

## مدلسازی کانال پارچه‌ای عمودی نجات

لیلا سعیدی<sup>\*</sup>، محمدشیر زاده<sup>\*\*</sup>، سید عبدالکریم حسینی<sup>\*\*\*</sup> و کامران متین<sup>\*</sup>

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۴/۱۲/۱۵ - دریافت نسخه نهایی: ۸۷/۸/۱۵)

چکیده - کانال پارچه‌ای عمودی نجات، وسیله‌ای مناسب برای فرود از ساختمانهای بلند و نجات افراد در مواقع اضطراری به شمار می‌رود. مکانیزم عمل آن بر اساس استفاده از خاصیت کشسانی در جهت پود منسوج است که با اعمال فشار بر اندام فرد در حال فرود، باعث ایجاد اصطکاک شده و کاربر با باز و بسته کردن دستها و پاهایش می‌تواند سرعت فرود را تنظیم کند. در این تحقیق نحوه تاثیر فشار جداره کانال بر اندام نزول کننده، با استفاده از روابط حاکم در مخازن جدار نازک، مدلسازی شده و روابط لازم برای محاسبه مشخصه‌های منسوج مناسب، تحت عنوان رابطه فرود استخراج شده است. تاثیر مشخصات فیزیکی کاربر، ... توسط معادله حاصل با مدل ساخته شده مقایسه شده و پیش بینی‌های مربوط به یک مدل واقعی با تاثیر وزن و ابعاد کاربر از نتایج آن حاصل شده است.

واژگان کلیدی: کانال نجات، خاصیت کشسانی، مخازن جدار نازک

## Modeling the Vertical Falling Life Chute

L. Saidi, M. Sheikhzadeh, S.A. Hosseini Ravandi, and K. Matin

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology

**Abstract:** Stretchable woven chute is a safe device for falling humans from multi-story buildings in emergencies. During the fall, the elastomeric property of the fabric, in the weft direction, causes radial forces towards the human body inside. These radial forces lead to frictional forces between the chute and the body. The falling man can reduce the falling speed by exerting outward forces via stretching and contracting arms or legs. In this research, a model is developed to analyze the different forces involved in the fall based on the so-called thin sheet tank "fall relations". The model is capable of determining body characteristics with respect to the real model. Finally, real-world model predictions have been made in which the effects of body weight and dimensions have been considered of.

**Keywords:** Life chute, Elastomeric property, Thin sheet tank.

\*\*\* - استاد

\*\* - استادیار

\* - کارشناس ارشد

$R_1$	شعاع داخلی استوانه بعد از ورود کاربر	F	نیروی مانع نزول
t	ضخامت منسوج	f	نیروی اعمال شده در عرض منسوج
w	عرض منسوج تحت کشش	L	طول تماس (قد کاربر)
$\alpha$	شیب منحنی نیرو- ازدیاد طول نسبی	N	نیروی عمودی (عکس العمل نیروی وزن کاربر)
$\varepsilon$	ازدیاد طول نسبی	$P_1$	فشار داخلی (اعمال شده به اندام کاربر)
$\sigma_t$	تنش محیطی (شعاعی)	$R_0$	شعاع اولیه کانال قبل از ورود کاربر
$\mu$	ضریب اصطکاک دینامیکی		

### ۱- مقدمه

پوسته مخزن می‌شود. فرض بر این است که اعمال فشار یکسان به تمام نقاط درون استوانه جدار نازک امکانپذیر باشد [۴]. در شکل (۱) تنشهای وارد به مخزن جدار نازک نشان داده شده‌اند [۵]. با تحلیل و بررسی تنشهای موجود، مقدار تنش محیطی اعمال شده بر سطح استوانه از معادله زیر به دست می‌آید [۶].

$$\sigma_t = \frac{P_1 R_1}{t} \quad (1)$$

در این معادله  $P_1$  فشار داخلی و  $R_1$  شعاع داخلی استوانه، t ضخامت پوسته و  $\sigma_t$  تنش محیطی‌اند.

