

مقاله پژوهشی

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

مصطفی مهدوی^۱، محسن آزادبخت^{۲*}، احمد عباس‌زاده 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

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۶/۲۱، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲)

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 kg/m^2 ، 340 و 680 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 مالش از 170 به 680 kg/m^2 ، سبب افزایش 57 درصدی شکست نمونه‌ها شده است. با افزایش فشار استوانه مالشی از 170 به 680 kg/m^2 ، زمان لول‌شدن نمونه‌ها به مقدار 46% 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 N 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 sinensis*) و از خانواده تتاسیس (*Theaceae*) یکی از پرمصرف‌ترین نوشیدنی‌های مورد استفاده افراد در کشورهای مختلف جهان پس از قهوه است [۱]. تاریخ دقیق مصرف چای در ایران مشخص نیست؛ اما تاریخچه مصرف آن را می‌توان به حدود دو هزار سال پیش نسبت داد [۲]. براساس آمار منتشرشده 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 ۱۰ کشور برتر جهان نیز نمی‌باشد [۳]. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که استان گیلان، نسبت به کشورهای هند و امارات متحده عربی (به‌عنوان 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 [۴]. مهم‌ترین عنصر تشکیل‌دهنده گیاه چای کلروفیل، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، هورمون‌ها و ویتامین‌ها است [۵].

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 [۶]. در روش دستی، تنها برگ‌های موردنظر برداشت خواهد شد؛ اما در روش مکانیزه برداشت غیر انتخابی است. در مرحله پلاساندن، برگ‌های سبز چای بر روی دالان‌هایی پهن‌شده و برگ‌ها به‌منظور چروکیده‌شدن، به‌مدت مشخصی در معرض باد گرم و سرد قرار داده و آماده مرحله مالش می‌شوند [۷]. 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 موردنیاز جهت تولید عطر و طعم را به وجود می‌آورند [۸]. روش مرسوم مالش چای در ایران، روش رسمی (ارتدکس) است که نسبت به روش سی‌تی‌سی ۱ در مقدار و نوع ترکیبات متفاوت است. در مرحله اکسیداسیون، چای مالش داده شده

به روش ارتدکس، به مدت ۱۵۰ دقیقه تخمیر می‌شود و در مرحله بعد برگ‌ها با جریان هوای گرم خشک خواهد شد [۹]. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های پیشرفته‌تری به بررسی دقیق تأثیر پارامترهای فرآیند مالش بر کیفیت چای پرداخته است. به‌طور 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 تنافلاوین‌ها 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 [۱۰]. 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 [۱۱]. اگرچه این پژوهش‌ها به‌خوبی 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» به‌اندازه کافی مورد کاوش قرار نگرفته است.

از طرف دیگر، استفاده از دستگاه مالش چای برای کشاورزان بسیار پر سود بوده و می‌تواند محصول خود را فرآوری و بدون واسطه به فروش برسانند. همچنین سعی شده است که محصول نهایی به‌دست 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. بنابراین، 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

به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت، نمونه‌های چای در درون آون قرار گرفت. نمونه‌ها در دمای 105°C تا رسیدن به وزن

