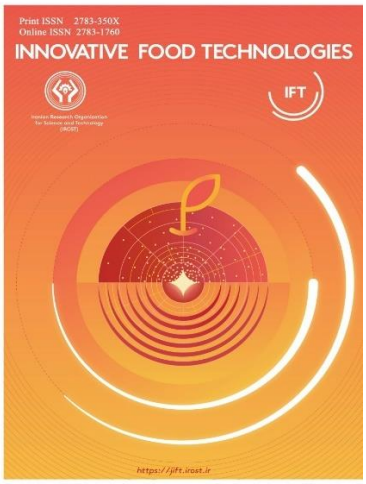
Journal Pre-proofs



The Effect of Rotational Speed and Applied Pressure During the Rubbing Process on Some Physical Properties of Black Tea

Mostafa Mahdavi, Mohsen Azadbakht, Ahmad Abbaszadeh Mayvan

DOI: https://doi.org/ 10.22104/ift.2025.7867.2237

To appear in: Innovative Food Technologies (IFT)

Received Date: 12 September 2025
Revised Date: 10 October 2025
Accepted Date: 14 October 2025

Please cite this article as: Mostafa Mahdavi, Mohsen Azadbakht, Ahmad Abbaszadeh Mayvan, The Effect of Rotational Speed and Applied Pressure During the Rubbing Process on Some Physical Properties of Black Tea , *Innovative Food Technologies (2025)*,
doi: https://doi.org/ 10.22104/ift.2025.7867.2237

This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

© 2023 The Author(s). Published by irost.org.

Journal Pre-proofs

Journal Pre-proofs

مقاله پژوهشی

تاثیر دور و فشار وارده در فرآیند مالش بر برخی خواص فیزیکی چای سیاه

مصطفی مهدوی[۱]، محسن آزادبخت[۲*]، احمد عباس زاده مایوان[۳]

[۱] -دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۲*] استاد، گروه آموزشی مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۳] استادیار، گروه آموزشی مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

رایانامه نویسنده مسئول: azadbakht@gau.ac.ir

چکیده

امروزه چای یکی از پرمصرف‌ترین نوشیدنی‌های جهان پس از قهوه است. مصرف سالانه چای در ایران در حدود صد و ده هزار تن است. این درحالی است که تولید چای کشور، تنها توانسته است نیمی از سرانه مصرفی را تامین کند. در این پژوهش دستگاه نیمه صنعتی مالش چای طراحی شد. همچنین سرعت دوران استوانه مالشی دستگاه و فشار وارد بر برگ سبز درون استوانه بررسی شد. در ابتدا، نمونه‌های تهیه و توزین شد. سپس به وسیله دستگاه مالش نیمه صنعتی طراحی شده با ظرفیت ده کیلوگرم، مالش داده شد. پارامترهای مستقل شامل سه سطح فشار 170، 340 و 680 کیلوگرم بر متر مربع و همچنین سه سرعت دورانی 20، 30 و 40 دور بر دقیقه انتخاب شد. در نهایت مقدار درصد شکست، زمان لول‌شدن و کیفیت حسی اندازه‌گیری گردید. بر طبق نتایج، افزایش دور دستگاه از 20 به 40 دور بر دقیقه، سبب افزایش 82 درصدی درصد شکست نمونه‌ها شده است. همچنین افزایش فشار استوانه دستگاه مالش از 170 به 680 کیلوگرم بر متر مربع، سبب افزایش 57 درصدی درصد شکست نمونه‌ها شده است. با افزایش فشار استوانه مالشی از 170 به 680 کیلوگرم بر متر مربع، زمان لول‌شدن نمونه‌ها به مقدار 46 درصد کاهش یافته است. با افزایش فشار استوانه مالشی، مقدار زمان مورد نیاز به منظور لول شدن نمونه‌ها کاهش معنی‌داری یافته است. در نهایت نتیجه شد که بهترین سطوح فاکتورهای مستقل و موثر بر درصد شکست، فاکتور فشار 170 نیوتن و سرعت دوران 20 دور بر دقیقه بوده است. در آزمون حسی نیز، بهترین عطر و طعم مربوط به نمونه‌های تحت فشار 340 نیوتن و سرعت دوران 30 دور بر دقیقه بود.

کلمات کلیدی: چای، مالش، درصد شکست، آزمون حسی، زمان.

