nisar, T., Wang, Z.C., Yang, X., Tian, Y., Iqbal, M., and Guo, Y. (2018). Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. International Journal of Biological Macromolecules. 106: 670–680.

[3] Borah, P.P., Das, P., and Badwaik, L.S. (2017). Ultrasound treated potato peel and sweet lime pomace based biopolymer film development. Ultrasonics Sonochemistry. 36: 11–19.

[4] Bátori, V., Jabbari, M., Åkesson, D., Lennartsson, P.R., Taherzadeh, M.J., and Zamani, A. (2017). Production of Pectin-Cellulose Biofilms: A New Approach for Citrus Waste Recycling. International Journal of Polymer Science. 1-9.

[5] Karimi, N., Alizadeh, A., Almasi, H., and Hanifian, S. (2020). Preparation and characterization of whey protein isolate/polydextrose-based nanocomposite film incorporated with cellulose nanofiber and L. plantarum: A new probiotic active packaging system. International Journal of Food Science and Technology(LWT). 121:108978.

[6] Zabihollahi, N., Alizadeh, A., Almasi, H., Hanifian, S., and Hamishekar, H. (2020). Development and characterization of carboxymethyl cellulose based probiotic nanocomposite film containing cellulose nanofiber and inulin for chicken fillet shelf life extension. International Journal of Biological Macromolecules. 160:409-417.

[7] Sherafatkhah Azari, S., Alizadeh, A., Roufegarinejad, L., Asefi, N., and Hamishehkar, H. (2020). Preparation and characterization of gelatin/β-glucan nanocomposite film incorporated with ZnO nanoparticles as an active food packaging system. Journal of Polymers and the Environment. 29(12): 1-10.

[8] Talaei, S., and Kiani, A. (2015). Study on permeability of bionanocomposite film based on Tragacanth gum-Chitosan-Graphene oxide. Indian journal of fundamental and applied life sciences. 5: 25–31.

[9] Razavi, S.M.A., Amini, A.M., and Zahedi, Y. (2015). Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration. Food Hydrocolloids. 43: 290–298.

[10] Seyedi, S., Koocheki, A., Mohebbi, M., and Zahedi, Y. (2014). Lepidium perfoliatum seed gum: A new source of carbohydrate to make a biodegradable film. Carbohydrate Polymers. 101: 349–358.

[11] Wang, X., Sun, X., Liu, H., Li, M., and Ma, Z. (2011). Barrier and mechanical properties of carrot puree films. Food and Bioproducts Processing. 89(2):149–156.

[12] Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J., and Lenart, A. (2017). What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. Trends in Food Science and Technology. 67: 150–159.

[13] Mousavi Kalajahi, S.E., Alizadeh, A., Hamishehkar, H., Almasi, H., and Asefi, N. (2021). Orange Juice Processing Waste as a Biopolymer Base for Biodegradable Film Formation Reinforced with Cellulose Nanofiber and Activated with Nettle Essential Oil. Journal of Polymers and the Environment. 1-10.

[14] FAO, (2018). Food and Agriculture Organization of United Nation Cropping Database.

[15] Mosayebi, V., and Emam Djomeh, Z. (2017). Optimization of ultrasound assisted extraction of pectin from black mulberry (Morus nigra.L) pomace. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 13(4): 594–610 [In Persian].

[16] Amanpour, M., and Asefi, N. (2020). Effect of Ultrasound Time and Acid Type on the Qualitative Properties of Extracted High Methoxyl Pectin from Quince Fruit. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology. 15(1): 71–82 [In Persian].

[17] Zahedi, M., Hamidi-Esfahani, Z., and Ahmadi-Gavlighi, H. (2019). Optimization of Ultrasound-assisted Extraction of Pectin from Tomato Pomace Using Response Surface Methodology. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 15(1): 91–105 [In Persian].