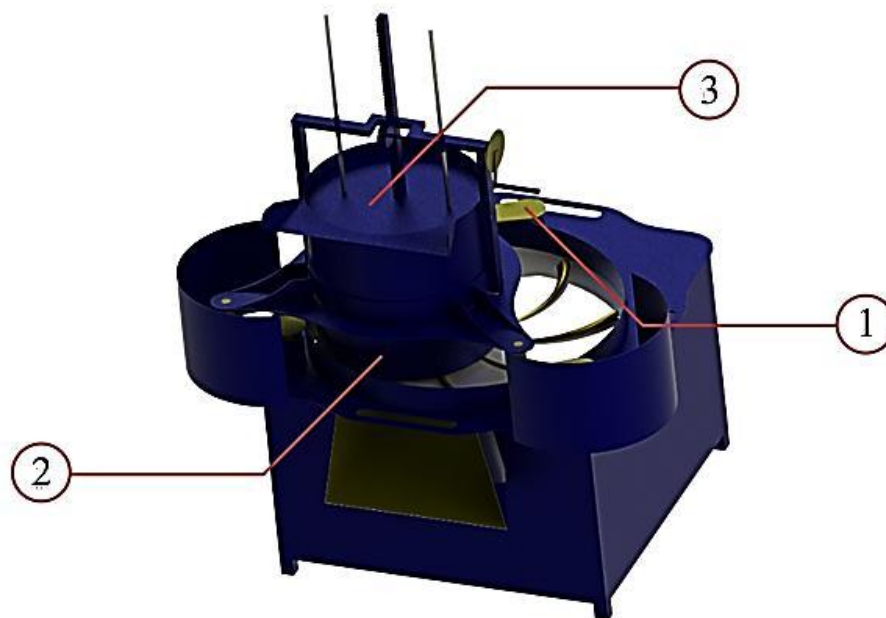
1. Curl Tear Crush

شدند. در این آزمایش تأثیر متغیرهای 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 ۱۷۰، ۳۴۰ و kg/m^2 و ۶۸۰ و همچنین سه دور ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دور بر دقیقه انتخاب شد. دلیل استفاده نکردن از دورهای بالاتر، درصد شکست بیشتر چای در این مرحله بود. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند. این دستگاه در نرم‌افزار سالی‌دورکز شبیه‌سازی شد (شکل ۱).

ثابت در درون آن قرار گرفته و سپس رطوبت آن‌ها بر اساس استاندارد ۱۳۴-۱۲۹: ۴۱(۱) اندازه‌گیری شد [۱۲][۱۳].

۲.۲. تهیه نمونه‌ها

میزان ۲۷۰ kg چای رقم کلون ۱۰۰ بهاره درجه یک به صورت دستی از یکی از باغ‌های چای شهر کومله شهرستان لنگرود با شرایط رشد و کوددهی یکسان برداشت شد. محصول برداشت شده به مدت شش ساعت و در دمای 30°C نگهداری شده تا برگ‌های سبز چای پژمرده، یا به اصطلاح پلاس داده شود. پس از این مرحله، چای‌های پلاس داده شده در وزن‌های ۱۰ کیلویی تقسیم شد. نمونه‌های وزن شده با توجه به جدول (۱) با دستگاه مالش خانگی با ظرفیت ده کیلوگرم، مالش داده



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

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

Fig. 1. Ten-kilogram rubbing device designed with SolidWorks

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

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).

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

جدول (۱) فاکتورهای مستقل و وابسته اعمال شده در آزمایش
Table 1. Independent and Dependent Factors Applied in the Experiment

	Level 1	Level 2	Level 3
RPM	۲۰	۳۰	۴۰
Pressure Applied to Tea (Kg/m ²)	۱۷۰	۳۴۰	۶۸۰
Measurement Indicators	1) Tea failure percentage 2) Time 3) Sensory quality		

عطر و طعم توسط ده نفر متخصص در زمینه مالش و تولید چای بوده است. در تعیین امتیاز رویت، میزان پیچیدگی، یک‌دستی و مشکی‌بودن 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 مشکی‌بودن ذرات چای خشک، عدم وجود ضایعات، شفافیت و پررنگ بودن نوشابه دارای امتیازی معادل با عدد ۱ تا ۵ قرار داده شد. به‌طوری‌که بهترین میزان هر فاکتور در نمونه توانست نمره ۵ را به خود اختصاص دهد. به‌منظور تهیه چای، مقدار ۳ g از نمونه‌های چای خشک، با ۱۵۰ ml آب جوش (دمای ۱۰۰ °C) 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) سؤالات آزمون حسی را نشان داده است.

۲.۴. طرح آزمایش

فاکتورهای مستقل این تحقیق شامل سرعت گردش پره‌ها ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دور بر دقیقه و فشار وارد شده بر چای ۱۷۰، ۳۴۰ و ۶۸۰ kg/m² است. فاکتورهای وابسته شامل درصد شکست، زمان و آزمون حسی مورد بررسی قرار گرفته است. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار صورت گرفت و داده‌های به‌دست آمده از آن با استفاده از نرم‌افزار SAS و آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همچنین به‌منظور بررسی اثر متقابل این فاکتورها از روش LSD استفاده گردید.