۱- مقدمه

گیاه چای با نام علمی کاملیا ساینسیس (*Camellia sinesis*) و از خانواده تئاسیس (*Theaceae*) یکی از پرمصرف‌ترین نوشیدنی‌های مورد استفاده افراد در کشورهای مختلف جهان پس از قهوه است [1]. تاریخ دقیق مصرف چای در ایران مشخص نیست؛ اما تاریخچه مصرف آن را می‌توان به حدود دو هزار سال پیش نسبت داد [2]. بر اساس آمار منتشر شده در وبسایت سازمان فائو، تا حدود سال‌های ۱۳۸۰ ایران جزو پنج تولیدکننده برتر چای در جهان بود؛ اما به دلیل مشکلات بسیار صنعتی، هم اکنون رتبه ایران جزو 10 کشور برتر جهان نیز نمی‌باشد [3]. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که استان گیلان، نسبت به کشورهای هند و امارات متحده عربی (به عنوان صادرکننده‌های چای به ایران)، دارای مزیت نسبی و از نظر صادرات نسبت به کشورهای انگلستان، تاجیکستان، ترکمنستان، ازبکستان، افغانستان و اوگاندا دارای برتری نسبی است [4]. مهم‌ترین عنصر تشکیل‌دهنده گیاه چای کلروفیل، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، هورمون‌ها و ویتامین‌ها است [5].

مراحل تولید چای سیاه شامل برداشت، پلاساندن (Wilting)، مالش (Rolling)، اکسیداسیون (تخمیر) و خشک‌کردن است. در مرحله برداشت، شاخساره‌های جوان از سطح بوته چای به دو روش دستی و مکانیزه چیده می‌شود [6]. در روش دستی، تنها برگ‌های مورد نظر برداشت خواهد شد؛ اما در روش مکانیزه برداشت غیر انتخابی است. در مرحله پلاساندن، برگ‌های سبز چای بر روی دالان‌هایی پهن شده و برگ‌ها به منظور چروکیده‌شدن، به مدت مشخصی در معرض باد گرم و سرد قرار داده و آماده مرحله

Journal Pre-proofs

مالش می‌شوند [7]. در مرحله مالش ترکیبات پلی فنلی از سلول‌های برگ خارج شده و در مجاورت آنزیم پلی فنل اکسیداز و اکسیژن هوا، اکسید می‌شوند و ترکیبات شیمیایی مورد نیاز جهت تولید عطر و طعم را به وجود می‌آورند [8]. روش مرسوم مالش چای در ایران، روش رسمی (ارتدکس) است که نسبت به روش سی‌تی‌سی[1] در مقدار و نوع ترکیبات متفاوت است. در مرحله اکسیداسیون، چای مالش داده شده به روش ارتدکس، به مدت 150 دقیقه تخمیر می‌شود و در مرحله بعد برگ‌ها با جریان هوای گرم خشک خواهد شد [9]. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های پیشرفته‌تری به بررسی دقیق تأثیر پارامترهای فرآیند مالش بر کیفیت چای پرداخته است. به طور مشخص، Zhang و همکاران، (۲۰۲۳) با استفاده ترکیبی از متابولومیکس، زبان الکترونیکی و آنالیز رنگ، نتیجه گرفتند که افزایش فشار مالش در چای کانگو، موجب کاهش محتوای آمینواسیدها و کاتچین‌ها و افزایش غلظت تئافلاوین‌ها و تئاروبیجین‌ها شده است و در نهایت به تشکیل عطر و طعمی قوی‌تر و کیفیت حسی بالاتر منجر شد. این مطالعه اهمیت کنترل دقیق پارامترهای مکانیکی مالش در تعیین کیفیت شیمیایی و حسی نهایی چای را نشان داده است [10]. در مطالعه‌ای دیگر با رویکرد بهینه‌سازی، Hossain و همکاران، (۲۰۲۲) از روش سطح پاسخ (RSM) برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی همزمان فاکتور زمان و فشار مالش استفاده شد [11]. اگرچه این پژوهش‌ها به خوبی نقش محوری فشار را بر ویژگی‌های شیمیایی و حسی نشان داده، اما یک شکاف مهم را نمایان ساخته است. تأثیر همزمان و متقابل فشار با پارامتر کلیدی دیگر، یعنی سرعت دورانی (RPM)، و نیز اثرات این برهمکنش بر شاخص‌های عملیاتی-صنعتی حیاتی مانند «درصد شکست برگ» و «زمان فرآیند مالش» به اندازه کافی مورد کاوش قرار نگرفته است.

از طرف دیگر، استفاده از دستگاه مالش چای برای کشاورزان بسیار پر سود بوده و می‌توانند محصول خود را فرآوری و بدون واسطه به فروش برسانند. همچنین سعی شده است که محصول نهایی بدست آمده از این دستگاه، کیفیتی مطلوب‌تر از چای کارخانه‌ای داشته و عطر و طعمی مشابه با چای مالش داده شده با دست را دارا باشد. بنابرین، هدف از انجام این تحقیق، بهینه‌سازی دستگاه مالش چای به عنوان یکی از اصلی‌ترین بخش‌ها در روند فرآوری چای سیاه از طریق بررسی برای خواص فیزیکی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تعیین رطوبت

به منظور اندازه‌گیری رطوبت، نمونه‌های چای در درون آون قرار گرفت. نمونه‌ها در دمای 105 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در درون آون قرارگرفته و سپس رطوبت آن‌ها بر اساس استاندارد ۱۳۴-۱۲۹: (۱)۴۱ اندازه‌گیری شد [12][13].

