به نام آفرینندهٔ هستی

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

مدل‌سازی پدیده کاسه‌انداختن پارچه‌های حلقوی پودی

با استفاده از روش اجزای محدود

پایان نامه کارشناسی ارشد تکنولوژی نساجی

میترا کریمیان

اساتید راهنما :

دکتر حسین حسنی

دکترسعید آجلی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد تکنولوژی نساجی خانم میترا کریمیان

تحت عنوان

مدل‌سازی پدیده کاسه انداختن پارچه های حلقوی پودی با استفاده از روش اجزای محدود

در تاریخ ۹۰/۱۲/۷ توسط کمیته تخصصی مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-استاد راهنما پایان‌نامه	دکتر حسین حسنی
۲-استاد راهنما پایان‌نامه	دکترسعید آجلی
۳-استادمشاور	مهندس سیدحسین دیباجیان
۴-استاد داور	دکتر محمد ذره‌بینی
۵-استاد داور	دکتر محمد قانع
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر صدیقه برهانی

تشکر و قدردانی:

در آغاز از خدا به خاطر دادن فرصت کسب دانش و معرفت سپاسگزارم.

از اساتید راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر حسین حسنی و جناب آقای دکتر سعید آجلی که مرا از راهنمائی‌های سازنده‌ی خویش در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه بهره‌مند ساختند و از همکاری صمیمانه جناب آقای دکتر سید حسین دیباجیان که مسئولیت مشاوره این پروژه را بر عهده گرفتند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر محمد ذره بینی و جناب آقای دکتر محمد قانع که داوری این پروژه را بر عهده داشتند، کمال تشکر را دارم.

از کمک‌های خانم مهندس صدیقی‌پور مسئول محترم آزمایشگاه فیزیک الیاف، آقای مهندس کربلایی کریم و آقای مهندس ابرقویی مسئولین محترم کارگاه ریسندگی، آقای مهندس سوری مسئول محترم کارگاه بافندگی حلقوی و آقای مهندس طبیبی تشکر می‌نمایم.

از کلیه اساتید محترم دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان سپاسگزارم و از درگاه خداوند متعال، سلامتی، خیر و توفیق روزافزون برایشان مسئلت دارم.

و در نهایت از زحمات خانواده عزیزم، دوستان مهربانم و تمامی کسانیکه در دوران تحصیل، یاران روزهای سخت زندگی‌ام بودند ، به خاطر تمام مهربانیهایشان کمال تشکر را دارم و موفقیت و سعادتشان را از ایزد منّان خواستارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

تقدیم به:

خانواده عزیزم

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مطالعات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- انواع تغییر شکل ۳

۱-۳- نیروها و تنش‌ها در حین پدیده کاسه‌انداختن ۵

۱-۴- آزمایشهای ارائه شده جهت ارزیابی پدیده کاسه‌انداختن در پارچه ۸

۱-۵- تحلیل فرایند خستگی در حین پدیده کاسه‌انداختن پارچه ۱۱

۱-۶- معیارهای ارزیابی رفتار کاسه‌انداختن ۱۳

۱-۷- عوامل تأثیرگذار بر پدیده کاسه‌انداختن پارچه‌ها ۱۴

۱-۷-۱- خواص لیف، نخ و متغیرهای آنها ۱۴

۱-۷-۲- ساختار پارچه و متغیرهای آن ۱۷

۱-۸- مطالعات انجام شده بر روی واحد بافت حلقوی پودی ۱۸

۱-۹- روش اجزای محدود ۲۲

۱-۹- ۱- نرم‌افزار آباکوس ۲۴

۱-۱۰- مدل‌سازی‌های انجام گرفته شده بر روی پارچه‌های حلقوی با استفاده از روش اجزای محدود ۲۴

۱-۱۰-۱- مدل‌سازی ساختار حلقوی تاری با روش اجزای محدود ۲۵

۱-۱۰-۲- مدل‌سازی رفتار مکانیکی پارچه‌های حلقوی پودی برای کاربردهای فنی ۲۶

۱-۱۰-۳- مدل‌سازی هندسی پارچه‌های حلقوی پودی ساده ۲۸

۱-۱۱- روش طراحی آزمایشات تاگوچی ۲۹

۱-۱۲- لزوم انجام تحقیق و اهداف آن ۲۹

فصل دوم: تجربیات

۲-۱- مقدمه ۳۲

۲-۲- طراحی آزمایشات با استفاده از روش تاگوچی ۳۲

۲-۲-۱- جدول آرایه‌های متعامد تاگوچی برای انجام آزمایشات ۳۴

۲-۳- تهیه نمونه پارچه‌های مورد آزمایش ۳۷

۲-۳-۱- تولید نخ ۳۷

۲-۳-۲- تولید پارچه ۴۱

۲-۴- شرایط و مراحل آزمایش کاسه‌انداختن ۴۲

۲-۴-۱- شرایط استراحت نمونه‌ها قبل ازآزمایش کاسه‌انداختن ۴۲

۲-۴-۲- وسایل آزمایش کاسه‌انداختن و نحوه‌ی آماده‌سازی نمونه‌ها ۴۴

۲-۴-۳- شرح آزمایش کاسه‌انداختن و روند کار ۴۵

۲-۴-۴- روش اندازه‌گیری کاسه‌انداختن ۴۵

۲-۵- مشخصات نمونه پارچه‌ها و نخ به کار رفته در مدل‌سازی ۴۷
۲-۵-۱- اندازه‌گیری ضریب اصطکاک نخ با نخ ۴۷
۲-۵-۲-آزمایش هیسترزیس نخ ۴۹
۲-۶- مدل‌سازی پدیده کاسه‌انداختن با استفاده از نرم افزار مکانیکی آباکوس ۴۹
۲-۶-۱- بیان هندسه ساختار پارچه حلقوی پودی ۵۰
۲-۶-۲- تعیین خواص نخ ۵۴
۲-۶- ۳- مونتاژ قطعات و تعریف برهم‌کنش بین آن‌ها ۵۶
۲-۶-۴-بیان نوع تحلیل و اعمال نیرو ۵۷
۲-۶-۵- مش‌بندی قطعات ۵۹
۲-۶-۶- حل مسئله و مشاهده‌ی نتایج در نرم‌افزار آباکوس ۶۰
۲-۶-۷- مدل‌سازی با استفاده از المان *wire* ۶۱