۲.۳. 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 به‌دقت تفکیک شدند. نمونه‌های شکسته‌شده به‌دقت 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 شد که زمان شروع فرآیند مالش تا زمان لول‌شدن نمونه‌های چای اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری زمان لول‌شدن برگ چای و عدم وجود روش واحد، زمان لول‌شدن برگ چای به‌طریق تجربی انجام شد. بدین‌گونه که عمل مالش تا زمان لول‌شدن و یا شکستن بیش از ۹۰٪ برگ‌های چای ادامه پیدا کرد. به‌منظور تعیین نقطه نهایی لول‌شدن نمونه‌ها، هر ۲ دقیقه یک‌بار، یک نمونه ۱۰ g 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.

$$(۱) \quad \frac{\text{وزن نمونه شکسته} + \text{وزن نمونه لول شده}}{\text{وزن کل نمونه}} = \text{درصد لول شدگی}$$

زمانی که بیش از ۹۰٪ نمونه چای خروجی از دستگاه لول‌شده 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،



جدول (۲) سوالات آزمون حسی

Table (2) Sensory Test Questions

Parameters	Score Level					
	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
Color	Equivalent score	۱	۲	۳	۴	۵
Integrity	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	۱	۲	۳	۴	۵
Absence of waste	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	۱	۲	۳	۴	۵
Fragrance	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	۱	۲	۳	۴	۵
Taste	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	۱	۲	۳	۴	۵
The degree of transparency	Quality score	Weak	Bad	Average	Good	Great
	Equivalent score	۱	۲	۳	۴	۵

۳. نتایج و بحث

۱.۳. مقدمه

فاکتور مستقل دور، فشار و اثر متقابل دور در فشار دستگاه دارای تأثیر معناداری در سطح ۱٪ بر مقدار درصد شکست چای بود. در فاکتور وابسته زمان، مقدار سطوح دور و اثر متقابل دور در فشار (دور × فشار) نتوانستند تأثیر معناداری بر مقدار زمان داشته باشد. اما مشاهده شد که مقدار فشار استوانه دستگاه تأثیر معناداری در سطح ۱٪ بر مقدار فاکتور وابسته زمان داشته است. همچنین به‌طور کلی، با در نظر گرفتن مقادیر میانگین مربعات (MS) مشاهده شد که بیشترین تأثیر را فاکتور مستقل دور بر درصد شکست و فاکتور مستقل فشار بر زمان به ترتیب با مقدار ۹۰.۱۷٪ و ۳۴۳۶.۵۲ (ثانیه) داشته است.

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی صحیح چای رطوبت نمونه‌های موردنظر نیز اندازه‌گیری شد. رطوبت چای سیاه تازه و رطوبت نهایی نمونه‌های چای خشک‌شده به ترتیب ۷۸.۲۶٪ و ۳.۲۹٪ بر پایه‌تر بود.

۲.۳. آزمون کیفی

جدول آنالیز واریانس مقدار فاکتورهای درصد شکست و زمان در طی فرایند مالش چای در جدول (۲-۴) نشان داده شده است. در قسمت بررسی درصد شکست نتیجه شد که