۲-۲- تهیه نمونه‌ها

میزان 270 کیلوگرم چای رقم کلون ۱۰۰ بهاره درجه یک به صورت دستی از یکی از باغ‌های چای شهر کومله شهرستان لنگرود با شرایط رشد و کود دهی یکسان برداشت شد. محصول برداشت‌شده به مدت شش ساعت و در دمای 30 درجه سلسیوس نگهداری شده تا برگ‌های سبز چای پژمرده، یا به اصطلاح پلاس داده شود. پس از این مرحله، چای‌های پلاس داده‌شده در وزن‌های 10 کیلویی تقسیم شد. نمونه‌های وزن شده با توجه به جدول ۱ با دستگاه مالش خانگی با ظرفیت ده کیلوگرم، مالش داده شدند. در این آزمایش تاثیر متغییرهای مختلف، شامل میزان فشار که رابطه مستقیم با فاصله استوانه تا کف دستگاه دارد و همچنین دور دورانی استوانه بر حسب دور در دقیقه (RPM) بر درصد شکست، زمان لول شدن برگ سبز چای و خواص حسی چای بررسی شد. میزان فشار وارد بر نمونه‌های چای توسط قرار دادن وزنه بر روی استوانه فشار ایجاد شد. پارامترها شامل سه سطح فشار وارد شده بر چای 170، 340 و 680 کیلوگرم بر متر مربع و همچنین سه دور 20، 30 و 40 دور بر دقیقه انتخاب شد. دلیل استفاده نکردن از

[1] Curl Tear Crush

دورهای بالاتر، درصد شکست بیشتر چای در این مرحله بود. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند. این دستگاه در نرم افزار سالیدورکز شبیه‌سازی شد (شکل 1).

شکل (۱) دستگاه مالش ده کیلویی طراحی شده با سالیدورک

(۱.لنگی ۲.استوانه بارگیری چای ۳.صفحه فشار روی چای)

Figure (1): Ten-kilogram rubbing device designed with SolidWorks

1. Crank, 2. Tea loading cylinder, 3. Tea pressure plate

به منظور دستیابی به بهترین کیفیت در چای مالش داده شده، پس از تکمیل مراحل ساخت، به بررسی عوامل مختلفی که در کیفیت چای و همچنین دور مالش آن پرداخته شد. این عوامل شامل دور گردش استوانه و فشار وارده بر روی چای توسط صفحه فشار تعبیه شده بر روی استوانه بود (جدول ۱).

جدول (۱) فاکتورهای مستقل و وابسته اعمال شده در آزمایش

Table (1) Independent and Dependent Factors Applied in the Experiment

۳-۲- اندازه‌گیری درصد شکست، زمان و آزمون حسی

بررسی درصد شکست نمونه‌ها پس از اتمام مرحله مالش انجام شد. پس از انجام مرحله مالش، نمونه‌ها از دستگاه خارج شده و سپس به دقت تفکیک شدند. نمونه‌های شکسته شده به دقت از سایر نمونه‌ها جدا شده و توزین شدند. در مرحله آخر، درصد شکستگی نمونه‌ها به کل نمونه‌های موجود در دستگاه محاسبه و گزارش شد. همچنین ارزیابی زمان نیز به اینگونه انجام شدکه زمان شروع فرآیند مالش تا زمان لول شدن نمونه‌های چای اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری زمان لول شدن برگ چای و عدم وجود روش واحد، زمان لول شدن برگ چای به طریق تجربی انجام شد. بدین گونه که عمل مالش تا زمان لول شدن و یا شکستن بیش از ۹۰ درصد برگ‌های چای ادامه پیدا کرد. به منظور تعیین نقطه نهایی لول‌شدن نمونه‌ها، هر ۲ دقیقه یکبار، یک نمونه ۱۰ گرمی از دستگاه خارج و مورد بررسی قرار گرفته و در مرحله بعد، نمونه‌های لول‌شده و یا شکسته‌شده جدا و توزین شد. در نهایت با استفاده از رابطه ۱ مقدار درصد لول‌شدن نمونه‌ها محاسبه گردید.

$$\text{درصد لول شدگی} = \frac{\text{وزن نمونه شکسته} + \text{وزن نمونه لول شده}}{\text{وزن کل نمونه}} \qquad \text{رابطه ۱}$$

زمانی که بیش از ۹۰ درصد نمونه چای خروجی از دستگاه لول شده و یا ترکیبی از لول‌شدن و شکستگی مشاهده شد، زمان طی شده به منظور مالش اندازه‌گیری و ثبت شد.