فصل سوم: بحث وبررسی نتایج

۳-۱- مقدمه ۶۲
۳-۲- تحلیل نتایج حاصل از روش تاگوچی ۶۲
۳-۲-۱- بررسی تأثیر گذاری مشخصه‌های مورد آزمایش بر پدیده کاسه‌انداختن ۶۳
۳-۲-۲- رتبه بندی مشخصه‌های اثرگذار بر پدیده کاسه‌انداختن ۶۳
۳-۲-۳- تجزیه و تحلیل مشخصه‌های اثرگذار بر پدیده کاسه‌انداختن ۶۴
۳-۳- نتایج مدل‌سازی پدیده کاسه‌انداختن پارچه در نرم‌افزار آباکوس و مقایسه آن با نتایج تجربی ۶۸
۳-۳-۱- نتایج مدل‌سازی با المان *wire* ۶۹
۳-۳-۲- نتایج مدل‌سازی با دو نوع خواص الاستیک همسانگرد و الاستیک همسانگرد عرضی ۷۰
۳-۳-۳- بررسی رفتار حلقه‌ها به هنگام منطبق شدن با سطح کروی ۷۱

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱- مقدمه ۷۶
۴-۲- نتیجه‌گیری نهایی ۷۶
۴-۲-۱- نتیجه‌گیری نهایی عوامل مؤثر بر کاسه‌انداختن و بهینه‌سازی آن ۷۶
۴-۲-۲- نتیجه‌گیری نهایی مدل‌سازی کاسه‌انداختن پارچه ۷۷
۴-۳- پیشنهادات ۷۸
مراجع ۷۹
پیوست ۸۲

چکیده

پدیده‌ی کاسه‌انداختن، یک تغییرشکل غیرقابل بازگشت سه بعدی است؛ که در حین مصرف پوشاک ایجاد می‌شود. نواحی که کاسه‌انداختن درآنها مشاهده می‌شود، شامل: آرنج و زانو می‌باشد. در همه‌ی این قسمت‌ها نیرویی به صورت مکرر و یا بلندمدت از طرف اعضای متحرک بدن بر روی پارچه اعمال می‌شود. بر اثر اعمال نیرو، پارچه دچار تغییرشکل می‌شود؛ از آنجایی که برگشت‌پذیری الاستیک پارچه‌ها با زمان کاهش می‌یابد، پارچه‌ها دارای خصوصیات ویسکوالاستیک هستند و رفتار خزشی از خود نشان می‌دهند، بنابراین نمی‌توانند بر تغییرشکل غلبه کنند و شکل اولیه خود را بازیابند. درنتیجه، تغییرشکل پایدارکاسه‌انداختن در البسه رخ می‌دهد. این رفتار پارچه ناشی از القای نیروهای داخلی کشش، برش و خمش در اجزای تشکیل دهنده‌ی پارچه می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر مشخصه‌های لیف، نخ و پارچه بر میزان کاسه‌انداختن پارچه‌های حلقوی پودی یک‌روسیلندر است. بدین منظور پارچه‌های حلقوی پودی مختلفی بر روی ماشین گردباف بافته شده و اثر مشخصه‌های مختلف مربوط به نخ و پارچه در سه سطح، بر روی آنها بررسی شد. این مشخصه‌ها عبارتند از: نوع و درصد الیاف، تاب نخ، نمره‌ی نخ، طرح بافت و تراکم بافت. با استفاده از جدول آرایه‌های متعامد تاگوچی بر اساس تعداد عوامل و سطوح هر کدام، نمونه پارچه‌ها جهت انجام آزمایشات تجربی تهیه شده و همچنین از طریق همین روش، عوامل اثرگذار، میزان اثرگذاری هر یک و شرایط بهینه‌ای که کمترین میزان کاسه‌انداختن رخ می‌دهد، تعیین گردید. درصد خستگی کاسه‌انداختن به عنوان معیار ارزیابی رفتار کاسه‌انداختن به‌کار رفته است. نتایج حاصله نشان می‌دهد، تمامی عوامل مورد بررسی، تأثیر معناداری بر روی پدیده کاسه‌انداختن داشتند. مشخصه‌های ساختار بافت، تاب نخ، تراکم بافت، جنس و درصد الیاف و نمره نخ به ترتیب دارای رتبه‌های اول تا پنجم اثرگذاری بر پدیده کاسه‌انداختن هستند. در بین عوامل و سطوح تعیین شده در این تحقیق، پارچه‌ای با بافت ساده دارای تراکم زیاد تهیه شده از نخ ۷۵پلی‌استر-۲۵پنبه با تاب بیشینه و نمره‌ی انگلیسی ۳۰، کمترین میزان کاسه‌انداختن را نتیجه می-دهد. همچنین پدیده‌ی کاسه‌انداختن مطابق با روند آزمایشات تجربی به کمک روش اجزای محدود شبیه سازی شد. در این تحقیق با مدلسازی پارچه از نخ‌های تشکیل دهنده‌ی آن، پیچیدگی هندسی سلول واحد پارچه حلقوی، تأثیر همزمان ازدیادطول و خمش نخ‌ها در فرایند تغییرشکل و برهم‌کنش بین نخ‌ها در نواحی تماسی مد نظر گرفته شد. مدل‌سازی با استفاده از روش اجزای محدود انجام گرفت. در نهایت نتایج بدست آمده از مدل‌سازی بر اساس شاخص مقاومت در برابر کاسه‌انداختن، با نتایج تجربی همخوانی خوبی داشت.

کلمات کلیدی: کاسه‌انداختن، پارچه‌ی حلقوی پودی یک‌روسیلندر، مشخصه‌های لیف، نخ و پارچه، روش طراحی آزمایشات تاگوچی، شبیه‌سازی، روش اجزای محدود

فصل اول
مطالعات

۱-۱- مقدمه

ظاهر پارچه به علت اعمال نیروهای مکانیکی در حین مصرف تغییر می‌کند. یکی از این تغییرات که به صورت سه‌بعدی روی می‌دهد، پدیده کاسه‌انداختن[۱] پارچه است. کاسه‌انداختن پارچه از جنبه‌ی زیبائی ظاهر پارچه‌های لباسی و همچنین به لحاظ ارائه خواص مکانیکی مناسب در پارچه‌های صنعتی، حائز اهمیت می‌باشد.