جدول (۳) بررسی آنالیز واریانس مقدار فاکتورهای وابسته در طی فرایند

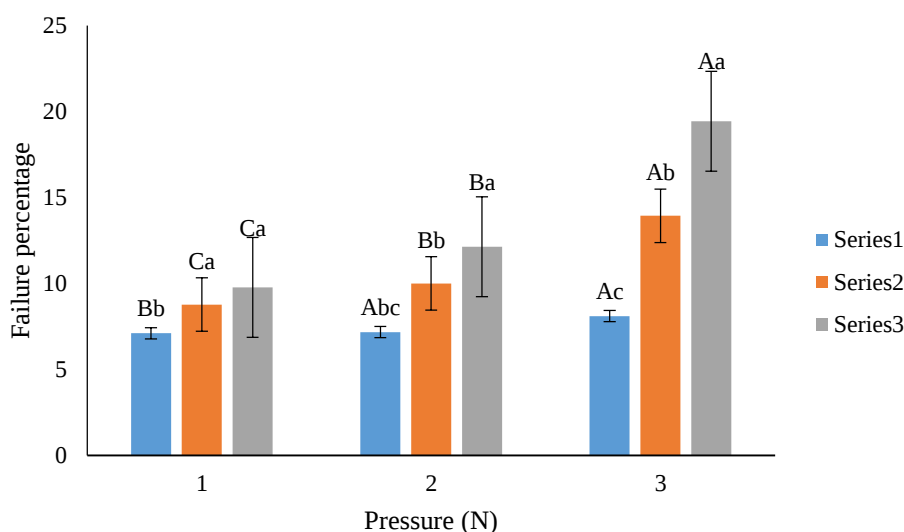
Table (3) Analysis of Variance (ANOVA) of Dependent Factor Values during the Process

Failure percentage (%)			
Parameters	df	Mean square	F value
RPM	۲	۹۰/۱۷	***۴۳۸/۶۹
Pressure	۲	۶۸/۶۹	***۳۳۴/۱۹
RPM × pressure	۴	۱۵/۱۳	***۷۳/۵۹
Time (s)			
RPM	۲	۴۰۳/۲۷	Ns ۱/۲۳
Pressure	۲	۳۴۳۶/۵۲	** ۱۰/۴۸
RPM × pressure	۴	۷۱/۴۰	Ns ۰/۲۲

۳.۳. درصد شکست

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.

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 ۱۹/۴۳٪ (فشار ۶۸۰ نیوتن-دور ۴۰ دور بر دقیقه) و ۷/۱٪ (فشار ۱۷۰ نیوتن-دور ۲۰ دور بر دقیقه) نتیجه شد. دلیل این مشاهده را



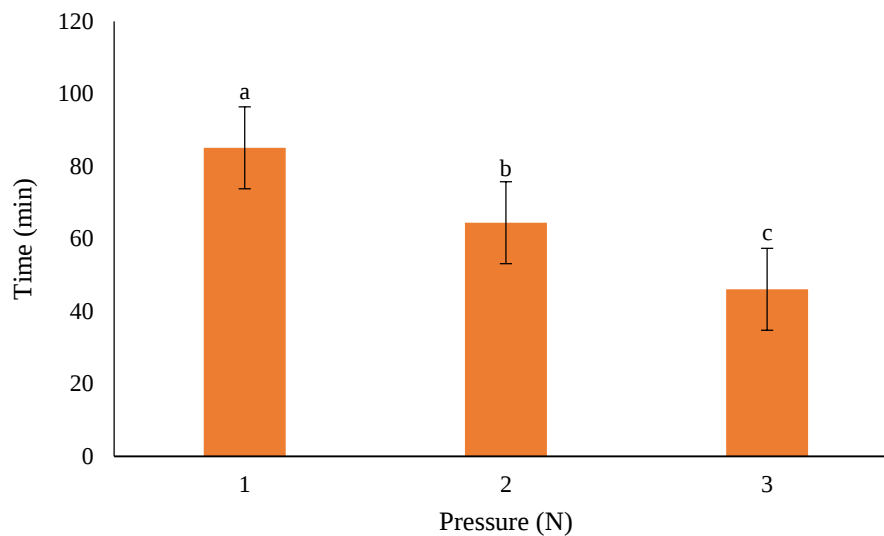
شکل (۲) اثر متقابل فاکتور دور و فشار دستگاه بر روی میزان درصد شکست

Fig.2. Interaction effect of device speed and pressure factors on the percentage of breakage

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 [۱۴].