[18] Hosseini, S.S., Khodaiyan, F., and Yarmand, M.S. (2016). Effect of acidic extraction conditions on yield and quality characteristics of pectin obtained from

[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]

[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

[28] Tibolla, H., Pelissari, F.M., Martins, J.T., Lanzoni, E.M., Vicente, A.A., Menegalli, F.C., and Cunha, R.L. (2019). Banana starch nanocomposite with cellulose nanofibers isolated from banana peel by enzymatic treatment: In vitro cytotoxicity assessment. Carbohydrate Polymers. 207: 169–179.

[29] Muñoz-Labrador, A., Moreno, R., Villamiel, M., and Montilla, A. (2018). Preparation of citrus pectin gels by power ultrasound and its application as an edible coating in strawberries. Journal of the Science of Food and Agriculture. 98(13): 4866–4875.

[30] Viana, R.M., Sá, N.M.S.M., Barros, M.O., de, M., Borges, F., and Azeredo, H.M.C. (2018). Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. Carbohydrate Polymers. 196: 27–32.

[31] Dashipour, A., Razavilar, V., Hosseini, H., Shojaee-Aliabadi, S., German, J.B., Ghanati, K., Khakpour, M., and Khaksar, R. (2015). Antioxidant and antimicrobial carboxymethyl cellulose films containing Zataria multiflora essential oil. International Journal of Biological Macromolecules. 72: 606–613.

[32] Dehnad, D., Mirzaei, H., Emam-Djomeh, Z., Jafari, S.M., and Dadashi, S. (2014). Thermal and antimicrobial properties of chitosan-nanocellulose films for extending shelf life of ground meat. Carbohydrate Polymers. 109: 148–154.

[33]Guo, Z., Ge, X., Yang, L., Gou, Q., Han, L., and Yu, Q. (2021). Utilization of watermelon peel as a pectin source and the effect of ultrasound treatment on pectin film properties. International Journal of Food Science and Technology(LWT). 147: 111569.

[34] Carvalho, R.A., Santos, T.A., de Azevedo, V.M., Felix, P.H.C., Dias, M.V., and Borges, S.V. (2018). Bio-nanocomposites for food packaging applications: effect of cellulose nanofibers on morphological, mechanical, optical and barrier properties. Polymer International. 67(4):386–392.

[35]Rezaei, M., Khodaiyan, F., Hosseini, S.S., and Kazemi, M. (2020). Microwave-Assisted Extraction Optimization of Pectin from Cucumis melo Peel and Its Physicochemical Properties. Iranian Journal of Biosystems Engineering. 51: 445–454[In Persian].

orange peel. Iranian Journal of Biosystems Engineering. 47(2): 231–242 [In Persian].

[19]Wang, L., Ding, J., Fang, Y., Pan, X., Fan, F., Li, P., and Hu, Q. (2020). Effect of ultrasonic power on properties of edible composite films based on rice protein hydrolysates and chitosan. Ultrasonics Sonochemistry. 65:105049.

[20] Ma, W., Rokayya, S., Xu, L., Sui, X., Jiang, L., and Li, Y. (2018). Physical-Chemical Properties of Edible Film Made from Soybean Residue and Citric Acid. Journal of Chemistry. 2018(1):1-8.

[21] Atef, M., Rezaei, M., and Behrooz, R. (2015). Characterization of physical, mechanical, and antibacterial properties of agar-cellulose bionanocomposite films incorporated with savory essential oil. Food Hydrocolloids. 45: 150–157.

[22]Jahed, E., Khaledabad, M.A., Bari, M.R., and Almasi, H. (2017). Effect of cellulose and lignocellulose nanofibers on the properties of Origanum vulgare ssp. gracile essential oil-loaded chitosan films. Reactive and Functional Polymers. 117: 70–80.

[23] Oun, A.A., and Rhim, J.W. (2015). Preparation and characterization of sodium carboxymethyl cellulose/cotton linter cellulose nanofibril composite films. Carbohydrate Polymers. 127: 101–109.

[24] Orsuwan, A., Shankar, S., Wang, L.F., Sothornvit, R., and Rhim, J.W. (2016). Preparation of antimicrobial agar/banana powder blend films reinforced with silver nanoparticles. Food Hydrocolloids. 60: 476–485.