کاسه‌انداختن، برآمدگی و تحدب پارچه است که از فقدان یا کمبود ثبات ابعادی و عدم بازگشت به شرایط اولیه به علت کشیدگی پارچه در نواحی از بدن مانند زانو و آرنج بوجود می‌آید. در طی کاسه‌انداختن، یک پارچه تحت اثر نیروهایی بزرگتر از افت پارچه که تنها تحت اثر وزن پارچه می‌باشد، قرار می‌گیرد. اگر نیروی وارده بر سطح پارچه از نیروی مقاومت‌کننده در برابر تغییرشکل پارچه بیشتر باشد و یا پارچه در معرض بارگذاری دوره‌ای قرار بگیرد، نیروی بازگشت به حالت اولیه پارچه معمولاً ناکافی می‌باشد و سبب ایجاد تغییرشکل دائمی و کاسه‌انداختن در پارچه می‌شود[۱].

درفرهنگ لغت، براساس ساده‌ترین بیان موجود، تغییرشکل به صورت تغییر در ظاهر تعریف می‌شود. در مطالعه و بررسی تغییرشکل، مشخصه‌هایی مانند؛ مقدار تغییرشکل، حداکثر تغییرشکل، قابلیت برگشت‌پذیری از تغییرشکل ایجاد شده، مقدار پس‌ماند ناشی از تغییرشکل و مکانیزم تغییرشکل، نیز باید مورد تجزیه و تحلیل قرارگیرد. بدین معنا که در رابطه با موضوع کاسه‌انداختن، مشخصه‌هایی مانند؛ ارتفاع کاسه‌انداختن، حجم، شکل و ناهمسانگرد بودن، از جمله ویژگی‌های مهم در بررسی رفتار کاسه‌انداختن پارچه می‌باشند[۲].

---

[۱] Bagging

با وجود اینکه قابلیت کشسانی پارچه، برای ایجاد احساس راحتی در برابر فشار دینامیکی در یک لباس، لازم و ضروری است، برگشت‌پذیری از کشیدگی نیز، برای حفظ ظاهر لباس بسیار حائز اهمیت است. تمامی پارچه‌ها با مصارف ورزشی، پزشکی و فنی، درحین مصرف روزانه تحت تأثیر نیروهای مختلفی قرار می‌گیرند. این نیروها ممکن است به شکل فشار، تنش و غیره اعمال شود. پارچه می‌تواند نیرو را، تا مقدار مشخصی در ساختار خود تحمل کند و زمانی‌که نیرو از روی آن برداشته شد، پارچه می‌تواند به حالت قبلی خود بازگردد. این امر در شرایطی رخ می‌دهد که نیروی اعمالی، در محدوده تغییرشکل الاستیک پارچه باشد.

ازآنجاییکه پارچه‌ها دارای خصوصیات ویسکوالاستیک هستند؛ برگشت‌پذیری الاستیک پارچه‌ها با زمان کاهش می‌یابد و رفتار خزش را از خود نشان می‌دهند. بنابراین در برخی موارد، پارچه پس از برداشتن نیرو کاملاً به حالت اولیه‌ی خود برنمی‌گردد. در نتیجه، تغییرشکل پایدار یا پلاستیک در پارچه رخ می‌دهد[۱و۲].

در برخی مصارف، داشتن یک شکل کروی در پارچه، مورد نیاز است. به عنوان مثال، در یک کلاه که از پارچه-ی تاری-پودی ساخته شده است، پارچه باید برای این که شکل سر را به خود بگیرد، بریده و دوخته شود؛ اما در یک کلاه با بافت حلقوی، این کار راحت‌تر صورت می‌گیرد؛ زیرا نخ‌ها می‌توانند نسبت به هم حرکت کنند تا پارچه‌ی حلقوی بتواند شکل سر را به خود بگیرد. در این تحقیق چنین تغییرشکلی مورد بحث نیست. در مطالبی که در ادامه بیان خواهد شد، تغییرشکل به عنوان یک عیب مورد توجه است. جنبه منفی پدیده کاسه‌انداختن در قسمت‌های پوشش‌دهنده آرنج و زانو مشاهده می‌شود. در تعریف کاسه‌انداختن، وجود یک نیروی خارجی الزامی است و به عنوان دلیلی بر تغییرشکل رخ داده، مطرح می‌شود. تغییرشکل کاسه‌انداختن درپارچه‌ها، پس از اعمال فشار طولانی مدت و یا تکراری از طرف قسمت‌های متحرک بدن انسان، بوجود می‌آید؛ که در پی آن پارچه ثبات ابعادی خود را از دست می‌دهد و نمی‌تواند به حالت اولیه‌ی خود بازگردد [۲].

رفتار کاسه‌انداختن در پارچه، وابسته به خواص الیاف تشکیل دهنده آن و نیز ضخامت، تراکم، طرح بافت و خواص ساختمانی آن می‌باشد. تغییرشکل الاستیک و ویسکوالاستیک الیاف،کاهش تنش ناشی از رفتار ویسکوالاستیک الیاف و اصطکاک مابین الیاف و نخ‌ها در ساختار پارچه، همگی در توجیه پدیده کاسه‌انداختن پارچه حائز اهمیت می‌باشند[۳].

۱-۲- انواع تغییر شکل

تغییرشکل، ممکن است تحت عوامل مختلفی رخ دهد. از این رو، آشنایی با انواع تغییرشکل و تفاوت بین آنها ضروری است. براساس تحقیقات لیود[۲] [۴]، امیربیات و هرل[۳] [۵]، تغییرشکل‌های مشاهده شده در پارچه به صورت زیر تقسیم بندی می‌شود:

الف- تغییر شکل‌های درون صفحه‌ای: دراین نوع تغییرشکل، پارچه ابتدا در یک صفحه قرار گرفته و در همان صفحه، دچار تغییرشکل می‌شود. زمانیکه نیرو، موازی با صفحه‌ی پارچه اعمال شود، هر نقطه از پارچه توسط این نیرو

---

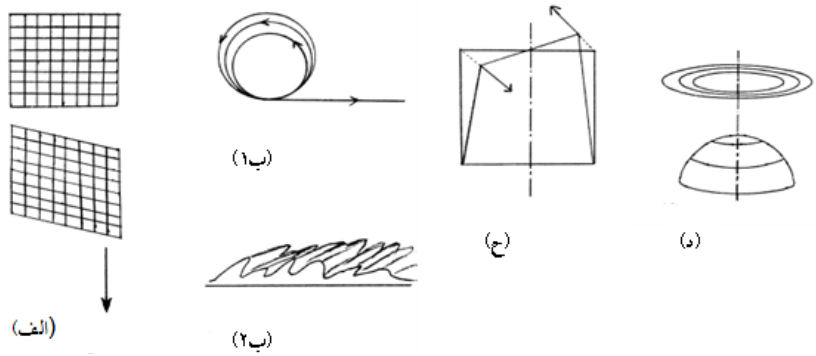
[۲] Lioyd
[۳] Hearle

در جهت یکسانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و تغییرشکل در این نقاط به صورت یکسان رخ می‌دهد. خواص استحکامی در دو جهت تار یا پود پارچه، جزء این دسته قرار می‌گیرد. صفحه‌ی پارچه هیچ جابه‌جایی در راستاهای غیر از صفحه‌ی پارچه ندارد، که نمونه‌ای از آن در شکل۱-۱(الف) نشان داده شده است. تغییرشکل‌های درون صفحه‌ای، زمانی رخ می‌دهد که مواد در ناحیه الاستیک خود براساس نمودار نیرو-ازدیادطول قرارگرفته باشند.