آزمون حسی به روش چشایی و به کمک روش هدونیک ۵ تایی انجام شد و شامل تعیین امتیاز رویت، رنگ، تفاله، عطر و طعم توسط ده نفر متخصص در زمینه مالش و تولید چای بوده است. در تعیین امتیاز رویت، میزان پیچیدگی، یکدستی و مشکی بودن ذرات چای خشک و عدم وجود ضایعات دارای اهمیت بوده است. منظور از رنگ، میزان شفافیت و پررنگ بودن نوشابه حاصل از دم کردن چای است. هر کدام از موارد میزان پیچیدگی، یکدستی و مشکی بودن ذرات چای خشک، عدم وجود ضایعات، شفافیت و پررنگ بودن نوشابه دارای امتیازی معادل با عدد ۱ تا ۵ قرار داده شد. به طوریکه بهترین میزان هر فاکتور در نمونه توانست نمره ۵ را به خود اختصاص دهد. به منظور تهیه چای، مقدار ۳ گرم از نمونه‌های چای خشک، با ۱۵۰ میلی‌لیتر آب جوش (دمای ۱۰۰ درجه سلیسیوس) دم‌آوری شد. زمان دم‌آوری تمامی نمونه‌ها ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد. ارزیابی‌های انجام‌شده در یک اتاق ثابت، با نور یکنواخت و عاری از هرگونه بو انجام پذیرفت. جدول ۲ سوالات آزمون حسی را نشان داده است.

Journal Pre-proofs

جدول (۲) سوالات آزمون حسی
Table (2) Sensory Test Questions

۴-۲- طرح آزمایش

فاکتورهای مستقل این تحقیق شامل سرعت گردش پره‌ها 20، 30 و 40 دور بر دقیقه و فشار وارد شده بر چای 170، 340 و 680 کیلوگرم بر متر مربع است. فاکتورهای وابسته شامل درصد شکست، زمان و آزمون حسی مورد بررسی قرار گرفته است. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار صورت گرفت و داده‌های بدست آمده از آن با استفاده از نرم‌افزار SAS و آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی اثر متقابل این فاکتورها از روش LSD استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- مقدمه

در این پژوهش، به منظور ارزیابی صحیح چای رطوبت نمونه‌های مورد نظر نیز اندازه‌گیری شد. رطوبت چای سیاه تازه و رطوبت نهایی نمونه‌های چای خشک شده به ترتیب 78.26 و 3.29 درصد بر پایه تر بود.

۲-۳- آزمون کیفی

جدول آنالیز واریانس مقدار فاکتورهای درصد شکست و زمان در طی فرایند مالش چای در جدول ۴-۲ نشان داده شده است. در قسمت بررسی درصد شکست نتیجه شد که فاکتور مستقل دور، فشار و اثر متقابل دور در فشار دستگاه دارای تاثیر معناداری در سطح 1 درصد بر مقدار درصد شکست چای بود. در فاکتور وابسته زمان، مقدار سطوح دور و اثر متقابل دور در فشار (دور×فشار) نتوانستند تاثیر معناداری بر مقدار زمان داشته باشد. اما مشاهده شد که مقدار فشار استوانه دستگاه تاثیر معناداری در سطح 1 درصد بر مقدار فاکتور وابسته زمان داشته است. همچنین به طور کلی، با در نظر گرفتن مقادیر میانگین مربعات (MS) مشاهده شد که بیشترین تاثیر را فاکتور مستقل دور بر درصد شکست و فاکتور مستقل فشار بر زمان به ترتیب با مقدار 90.17 (درصد) و 3436.52 (ثانیه) داشته است.

جدول (۳) بررسی آنالیز واریانس مقدار فاکتورهای وابسته در طی فرایند
Table (3) Analysis of Variance (ANOVA) of Dependent Factor Values during the Process

۳-۳- درصد شکست

شکل ۲ اثر متقابل فاکتور دور و فشار دستگاه را بر روی میزان درصد شکست چای نشان داده است. بر طبق شکل نتیجه شد که مقدار درصد شکست، با افزایش دور و فشار استوانه دستگاه افزایش معنی‌داری داشته است. همچنین بیشترین و کمترین مقدار درصد شکست 19.43 درصد (فشار 680 نیوتن-دور 40 دور بر دقیقه) و 7.1 درصد (فشار 170 نیوتن-دور 20 دور بر دقیقه) نتیجه شد. دلیل این مشاهده را می‌توان اینگونه توجیه کرد. افزایش دور و فشار صفحه استوانه‌ای دستگاه مالش سبب ایجاد اصطکاک بیشتر نمونه‌های چای با بدنه دستگاه و در نتیجه شکستگی بیشتر در برگ چای شده است. نتایج مشاهده شده در این تحقیق مشابه نتایج تحقیق شالهورن و همکاران، ۲۰۱۰ بوده است (Shallhorn et al., 2010). آن‌ها نیز وجود رابطه مستقیم بین میزان فشار صفحه مالش چای و مقدار درصد شکست چای را گزارش کردند.