۳.۴. زمان لول‌شدن

در شکل ۳ اثر فاکتور مستقل فشار استوانه مالشی دستگاه بر مقدار زمان لول‌شدن نمونه‌های چای نشان داده شده است. بر طبق شکل نتیجه‌گیری شد که با افزایش سطوح مقدار فشار استوانه بر نمونه‌ها، مقدار زمان کاهش معنی‌داری داشته است. بیشترین و کمترین مقدار فاکتور وابسته زمان ۸۵/۱۰۷٪ (فشار ۱۷۰ N) و ۴۶/۰۴۹٪ (فشار ۶۸۰ N) مشاهده شد. به‌وضوح مشخص شده است که افزایش سطوح مقدار فشار استوانه مقدار زمان خشک‌شدن به‌دلیل خروج سریع محتوای رطوبتی از نمونه‌ها کاهش یافته است. به‌طور کلی دلیل کاهش مقدار زمان خشک‌شدن را می‌توان این‌گونه توجیه کرد. به بیان دیگر، افزایش مقدار فشار استوانه



شکل (۳) اثر فشار استوانه بر مقدار زمان

Fig.3. Effect of Cylinder Pressure on Time Duration

۳.۵. آزمون حسی

در بخش آزمون حسی، فاکتورهای وابسته امتیاز رؤیت، 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 ۳۰ دور بر دقیقه و ۳۴۰ N 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 لول‌شدن و ارزیابی حسی نمونه‌های چای در اثر فاکتورهای دور و فشار دستگاه پرداخته شد. به‌طور میانگین افزایش دور دستگاه از ۲۰ به ۴۰ دور بر دقیقه، سبب افزایش ۸۲٪ شکست نمونه‌ها

شده است. همچنین افزایش فشار استوانه دستگاه مالش از ۱۷۰ به ۶۸۰ kg/m^2 سبب افزایش ۵۷٪ شکست نمونه‌ها شده است. در بخش بررسی زمان لول‌شدن نیز نتیجه شد که تنها فاکتور مستقل فشار اثر معنی‌داری بر مقدار زمان لول‌شدن نمونه‌ها داشته است. با افزایش فشار استوانه مالشی از ۱۷۰ به ۶۸۰ kg/m^2 زمان لول‌شدن نمونه‌ها به مقدار ۴۶٪ کاهش یافته است. در بررسی کیفیت حسی نمونه‌ها نیز نتیجه شد که به ترتیب نمونه‌های تحت شرایط سرعت دوران و فشار استوانه با ۳۰ دور بر دقیقه و ۳۴۰ N دارای بهترین کیفیت از نظر بررسی طعم و عطر بوده است. در نهایت نتیجه شد که بهترین سطوح فاکتورهای مستقل و مؤثر بر درصد شکست فاکتور فشار ۱۷۰ N و سرعت دوران ۲۰ دور بر دقیقه بوده است. همچنین در فشار ۶۸۰ N کمترین زمان لول‌شدن برگ سبز چای نتیجه شد. در آزمون حسی نیز، بهترین عطر و طعم مربوط به نمونه‌های تحت فشار ۳۴۰ N و سرعت دوران ۳۰ دور بر دقیقه بود.

مراجع

- [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. *Urol. Res.*, 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. *J. Food Compos. Anal.*, 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. *J. Biosyst. Eng.*, 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. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 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 Chem.*: X, 20, 100989.
<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100989>.
- [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).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08948>.
- [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. *Agric. Eng. Int. CIGR J.*, 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. *J. Sci. Food Agric.*, 80(8), 1271-1276.
[https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200006\)80](https://doi.org/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 Chem.*, 467, 142338.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142338>

*Research Article***The effect of rotational speed and applied pressure during the rubbing process on some physical properties of black tea****Mostafa Mahdavi¹, Mohsen Azadbakht^{2*}, Ahmad Abbaszadeh Mayvan³**

1. Msc, 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

(Received 21 September 2025, Received in revised form 10 October 2025, Accepted 14 October 2025)

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 study 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.

Conclusions: The analysis of sample breakage revealed that both increased rotational speed and pressure

* Corresponding author: azadbakht@gau.ac.ir

significantly raised the breakage percentage. In the analysis of rolling time, the 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.*