ب- خمش تک محوری: پارچه، عمود بر صفحه‌ی خود جابجا شده و به گونه‌ای خم می‌شود تا یک شکل منحنی‌وار را که با افزایش انحنا منجر به ایجاد یک حالت دایره‌ای می‌شود، تشکیل دهد. کمانش، آویزش، لوله‌ای پیچیدن و باز کردن لایه‌ی پارچه، در این دسته قرار می‌گیرد. مثالی از این نمونه تغییرشکل‌ها در شکل ۱-۱(ب۱) و(ب۲) مشاهده می‌شود. در این حالت پارچه به هنگام اعمال نیرو، شکل متفاوتی را به خودی خود به دست می‌آورد و همچنان در ناحیه‌ی الاستیک خود رفتار می‌کند و هیچ فشاری بر آن اعمال نمی‌شود.

ج- گشتاور در صفحه‌ی پارچه: این حالت، زمانی در پارچه رخ می‌دهد، که پارچه تحت کوپل‌های نیرو قرار گیرد. بر روی هر نقطه از پارچه، نیروی متفاوتی اعمال شود و جابجایی‌های متفاوتی را در صفحه‌ی پارچه سبب می‌شود. نمونه‌ای از این نوع تغییرشکل در شکل۱-۱(ج) نشان داده شده است. در این حالت، تغییرشکل همچنان در ناحیه‌ی الاستیک قرار دارد و پارچه می‌تواند به حالت اولیه خود بازگردد.

د-انطباق با یک سطح کروی شکل: حالتی است که پارچه با یک سطح کروی منطبق می‌شود و در نتیجه،کاسه‌انداختن رخ می‌دهد. در این حالت، برگشت‌پذیری به طور کامل انجام نمی‌شود و یک تغییرشکل سه بعدی به صورت پایدار و شبیه به قسمتی از یک کره، بر روی پارچه باقی می‌ماند. در این نوع تغییرشکل‌ها، نیروهای یکسان در زوایای مختلف با مرکزیت یکسان، اعمال می‌شود. نواحی مختلف لباس مانند آرنج، زانو، جیب و پاشنه، مثال‌های خوبی از این نوع تغییرشکل (شکل۱-۱(د)) هستند. دراین حالت، پارچه تحت تأثیر یک نیروی خارجی متقاطع با صفحه‌ی خود، قرار می‌گیرد. این نوع تغییرشکل، وارد محدوده‌ی تغییر شکل دائمی مواد می‌شود.



شکل ۱-۱- انواع تغییرشکل‌هایی که در پارچه رخ می‌دهد.

(الف) تغییرشکل‌های درون صفحه‌ای. (ب۱) و(ب۲) خمش تک محوری.(ج)گشتاور در صفحه پارچه. (د) انطباق دادن با یک سطح کروی[۱].

با توجه به محدوده‌ی اعمال نیرو که در حالت‌های مختلف وجود دارد؛ پس از برداشتن نیرو، پارچه در حالت‌های اول تا سوم به حالت اولیه خود برمی‌گردد؛ اما در حالت چهارم، برگشت‌پذیری پارچه به صورت کامل نیست و مقداری تغییرشکل سه بعدی پایدار برروی آن باقی می‌ماند. در حالت چهارم، خواص اصطکاکی و ویسکوالاستیسیته‌ی مواد آشکار می‌شود. پارچه، عکس‌العمل خود را نسبت به این تغییرشکل‌ها، به صورت برشی نشان می‌دهد[۴ و۵].

کاسه‌انداختن، نوعی تغییرشکل سه بعدی دائمی به شکل کروی است، که در گروه چهارم از تغییرشکل‌ها تعریف می‌شود. یک ساختار پیوسته مسطح، توسط نیرویی سه بعدی دچار تغییرشکل می‌گردد و در این حالت نیرو به صورت سطحی در پارچه توزیع می‌شود، اما عملکرد حاصل به صورت سه بعدی آشکار می‌گردد[۱].

۱-۳- نیروها و تنش‌ها در حین پدیده کاسه‌انداختن

معمولاً بدن انسان دارای دامنه حرکتی مشخصی است. حتی در موقعیت نشسته، زانوها، زاویه‌های خمشی خود را به صورت متناوب بین یک زاویه تند (تقریباً ۸۰ درجه) و یک زاویه باز (تقریباً ۱۲۰درجه) تغییر می‌دهند. پوست روی زانو، می‌بایست تا ۵۰٪ قابلیت کشیدگی داشته باشد تا بتواند حرکات خمشی وکششی بدن را به طور مناسب انجام دهد. هر لباسی که به پوست بدن بچسبد، برای اینکه راحتی در پوشش را برای بدن به همراه داشته باشد، می‌بایست حتی تحت بار کم نیز همین مقدارکشش‌پذیری را داشته باشد. به هرحال با توجه به شکل ۱-۲ بیشتر لباس‌ها، از انبساط و کشیدگی اعضای مختلف بدن پیروی می‌کنند؛ که این کار از طریق سرخوردن پارچه بر روی پوست و یا کشیدگی پارچه امکان‌پذیر خواهد بود. به طور معمول، پارچه‌ای که بیش از ۱۵٪ ازدیادطول داشته باشد، به عنوان پارچه‌ی کشسان شناخته می‌شود و در مقابل پارچه‌ای که ازدیادطول کمتر از ۱۵٪ داشته باشد، پارچه سخت نام می‌گیرد. بیشتر پارچه‌های تاری-پودی، پارچه‌های سخت هستند؛ زیرا درگیری مابین نخ‌ها تنها این اجازه را به پارچه می‌دهد که در برابر نیروهای کششی، انبساط کوچکی داشته باشند. پارچه‌های حلقوی بافت به دلیل داشتن نخ‌هایی که با هم درگیری حلقه‌ای دارند، معمولاً ازدیادطولی با مقدار حداقل ۱۵٪ را دارا می‌باشند[۶].