[25] Sadeghi-Varkani, A., Emam-Djomeh, Z., and Askari, G. (2018). Physicochemical and microstructural properties of a novel edible film synthesized from Balangu seed mucilage. International Journal of Biological Macromolecules. 108: 1110–1119.

[26] Chen, W.C., Mohd Judah, S.N.M.S., Ghazali, S.K., Munthoub, D.I., Alias, H., Mohamad, Z., and Majid, R.A. (2021). The effects of citric acid on thermal and mechanical properties of crosslinked starch film. Chemical Engineering Transactions. 83: 199–204.

[27] Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., and Entezami, A.A. (2011). Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. Industrial Crops and Products. 33(1): 229–235.

[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]

[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

[36] Giteru, S.G., Coorey, R., Bertolatti, D., Watkin, E., Johnson, S., and Fang, Z. (2015). Physicochemical and antimicrobial properties of citral and quercetin incorporated kafirin-based bioactive films. Food Chemistry. 168: 341–347.

[37] Alizadeh-Sani, M., Khezerlou, A., and Ehsani, A. (2018). Fabrication and characterization of the bionanocomposite film based on whey protein biopolymer loaded with TiO2 nanoparticles, cellulose nanofibers and rosemary essential oil. Industrial Crops and Products. 124: 300–315.

[38] Lin, D., Zheng, Y., Wang, X., Huang, Y., Ni, L., Chen, X., Wu, Z., Huang, C., Yi, Q., Li, J., Qin, W., Zhang, Q., Chen, H., and Wu, D. (2020). Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. International Journal of Biological Macromolecules. 165: 1241–1249.

[39] Qazanfarzadeh, Z., and Kadivar, M. (2016). Properties of whey protein isolate nanocomposite films reinforced with nanocellulose isolated from oat husk. International Journal of Biological Macromolecules. 91: 1134–1140.

[40] Müller, P., Kapin, É., and Fekete, E. (2014). Effects of preparation methods on the structure and mechanical properties of wet conditioned starch/montmorillonite nanocomposite films. Carbohydrate Polymers. 113: 569–576.

[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]

[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

# Evaluating the effect of utilizing ultrasound and citric acid on the feasibility of producing biodegradable film based on lemon juicing waste

**Soofi, M. [1], Alizadeh, A. [2*], Hamishehkar, H. [3], Almasi, H. [4], Roufegarinejad, L. [5]**

1. Ph.D Student, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
3. Professor, Drug Applied Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.
4. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
5. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-20 ]

**ARTICLE INFO**

**Article History:**

Received 2021/ 07/ 26
Accepted 2021/ 09/ 23

**Keywords:**

Fruit waste,
Lemon,
Packaging film,
Ultrasound.

DOI: 10.52547/fsct.19.123.1

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2

*Corresponding Author E-Mail:
a.alizadeh@iaut.ac.ir

[ DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.7.2 ]

[ DOI: 10.52547/fsct.19.123.1 ]

**ABSTRACT**

The lemon juicing waste encompasses valuable bio-components that stimulated the development of novel and biodegradable films. This study aimed to investigate the feasibility of producing biodegradable films from lemon waste powder (LWP) (1, 3, and 5%) and subsequently evaluate the effect of ultrasonic and citric acid solution on mechanical and physical properties (thickness, solubility, water vapor permeability (WVP), color changes, and transparency) of LWP-based film samples. According to the results, elevating the LWP concentration from 1 to 5% had led to an increase in the tensile strength, thickness and color changes remarkably and decreases the solubility, water vapor permeability, and transparency of the film samples. However, utilizing 5% LWP had resulted in a reduction of elongation at the break value of the film samples compared to the prepared films from 3% LWP. The results also revealed a significant effect of utilizing ultrasonic and citric acid in improving the mechanical and physical properties of the film samples. Therefore, utilizing ultrasound and citric acid in the production of biodegradable LWP-based films could improve the functional characteristics of films. In conclusion, the sample prepared from 3% LWP and treated by ultrasound and prepared with 1% citric acid was selected as an optimum film sample with a desirable physical, mechanical and barrier properties.