Journal Pre-proofs

شکل (۲) اثرمتقابل فاکتور دور و فشار دستگاه بر روی میزان درصد شکست

Figure (2) Interaction effect of device speed and pressure factors on the percentage of breakage

۴-۳- زمان لول‌شدن

در شکل ۳ اثر فاکتور مستقل فشار استوانه مالشی دستگاه بر مقدار زمان لول شدن نمونه‌های چای نشان داده‌شده است. بر طبق شکل نتیجه گیری شد که با افزایش سطوح مقدار فشار استوانه بر نمونه‌ها، مقدار زمان کاهش معنی‌داری داشته است. بیشترین و کمترین مقدار فاکتور وابسته زمان 85.107 درصد (فشار 170 نیوتن) و 46.049 درصد (فشار 680 نیوتن) مشاهده شد. به وضوح مشخص شده است که افزایش سطوح مقدار فشار استوانه مقدار زمان خشک شدن به دلیل خروج سریع محتوای رطوبتی از نمونه‌ها کاهش یافته است. به طور کلی دلیل کاهش مقدار زمان خشک‌شدن را می‌توان اینگونه توجیه کرد. به بیان دیگر، افزایش مقدار فشار استوانه دستگاه سبب افزایش تخریب سلولی چای شده است. افزایش فشار مکانیکی، دیواره سلول‌های برگ چای را بیشتر از فشارهای دیگر شکسته و به هم فشرده ساخته است. در نتیجه، توانایی خروج رطوبت از محصول افزایش یافته است. رابطه مستقیم بین توانایی خروج رطوبت از سلول‌های چای و زمان لول‌شدن می‌تواند دلیل دیگری بر نتایج حاصل در این قسمت بوده باشد. تحقیقی توسط Hau و همکاران، (۲۰۲۵) با موضوع مهاجرت آب و تغییرات فیزیکوشیمیایی پیشرفته در برگ‌های چای فشرده شده انجام شد. آن‌ها نتایج مشابهی را دریافتند. نتایج آن‌ها نشان داد که فشردن برگ‌های چای سبب باز شدن روزنه‌ها، مهاجرت آب از ساقه‌ها به رگبرگ‌های برگ و کاهش آب آزاد خواهد شد [14].

شکل (۳) اثر فشار استوانه بر مقدار زمان

Figure (3) Effect of Cylinder Pressure on Time Duration

۵-۳- آزمون حسی

در بخش آزمون حسی، فاکتورهای وابسته امتیاز رویت، رنگ، تفاله، عطر و طعم توسط افراد مختلف مورد بررسی قرار گرفت. سپس با توجه به امتیازات داده شده، بهترین نمونه مورد آزمایش انتخاب شد. فاکتورهای مستقل در این بخش شامل سرعت دوران استوانه و فشار وارد بر برگ سبز درون استوانه بود. در نهایت نتیجه شد که نمونه‌های تحت شرایط سرعت دوران و فشار استوانه به ترتیب 30 دور بر دقیقه و 340 نیوتن دارای بهترین کیفیت از نظر بررسی طعم و عطر بوده است. این میزان سرعت و فشار مقادیر میانی سطوح فاکتورهای مستقل بودند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی درصد شکست، زمان لول شدن و ارزیابی حسی نمونه‌های چای در اثر فاکتورهای دور و فشار دستگاه پرداخته شد. به طور میانگین افزایش دور دستگاه از 20 به 40 دور بر دقیقه، سبب افزایش 82 درصدی درصد شکست نمونه‌ها شده است. همچنین افزایش فشار استوانه دستگاه مالش از 170 به 680 کیلوگرم بر متر مربع، سبب افزایش 57 درصدی درصد شکست نمونه‌ها شده است. در بخش بررسی زمان لول شدن نیز نتیجه شد که تنها فاکتور مستقل فشار اثر معنی‌داری بر مقدار زمان لول شدن نمونه‌ها داشته است. با افزایش فشار استوانه مالشی از 170 به 680 کیلوگرم بر متر مربع، زمان لول‌شدن نمونه‌ها به مقدار 46 درصد کاهش یافته است. در بررسی کیفیت حسی نمونه‌ها نیز نتیجه شد که به ترتیب نمونه‌های تحت شرایط سرعت دوران و فشار استوانه با 30 دور بر دقیقه و 340 نیوتن دارای بهترین کیفیت از نظر بررسی طعم و عطر بوده است. در نهایت نتیجه شد که بهترین سطوح فاکتورهای مستقل و موثر بر درصد شکست فاکتور فشار 170 نیوتن و سرعت دوران 20 دور بر دقیقه بوده است. همچنین در فشار 680 نیوتن کمترین زمان لول شدن برگ سبز چای نتیجه شد. در آزمون حسی نیز، بهترین عطر و طعم مربوط به نمونه‌های تحت فشار 340 نیوتن و سرعت دوران 30 دور بر دقیقه بود.