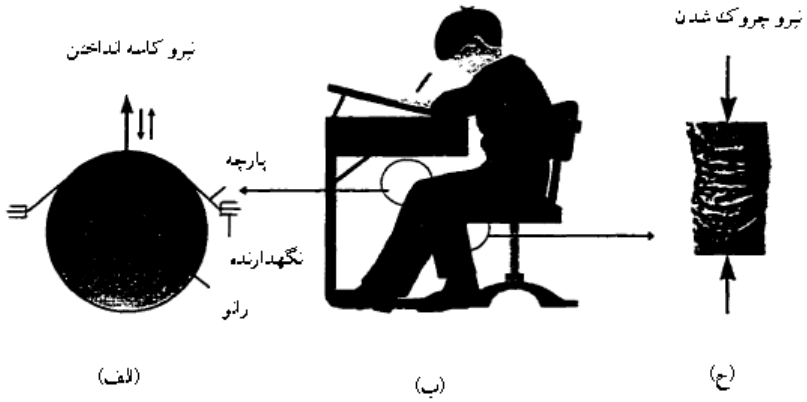
کیرک[۴] و ابراهیم[۵] بیان کردند که کرنش پوست در محل زانوها در محدوده ٪۲۹-۱۹ در جهت افقی و در محدوده ٪۵۲-۴۱ در جهت عمودی تغییر می‌کند. چسبیدن و سرخوردن پوشاک تحت تأثیر نسبت اندازه پوشاک به بدن، نوع طرح پوشاک، ضریب اصطکاکی پارچه، تعداد نقاط تماس با پوشاک و در نهایت کش آمدن پارچه است. بنابراین پوشاک مختلف، شرایط کششی متفاوتی تحت شرایط پوششی مختلف فراهم می‌کنند.

آنها مشاهده کردند، پارچه تا حدود ۲۵٪ توسط سُرخوردن روی پوست و فضاهای آزاد بین پوست و بدن از حرکت عمودی بدن روی صندلی تبعیت می‌کند. علاوه بر این آنها متوجه شدند، برای شلوارهای تنگ‌تر مانند جین،کشش بیشتری مورد نیاز است. واضح است، هر دو فضای آزاد و سرخوردن پارچه بر روی پوست،کاسه‌انداختن در پوشاک را سبب نمی‌شوند؛ کش آمدن پارچه مؤلفه‌ای است که عامل کاسه‌انداختن را موجب می‌شود. بنابراین

---

[۴] Kirk
[۵] Ibrahim

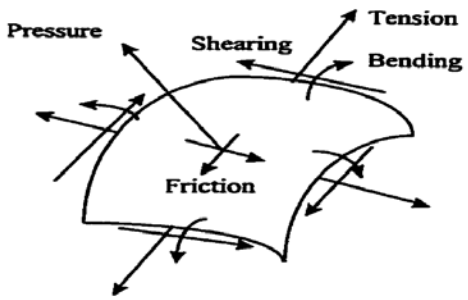
کاسه‌انداختن پوشاک معمولاً در نواحی از بدن، مانند زانو وآرنج رخ می‌دهد، که دارای کرنش پوستی بالایی در حین حرکت هستند[۷].



شکل ۱-۲- تغییرشکل کاسه‌انداختن در زانو.

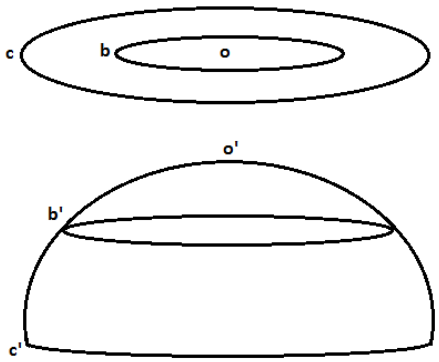
الف- پارچه منطق با یک سطح کروی. ب- شرایط لباس به هنگام پوشش روی زانو. ج- شرایط لباس به هنگام پوشش پشت زانو [۸].

اگر اصطکاک بین پارچه و پوست بالا باشد، لباس باید در عین ارائه زیردستی نرم، با کش آمدن در چند جهت ازکرنش پوست پیروی کند. مطابق شکل ۱-۳، بر اثر اعمال نیروهای خارجی فشار و اصطکاک، تنش‌های داخلی کشش، برش و خمش در چند جهت روی ساختار پارچه القاء می‌شود.



شکل ۱-۳- نیروهای خارجی و تنش‌های داخلی اعمال شده در حین کاسه‌انداختن[۸]

بنابراین نیرو- تغییرشکل کاسه‌انداختن پارچه می‌تواند به صورت یک پارچه مسطح در تطابق با یک سطح منحنی شکلی شبیه به زانو یا آرنج درنظرگرفته شود(شکل ۱-۴). اگر فرض شود که پارچه دارای یک تغییرشکل مناسب درحین کاسه‌انداختن است، سطح منحنی را می‌توان با نقاط متناظر درحالت مسطح مقایسه کرد. به عنوان مثال قسمت ob درحالت مسطح تحت نیرو قرارگرفته و به صورت $o'b'$ سطح منحنی شکل گرفته است.



شکل ۱-۴- پارچه منطبق شده بر یک سطح کروی.

همان طور که درشکل ۱-۴ نشان داده شده است،کشش در هر ناحیه‌ای از پارچه اتفاق می‌افتد، زیرا مساحت کل پارچه افزایش یافته است.کشش دارای توزیع‌های متفاوتی در پارچه است. در ناحیه $o'b'$ زمانی که پارچه در تماس با توپ است، تحت یک تنش چند محوری قرار می‌گیرد. در ناحیه $b'c'$، زمانی که پارچه تماسی با توپ ندارد، تحت یک تنش تک محوری قرار می‌گیرد[۲].