### ۲- محاسبات (روابط استخراج شده برای فرود کاربر)

در هنگام ورود کاربر به داخل کانال در اثر افزایش قطر، سطح جانبی استوانه افزایش یافته و باعث اعمال نیرو بر غشای داخلی پارچه می‌شود. نیروهای حاصل از کشش عرضی پارچه باعث ایجاد فشار در داخل استوانه می‌شوند. با فرض استوانه‌ای بودن اندام کاربر می‌توان، از معادله حاصل از مخازن جدار نازک بدین شرح استفاده کرد.

$$\sigma_t = \frac{P_1 R_1}{t}, \quad P_1 = \frac{\sigma_1 t}{R_1} \quad (2)$$

فشار وارده به صورت نیروی وارد بر سطح را می‌توان به شکل زیر نوشت

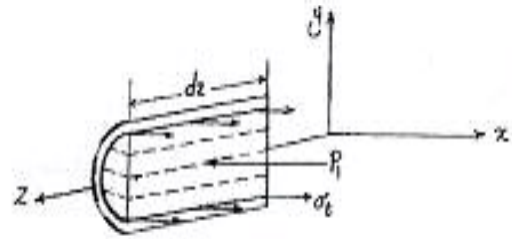
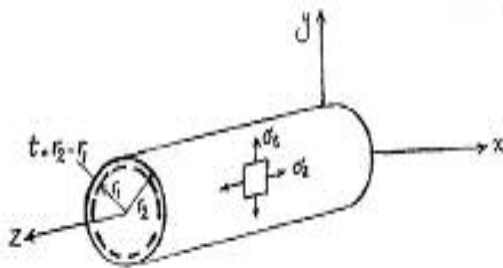
$$N = P_1 (2\pi R_1) L \quad (3)$$

L طول تماس کاربر (قد کاربر) و N نیروی عمودی اعمال شده

دسترسی افراد به راههای خروج ساختمانهای بلند در شرایط اضطراری از اهمیت زیادی برخوردار است. به نظر می‌رسد کانال نجات عمودی یا زاویه دار تهیه شده از منسوج کشسان [۱] با قابلیت ایجاد اصطکاک با اندام فرود کننده، در مقایسه با پله فرار وسیله‌ای مناسب، ارزان، سبک و کم حجم بوده و کاربرد برای همه افراد بدون توجه به ابعاد و اندازه هیکل آنها، بسیار راحت باشد [۱]. اولین و در واقع ابتدایی‌ترین کانال فرار در سال ۱۹۶۷ بر اساس روش الکترواستاتیک و نیوماتیک و استفاده از اثر فشار هوا توسط زفینی فرانسوی طراحی و به ثبت رسید ولی هیچگاه به تولید تجاری نرسید [۲].

در سال ۱۹۷۳ روش چند ورودی توسط زک می طراحی و ثبت شد [۲]. در سال ۱۹۷۶ موریموتو وسیله جدید تری را ارائه کرد [۲]. امروزه از کانال فرار تک ورودی و چند ورودی در ساختمانهای بلند استفاده می‌شود. اساس کار چنین وسیله‌ای ایجاد اصطکاک جداره داخلی منسوج با اندام فرود کننده بوده که باعث کاهش سرعت فرود می‌شود. این وسیله می‌تواند به طور متوسط ۲۵ نفر را در مدت یک دقیقه نجات بدهد [۱]. این وسیله افراد را از دود، آتش و گرما درحین تخلیه حفظ کرده و حتی می‌تواند برای نجات بیماران نیز موثر باشد [۳].

استوانه فرود به عنوان مخزن جدار نازک در نظر گرفته می‌شود. در این مخازن فشار سیال داخل مخزن پس از اعمال به جداره مخزن موجب ایجاد کشش در روی سطح جانبی



شکل ۱- تنشهای وارد به مخزن جدار نازک

که صرفاً جز کشسان در معرض نیرو قرار گرفته است و  $\epsilon$  مقدار ازدیاد طول نسبی است.