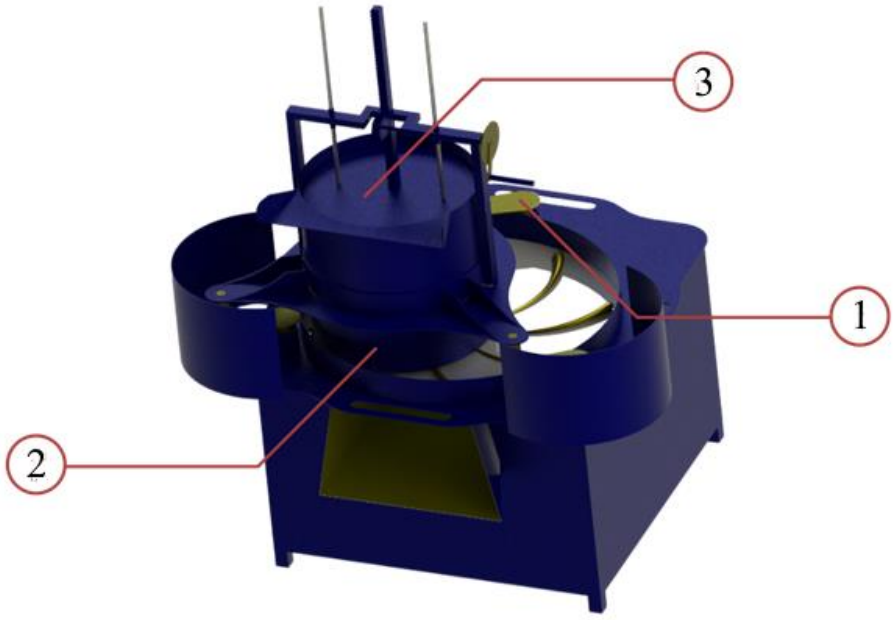
منابع

Journal Pre-proofs

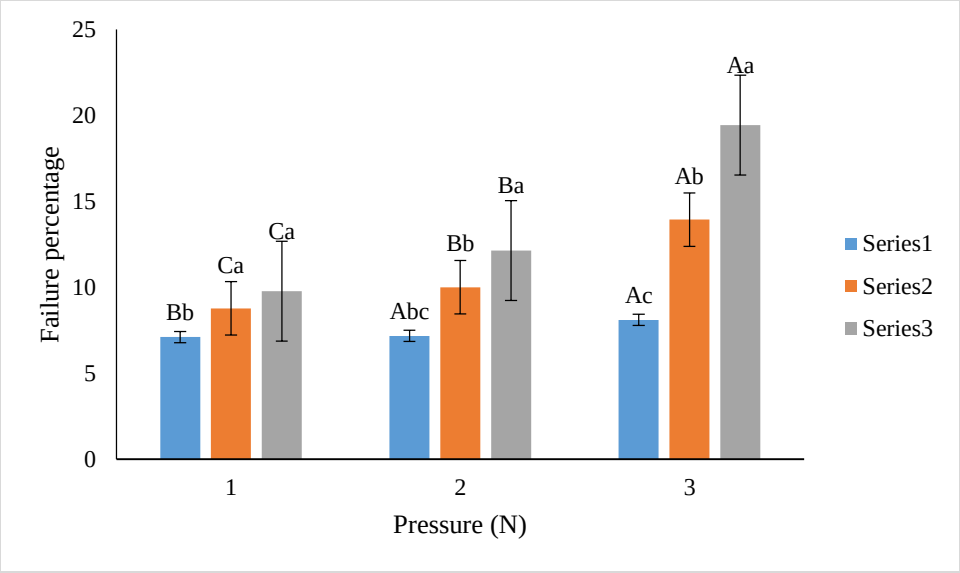
[1] Nair, K. P. (2020). Tea (Camellia sinensis L.). In Tree Crops: Harvesting Cash from the World's Important Cash Crops. Cham: Springer International Publishing, 333-362. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62140-7-9.
[2] Safarinejad, M. R. (2007). Adult urolithiasis in a population-based study in Iran: prevalence, incidence, and associated risk factors. Urological research, 35(2), 73-82. https://doi.org/10.1007/s00240-007-0084-6.
[3] Abdolmohammadi, P., & Cama, G. (2020). The Main Institutional and Social Players in Iran. In Contemporary Domestic and Foreign Policies of Iran. Cham: Springer International Publishing, 89-127. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45336-7-4.
[4] Noorzai, M. T., & Kutlar, A. (2025). Afghanistan's Agricultural Export Advantage: A Comparative Study (2011-2019) with Focus on Key Trading Partners (Iran, Pakistan, Tajikistan, India, and Turkey). Sakarya Üniversitesi İktisat Dergisi, 14(1), 1-28. https://doi.org/10.37460/sid.1536433.
[5] Turkiewicz, I. P., Wojdyło, A., Tkacz, K., & Nowicka, P. (2020). Carotenoids, chlorophylls, vitamin E and amino acid profile in fruits of nineteen Chaenomeles cultivars. Journal of Food Composition and Analysis, 93, 103608. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103608.
[6] Pou, K. J., Paul, S. K., & Malakar, S. (2019). Industrial processing of CTC black tea. In Caffeinated and cocoa based beverages. Woodhead Publishing, 8, 131-162. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815864-7.00004-0.
[7] Abhiram, G. (2024). The evolution of tea harvesting: a comprehensive review of machinery and technological advancements. Journal of Biosystems Engineering, 49(4), 346-367. https://doi.org/10.1007/s42853-024-00238-9.
[8] Tang, M. G., Zhang, S., Xiong, L. G., Zhou, J. H., Huang, J. A., Zhao, A. Q., ... & Liu, A. L. (2023). A comprehensive review of polyphenol oxidase in tea (Camellia sinensis): Physiological characteristics, oxidation manufacturing, and biosynthesis of functional constituents. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22(3), 2267-2291. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13146.