هنگامی که یک دایره مسطح با شعاع ob از پارچه، تحت فشار برای منطبق شدن با یک توپ کروی قرار می‌گیرد، هر دو نیروهای خمشی و کششی در بیشتر از یک جهت بدون چروک شدن اتفاق می‌افتد. این اساساً ناشی از مقاومت پایین پارچه به تغییرشکل برشی در مقایسه با تغییرشکل کششی آن است. رفتار برشی پارچه، وابسته به قابلیت کشش‌پذیری پارچه در راستای مورب است و دلیل این امر، ساختار درگیر پارچه می‌باشد. اگر قابلیت کشیدگی در یک جهت بیشتر از جهات دیگر باشد، در آن راستا، کمترین بار احساس می‌شود. راستایی که در آن، کمترین قابلیت کشیدگی وجود داشته باشد، بار بیشتری را متحمل می‌شود. این بدین معناست که برخی از نخ‌ها تا حد رسیدن به نقطه‌ی پارگی خود کشیده می‌شوند؛ در حالی که در سایر نخ‌ها این کشیدگی فقط سبب باز شدن فروموج آنها می‌شود. بنابراین پارچه دارای خواص ناهمسانگرد است و تنش‌های داخلی که در آن رخ می‌دهد، تقارن محوری ندارند؛ هرچند، اگر پارچه در معرض یک تغییرشکل متقارن قرار بگیرد. با این شرایط، زمانی که نیروی کاسه‌انداختن از روی پارچه برداشته می‌شود، به دلیل توزیع نایکنواخت تنش، برگشت‌پذیری نایکنواختی نیز بوجود می‌آید و همین امر می‌تواند دلیلی بر تنوع شکل‌های کاسه‌انداختن ایجاد شده بر روی پوشاک باشد[۹].

تغییرشکل خمشی از تماس بین پارچه و بدن ناشی می‌شود. بر اساس رابطه تنش-کرنش قانون هوک[۶]، تنش کششی(σ) ناشی از تغییرشکل خمشی پارچه‌ی در تماس با زانو، می‌تواند بدین صورت نوشته شود[۱۰]:

$$\sigma = E\varepsilon = E\frac{y}{2\rho} \qquad (۱-۱)$$

[۶] Hooke

در معادله‌ی فوق، y ضخامت پارچه و ρ شعاع انحنا زانو، E مدول کششی، ε کرنش کششی ناشی از تغییرشکل خمشی می‌باشد. همان طور که در معادله (۱-۱) مشاهده می‌شود، ضخامت پارچه y در مقایسه با دیگر ابعاد و شعاع انحنای زانو ρ کوچک است. بنابراین تنش کششی ناشی از تغییرشکل خمشی به صورت مشابه کوچک است و می‌توان آن را نادیده گرفت. بنابراین تغییرشکل برشی و کششی، مؤلفه‌های خیلی مهمی در تغییرشکل کاسه‌انداختن پارچه هستند.

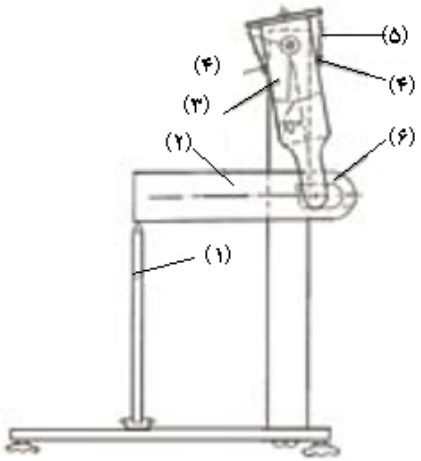
۱-۴- آزمایشهای ارائه شده جهت ارزیابی پدیده کاسه‌انداختن در پارچه

کارهای تحقیقاتی به منظور شناسایی رابطه میان خواص مکانیکی پارچه و رفتارهای پارچه (مانند زیردست، آویزش، کاسه‌انداختن و غیره)، توسط سیستم *KES-FB*[۷] انجام گرفته شده است. اگرچه، در مطالعه خاصیت کاسه‌انداختن پارچه با استفاده از سیستم *KES-FB*، محدودیت‌هایی وجود دارد. عمده‌ترین محدودیت‌ها این است که کاسه‌انداختن پارچه یک تغییرشکل سه بعدی بزرگ است و پارچه در معرض نیرویی خارجی برای کاسه‌انداختن قرار می‌گیرد که بزرگتر از نیروی استفاده شده در سیستم *KES-FB* است. روابط آماری مابین خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده برای پارچه با استفاده از سیستم *KES-FB* و رفتار کاسه‌انداختن پارچه، تنها می‌توانند ما را در شناخت ارتباط بین عواملی که مرتبط با موضوع کاسه‌انداختن در پارچه هستند، یاری کنند؛ اما نمی‌توانند مکانیزم فیزیکی مربوطه را توضیح دهند. بنابراین، برای ارزیابی رفتار کاسه‌انداختن در پارچه،آزمایش مخصوص به آن نیاز است. به منظور شبیه سازی عملکرد واقعی و عملی یک پارچه در حین پوشش، آزمایشات مختلفی برای ارزیابی رفتار کاسه‌انداختن در پارچه‌های تاری-پودی و حلقوی، توسعه یافته است[۲].

زویگل[۸] و همکارانش، درسال۱۹۷۳، دستگاهی با یک بازوی مصنوعی مجهز به یک مفصل آرنجی مطابق با شکل ۱-۵، طراحی کردند. در این روش پارچه تحت آزمایش به صورت لوله‌ای شکل (شبیه به آستین یا پاچه‌ی شلوار) در آورده می‌شود و به دستگاه آزمایش کاسه‌انداختن متصل می‌شود. زمانی که بازوی دستگاه آزمایش خم می‌شود، نمونه به مدت ۵ ساعت در معرض کرنش استاتیکی قرار می‌گیرد. بازوی دستگاه آزمایش، سپس به موقعیت مستقیم خود بازمی‌گردد و در این حالت، به نمونه اجازه‌ی برگشت پذیری داده می‌شود. پس از سپری شدن مدت ۱۰ دقیقه، نمونه تحت آزمایش از روی بازو بیرون کشیده شده و ارتفاع کاسه‌ایجاد شده در ناحیه آرنج، اندازه‌گیری می‌شود[۱۱].