با توجه به افزایش شعاع کانال در اثر فشار کاربر می توان مقدار  $\epsilon$  را با توجه به شعاع نهایی و شعاع اولیه محاسبه کرد.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{2\pi R_1 - 2\pi R_0}{2\pi R_0} = \frac{R_1 - R_0}{R_0} \quad (9)$$

که  $R_0$  شعاع اولیه کانال است. با استفاده از معادلات (۷) تا (۹) نیروی مانع نزول به صورت زیر محاسبه می شود:

$$F = \frac{2\pi\mu L \tan \alpha}{w} \left( \frac{R_1}{R_0} - 1 \right) \quad (10)$$

معادله (۱۰) به عنوان معادله فرود نامگذاری می شود که عوامل آن عبارتند از  $R_1$  شعاع متوسط اندام کاربر،  $R_0$  شعاع اولیه کانال،  $L$  طول اندام کاربر بر (قد کاربر)،  $\mu$  ضریب اصطکاک بین جداره کانال و سطح اندام کاربر،  $w$  عرض پارچه هنگام حصول منحنی نیرو- ازدیاد طول نسبی،  $\alpha$  زاویه شیب ابتدایی این منحنی در ناحیه کشسانی و  $F$  نیروی مقاوم در مقابل فرود است

### ۳- تجربیات

عوامل اثر گذار بر مقدار نیروی مانع فرود در معادله فرود، موارد زیر هستند.

$\mu$  به عنوان خاصیت اصطکاکی دو منسوج،  $w$  و  $\tan \alpha$  دو عوامل مربوط به خواص مکانیکی ایجاد شده در عرض کانال و  $R_1$  عامل حاصل از مشخصات فرود کننده است (شعاع اندام کاربر). با توجه به شرایط عملی فرود به بررسی موارد فوق می پردازیم.

از جداره کانال براندام کاربر است.

با استفاده از معادلات (۲) و (۳) خواهیم داشت:

$$N = 2\pi\sigma_t L t \quad (4)$$

مقدار نیروی اصطکاک بین سطح اندام کاربر و جداره داخلی کانال از حاصل ضرب ضریب اصطکاک (دینامیکی) در مقدار نیروی عمودی حاصل می شود. بنا بر این می توان نوشت:

$$F = 2\pi\mu\sigma_t L t \quad (5)$$

$F$  نیرویی است که از نزول جلوگیری می کند و  $\mu$  ضریب اصطکاک سطوح است

چون شرایط محاسبه تنش در عرض پارچه مقدور نیست، می توان با توجه به شکل (۱) تنش را به صورت زیر نوشت:

$$\sigma_t = \frac{f}{tw} \quad (6)$$

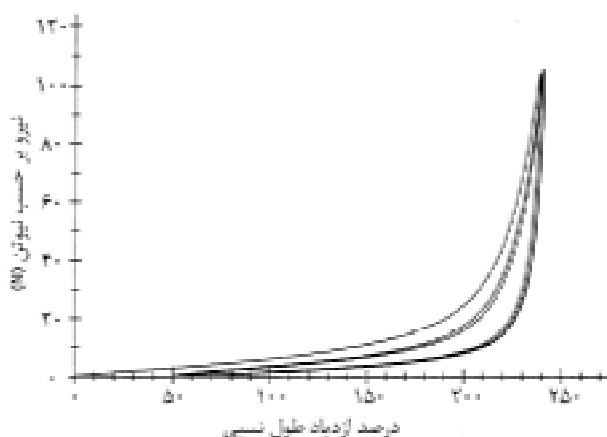
در این معادله  $w$  عرض منسوج تحت کشش،  $f$  نیروی اعمال شده در عرض منسوج و  $t$  ضخامت منسوج است. با استفاده از معادله (۶) و (۵) نیروی مانع نزول به دست می آید

$$F = \frac{2\pi\mu L f}{w} \quad (7)$$

$\left(\frac{f}{w}\right)$  نیروی وارده بر واحد عرض منسوج (محیط کانال) نامیده شده و از منحنی حاصل از دستگاه کشش به دست می آید. از منحنی نیرو- ازدیاد طول نسبی دریافت شده از دستگاه و با محاسبه مقدار ازدیاد طول نسبی منسوج در اثر عبور کاربر از کانال، نیروی  $f$  به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\tan \alpha = \frac{f}{\epsilon} \quad (8)$$