[9] Pou, K. J., Paul, S. K., & Malakar, S. (2019). Industrial processing of CTC black tea. In Caffeinated and cocoa based beverages. Woodhead Publishing, 131-162. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815864-7.00004-0.
[10] Zhang, S., Wu, S., Yu, Q., Shan, X., Chen, L., Deng, Y., ... & Li, J. (2023). The influence of rolling pressure on the changes in non-volatile compounds and sensory quality of congou black tea: The combination of metabolomics, E-tongue, and chromatic differences analyses. Food Chemistry: X, 20, 100989.
[11] Hossain, M. A., Ahmed, T., Hossain, M. S., Dey, P., Ahmed, S., & Hossain, M. M. (2022). Optimization of the factors affecting BT-2 black tea fermentation by observing their combined effects on the quality parameters of made tea using Response Surface Methodology (RSM). Heliyon, 8(2).
[12] Azadbakht, M., Torshizi, M. V., Ziaratban, A., & Ghajarjazi, E. (2016). Application of Artificial Neural Network (ANN) in predicting mechanical properties of canola stem under shear loading. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 18(2), 413-425.
[13] Marsilio, V., Lanza, B., Campestre, C., & De Angelis, M. (2000). Oven-dried table olives: textural properties as related to pectic composition. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(8), 1271-1276. doi: 10.1002/1097-0010(200006)80.
[14] Hao, Z., Wang, J., Zhuang, J., Feng, X., Lv, H., Feng, J., ... & Chu, Q. (2025). Another inner truth of shaking: Water migration and transformation-advanced physicochemical alterations in tea leaves. Food Chemistry, 467, 142338.

Journal Pre-proofs

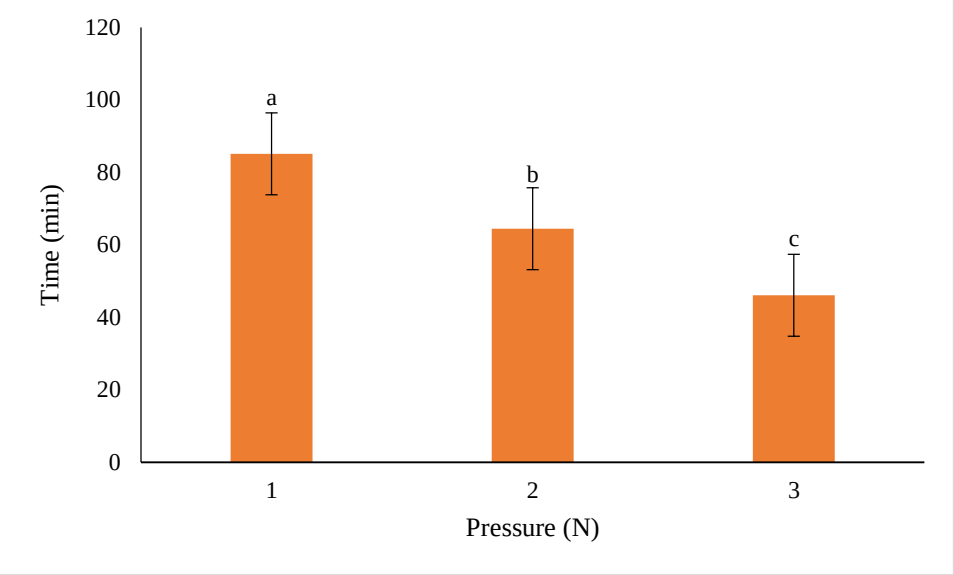
شکل‌ها



Journal Pre-proofs



Journal Pre-proofs



Journal Pre-proofs

جدول‌ها

	Level 1	Level 2	Level 3
RPM	20	30	40
Pressure Applied to Tea (Kg/m²)	170	340	680
Measurement Indicators	1) Tea failure percentage 2) Time 3) Sensory quality		