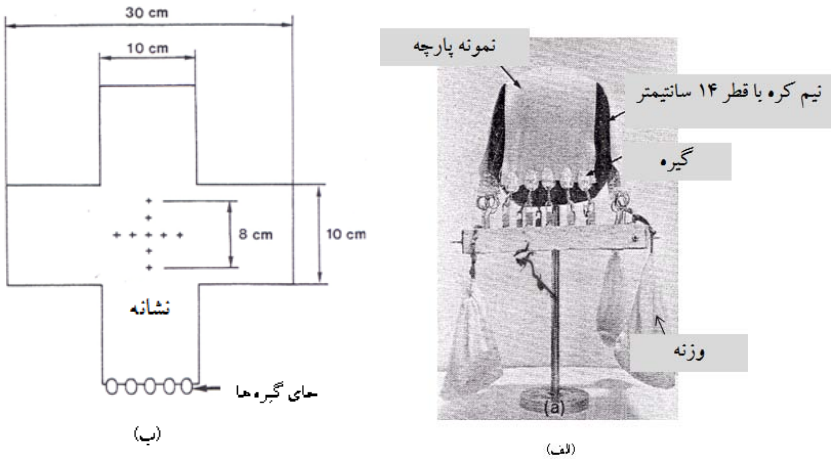
---

[۷] Kawabata Evaluate System
[۸] Zweigle



شکل ۱-۵- دستگاه آزمایش کاسه‌انداختن طراحی شده توسط زویگل.
(۱)میله نگهدارنده. (۲)بازو پایینی. (۳)بازو بالایی. (۴)فندق شکن. (۵)فنر مارپیچی. (۶)مفصل[۱۱]

در سال ۱۹۸۶، یوکورا[۹] و همکارانش، برای اندازه‌گیری رفتار کاسه‌انداختن پارچه با اصطلاح"حجم افزایش یافته"، دستگاهی را ساختند(شکل ۱-۶). در این روش آزمایش، نمونه‌ی مورد نظر بر روی یک نیم کره با قطر ۱۴ سانتیمتر قرار داده شده و با کمک گیره‌ای محکم نگه داشته می‌شود و سپس با استفاده از یک قاب مربعی شکل، برای مدت زمان ۵ ساعت، تحت بار قرار می‌گیرد. این طراحی سبب می‌شود، یک بار مساوی در سرتاسر جهت‌های تاروپود پخش گردد و نمونه‌ها تحت شرایط نیروی ثابت قرار گیرند. ظاهر تغییر شکل یافته‌ی نمونه آزمایش شده با استفاده از تکنیک نقشه‌برداری موجی اندازه‌گیری می‌شود. حجم ایجاد شده از پارچه‌ای که دچار کاسه‌انداختگی شده است، برای ارزیابی میزان تمایل پارچه برای کاسه‌انداختن به کار برده می‌شود[۱۲].

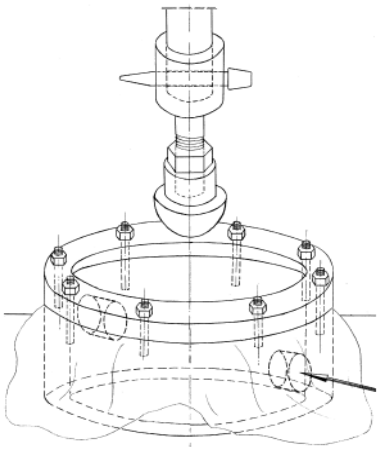


شکل ۱-۶- دستگاه آزمایش کاسه‌انداختن طراحی شده توسط یوکورا. (الف)دستگاه آزمایش کاسه‌انداختن. (ب)شکل ابعاد نمونه[۱۲].

استاندارد آزمایش کاسه‌انداختن توسط وزارت صنایع نساجی چین، در سال ۱۹۸۵ توسعه یافت. مطابق با شکل ۱-۷، پارچه‌ای با قطر ۷۶ میلیمتر، مابین دو صفحه نگه داشته می‌شود،که تنها بخشی از پارچه با قطر ۵۶ میلیمتر، در

[۹] Yokura

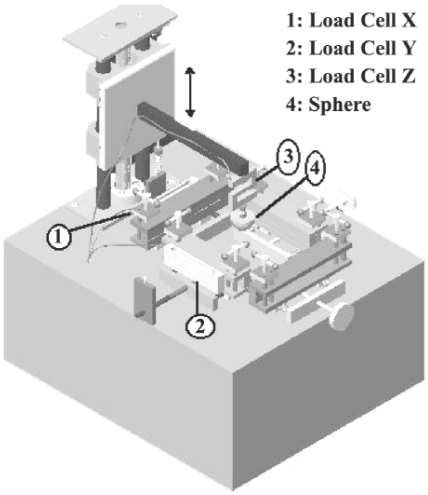
معرض نیروی عمودی اعمال شده توسط گلوله‌ای فلزی به قطر ۴۸ میلیمتر قرار می‌گیرد. در یک ارتفاع از پیش تعیین شده برای کاسه‌انداختن (که می‌توان به عنوان مثال در مقادیر ۱۰، ۱۲ ویا ۱۵ میلیمتر باشد)، پارچه به مدت ۳ دقیقه توسط گلوله فلزی نگه داشته می‌شود. پس از آن که پارچه برای مدت زمان ۲ دقیقه درحالت استراحت قرارگرفت، ارتفاع پس‌ماند از کاسه‌ی ایجاد شده اندازه‌گیری می‌شود[۱۳].



شکل ۱-۷- شکل شماتیکی دستگاه آزمایش کاسه‌انداختن طراحی شده توسط وزارت چین[۱۳]

شیخ‌زاده و همکارانش روشی ارائه کردند،که رفتار کاسه‌انداختن پارچه به صورت تنش‌های کششی صفحه‌ای در دو جهت عمودی تار و پود اندازه‌گیری می‌شود. مطابق با شکل ۱-۸ در دستگاه از نیروسنج[۱۰] استفاده شده است که یک نیروسنج در جهت عمودی و دو نیروسنج دیگر در صفحه تاری و پودی نیرو را اندازه‌گیری می‌کنند. در این دستگاه یک گیره مستطیلی شکل و متفاوت با کارهای قبلی به کار رفت، که دارای چهار فک برای قرار دادن پارچه می‌باشد. دو فک مجاور هر کدام مجهز به یک نیروسنج می‌باشد که نیروی کشیدگی را در دو جهت تار و پود اندازه‌گیری می‌کنند. در قسمت فوقانی این دستگاه یک بازو عمود بر سطح پارچه قرار دارد، که یک گوی فلزی بر روی آن نصب می‌شود و برای تغییر شکل دادن به نمونه پارچه استفاده می‌شود. این بازو حرکت سیکلی انجام داده و مجهز به نیروسنج می‌باشد. نیروسنج عمودی، نیروی فشردگی که همان نیروی عمل‌کننده معمولی در ناحیه زانو می‌باشد را اندازه‌گیری می‌کند. بدین ترتیب این سه‌نیروسنج نیروها را در سه جهت X, Y, Z ثبت می‌کنند و می‌توان مقادیر کار انجام شده در جهت‌های تار، پود و عمود بر سطح پارچه را در هر سیکل بدست آورد[۱۴].

[۱۰] Load Cell



شکل ۱-۸- شکل شماتیک از دستگاه طراحی شده توسط شیخ‌زاده و همکارانش[۱۴].

۱-۵- تحلیل فرایند خستگی[۱۱] در حین پدیده کاسه‌انداختن پارچه

خستگی حاصل از روی هم انباشته شدن تنش دوره‌ای است.کاسه‌انداختن پارچه دارای دو مشخصه است که آن را می‌توان به عنوان یک نوع رفتار خستگی در حین پوشیدن در نظر گرفت. اول این که در حین کاسه‌انداختن، پارچه تحت یک تنش سیکلی در نواحی موضعی مانند زانوها قرار می‌گیرد، بیشترین تنش کمتر از استحکام پارگی است. تنش اعمال شده به تدریج بر ساختار داخلی پارچه اثر می‌گذارد؛ و زمانیکه انرژی الاستیک پارچه کاهش یافت، پارچه کاسه می‌اندازد. دوم این که لباس دارای موقعیت‌های "استراحت کردن" برای یک دوره از زمان در حین پوشیدن است، که آن را قادر به برگشت از تغییرشکل در چند درجه می‌کند[۲].

همان‌طور که قبلاً گفته شد، در تماس بدن با پارچه، خمش و فشردگی بر روی پارچه اعمال می‌شود. در این تغییرشکل، برخی تغییرات ساختاری در پارچه رخ می‌دهد که عبارتند از:

۱- درحین برش، در نقاط تقاطع نخ‌ها، چرخش و لغزش نخ رخ می‌دهد.

۲-درحین تغییرشکل‌های کششی و برشی، خمش نخ و فشرده شدن درنقاط تقاطع نخ‌ها در پارچه رخ می‌دهد.

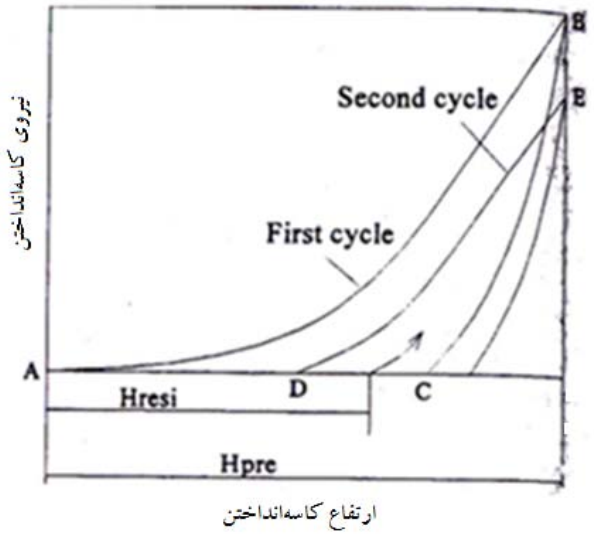
۳-کشش و انبساط نخ، ما بین نقاط تقاطع نخ‌ها در پارچه رخ می‌دهد.

۴-لغزش وکشش الیاف در نخ، در نقاط تقاطع نخ‌ها و همچنین مابین نقاط تقاطع رخ می‌دهد[۱].

زمانی که پارچه تحت تغییرشکل کاسه‌انداختن با یک ارتفاع ثابت قرار می‌گیرد، با توجه به تغییرات ساختاری که در بالا بیان شد، بر اساس سه خاصیت الاستیک، ویسکوالاستیک و پلاستیک خود عمل می‌کند. تغییرشکل ویسکوالاستیک الیاف، بزرگترین سهم را درتغییرشکل کل دارد. تغییرشکل اصطکاکی، به لغزش مابین الیاف و مابین نخ‌ها و همچنین چرخش مابین نخ‌ها در نقاط تقاطع نخ‌ها در پارچه،گفته می‌شود. شکل شماتیکی ۱-۹ اثر این خواص پارچه را در هر بار اعمال نیرو نشان می‌دهد[۱۲].

---

[۱۱] Fatigue



شکل ۱-۹- اصول آزمایش کاسه‌انداختن. *Hresi*: ارتفاع پس‌ماند، *Hpre*: ارتفاع از پیش تعیین شده [۸].

از توانایی بازگشت‌پذیری به شرایط پیش از تغییرشکل برای مواد نساجی نیز همانند هر ماده مهندسی دیگر، با افزایش تعداد سیکل تنش-کرنش و یا بکارگیری یک نیرو یا ازدیاد طول طولانی مدت، تدریجاً کاسته می‌شود. توانایی پارچه به بازگشت‌پذیری از تغییر شکل معمولاً مهمتر از توانائی مقاومت‌کردن در برابر تغییر شکل می‌باشد.

سطح زیر منحنی*AB*، کار انجام شده توسط نیروی خارجی برای غلبه بر نیروی پارچه به تغییرشکل در سیکل اول است. سطح زیر منحنی *BC*، کار انجام شده توسط پارچه جهت آزاد شدن از تغییرشکل است. *ABC*، انرژی پس‌ماند در سیکل اول است، که شامل دو مؤلفه برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر می‌باشد. بنابراین ارتفاع پس‌ماند کاسه‌انداختن سیکل اول مطابق با شکل۱-۹ به جای *AC*، *AD* می‌باشد؛ و این امر بدین دلیل است که پارچه، سریع بین دو سیکل که نیرو صفر است، در اثر بازگشت‌پذیری الاستیکی و ویسکوالاستیکی مقداری بازمی‌گردد. در سیکل دوم، جهت همان جابجایی، مسیر *DE* طی می‌شود،که نیاز به نیروی کمتری را نشان می‌دهد.

اگر پارچه به عنوان یک سیستم و تغییرشکل به عنوان یک فرایند برگشت پذیر و هم‌دما در حجم ثابت در نظر گرفته شود؛ کار در حین این تغییرشکل سیکلی شامل دو مؤلفه می‌باشد:

$$W = Q + U \qquad (۲-۱)$$

W کار انجام شده روی نمونه در هر سیکل، U انرژی الاستیک پارچه که به طور کامل در هر سیکل باز می‌گردد و Q شامل دوجزء انرژی ویسکوالاستیک و اصطکاکی است؛ که منتج به پس‌ماند انرژی در هر سیکل می‌شود. در عمل، متمایز نمودن انرژی‌های ویسکوالاستیک و اصطکاکی مشکل می‌باشد. بنابراین می‌توان انرژی‌های موجود طی عمل کاسه‌انداختن را شامل دو جزء انرژی بازگشت‌پذیر الاستیک U و انرژی ویسکوالاستیک-اصطکاکی Q فرض نمود[۸].