Journal Pre-proofs

Parameters		Score Level				
Color	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	1	2	3	4	5
Integrity	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	1	2	3	4	5
Absence of waste	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	1	2	3	4	5
Fragrance	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	1	2	3	4	5
Taste	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	1	2	3	4	5
The degree of transparency	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	1	2	3	4	5

Journal Pre-proofs

Journal Pre-proofs

Failure percentage (%)			
Parameters	df	Mean square	F value
RPM	2	90.17	438.69**
Pressure	2	68.69	334.19**
RPM × pressure	4	15.13	73.59**
Time (s)			
RPM	2	403.27	Ns1.23
Pressure	2	3436.52	10.48**
RPM × pressure	4	71.40	Ns0.22

Journal Pre-proofs

Journal Pre-proofs

The Effect of Rotational Speed and Applied Pressure During the Rubbing Process on Some Physical Properties of Black Tea

[1]Mostafa Mahdavi, [2*]Mohsen Azadbakht, [3]Ahmad Abbaszadeh Mayvan

[1] Msc Graduated of Department of Biosystem Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

[2*] Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

[3] Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Corresponding author email: azadbakht@gau.ac.ir

Introduction: Tea, scientifically known as Camellia sinensis, is the second most popular beverage in the world after water, and often considered the most popular after coffee. Although the exact history of tea consumption in Iran is unclear, evidence suggests a two-thousand-year background. Until around the early 2000s, Iran was among the top five tea producers globally. However, Gilan Province remains a primary hub for tea production and export within Iran. The black tea production process involves main steps including harvesting, withering, rolling, oxidation (fermentation), and drying. The rolling stage, during which polyphenolic compounds are released from the leaf cells, plays a key role in developing the desired aroma and flavor of tea. In Iran, the conventional method for tea rolling is the orthodox method, which differs from the CTC (Crush, Tear, Curl) method. The aim of the present research is to optimize the tea rolling machine. This study focuses on the effects of rotational speed and applied pressure during the rolling process on key physical properties of black tea.

Material and methods: A total of 270 kg of first-grade spring-harvested leaves of Clone 100 was manually harvested from a tea garden in Kumleh, Langarud County, under uniform growth and fertilization conditions. The harvested leaves were kept for six hours at 30°C to wither the green tea leaves. After this stage, the withered tea leaves were divided into 10 kg batches. The weighed samples were rolled using a 10 kg capacity domestic rolling machine according to Table 1. This study investigated the effects of different variables, including pressure and the rotational speed of the cylinder (RPM), on the percentage of breakage, rolling time of green tea leaves, and sensory properties of the tea. The parameters included three levels of applied pressure on the tea (170, 340, and 680 kg/m²) and three rotational speeds (20, 30, and 40 RPM). Higher speeds were not used due to the increased breakage rate of the tea at those levels. The experiments were conducted in three replicates. The machine was simulated using SolidWorks software.

Results and discussion: The results of this research indicated that, on average, increasing the machine's rotational speed from 20 to 40 RPM resulted in an 82% increase in the breakage percentage of the samples. Similarly, increasing the pressure of the rolling cylinder from 170 to 680 kg/m² led to a 57% increase in the breakage percentage. Furthermore, elevating the rolling cylinder pressure from 170 to 680 kg/m² reduced the samples' rolling time by 46%. The increase in rolling cylinder pressure resulted in a significant reduction in the time required for the rolling of the samples.

Conclusion: The analysis of sample breakage revealed that both increased rotational speed and pressure significantly raised the breakage percentage. In the analysis of rolling time, results indicated that only the independent factor of pressure had a significant effect on the rolling time of the samples. As the rolling cylinder pressure increased, the required drying time for the samples decreased significantly. In evaluating the sensory quality of the samples, it was concluded that the samples subjected to a rotational speed and cylinder pressure of 30 RPM and 340 N, respectively, exhibited the best quality in terms of flavor and aroma. In conclusion, this study demonstrates that intermediate levels of pressure and speed (340 N and 30 RPM) offer an optimal compromise, minimizing processing time and leaf breakage while maximizing the desired sensory attributes of the final tea product.

Keywords: Tea, Rubbing, Breakage Percentage, Sensory Evaluation, Time.