$\alpha$  شیب منحنی نیرو- ازدیاد طول نسبی در ناحیه کشسان است



شکل ۲- تقسیم دو ناحیه از منحنی نیرو ازدیاد طول نسبی

### ۳-۱- اصطکاک

عاهده خواهد داشت. برای تعیین محدوده اصطکاک چندین نوع پارچه با مشخصات مختلف از لحاظ جنس و نوع نخها و نیز تراکم و طرح بافت تحت آزمایش قرار گرفت. ضریب اصطکاک ( $\mu$ ) حاصل از آزمایشات در محدوده‌ای بین ۰/۴۰۶ تا ۰/۵۹۲ به دست آمد. لازم به توضیح است که کلیه آزمایشها طبق استانداردها انجام شد [۱۶].

### ۳-۲- خواص مکانیکی لایه کشسان

از عوامل بسیار مؤثر در معادله فرود میزان نیروی اعمال شده به جداره داخلی (عرض لایه) کشسان است. این نیرو در نتیجه ازدیاد طول نسبی منسوج در این جهت عرضی حاصل شده و در واقع حاصل فشار داخلی اعمال شده از طرف کاربر به جداره کانال است. برای دستیابی به مقدار عملی این نیرو، لایه کشسان در جهت عرض با روشهای استاندارد [۱۷] تحت آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایشات را در شکل (۲) می‌بینید. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، نیروی اعمال شده در مقابل ازدیاد طول نسبی پارچه ابتدا با شیب کم تا حدود ۲۰٪ پیش رفته و پس از آن زاویه شیب به یکباره افزایش می‌یابد. در رابطه فرود مقدار زاویه شیب منحنی در ناحیه اول بسیار مهم و تعیین کننده است شیب قسمت دوم منحنی با استحکام نهایی منسوج در جهت عرض مرتبط است.

منسوج به کار رفته در این تحقیق کانال پارچه‌ای بافته شده

گر چه رفتار اصطکاک پلیمرها و به تبع آن منسوجات همیشه و به طور صد در صد از قانون معروف اصطکاک ( $F = \mu R$ ) پیروی نکرده [۷] و همچنین براساس تحقیقات هاوول و مازوا این مواد از معادله  $F = aR^n$  که در آن  $a$  و  $n$  ضرایب اصطکاک بوده نیز به طور کامل پیروی نمی‌کنند، ولی با صرف نظر از اندک خطایی می‌توان با فرض پیروی کامل، از این روابط استفاده کرد [۸]. علاوه بر آن، جنس الیاف و جهت بافت و نوع بافت پارچه می‌تواند در رابطه اصطکاک مؤثر باشد [۹-۱۱]. همچنین تاثیر رطوبت و شرایط آب و هوایی بر مقدار اصطکاک درکار گوستو [۱۲] و همکارانش بررسی شده است. راوندی و همکارانش حرکت ایست-رو در اصطکاک دینامیکی را روی سطح پارچه بررسی کردند [۱۳]. آجایی تاثیر ساختار پارچه را روی خصوصیات اصطکاک آن تعیین کرد [۱۴]. کار و همکارانش خصوصیات اصطکاک پارچه‌های مختلف به کار برده شده در مصرف لباس را برای ارائه دادن روشهای مونتاژ خود کار بررسی کردند [۸]. کوتاری و همکارانش اثر فشار نرمال را بر خصوصیات اصطکاک پارچه‌های پنبه‌ای بررسی کردند [۱۵].

برای ایجاد استحکام طولی بیشتر کانال و استفاده از آن در ارتفاع زیاد بهتر است از دو لایه استفاده کرد. لایه داخلی استحکام لازم را فراهم می‌کند ولایه خارجی تنظیم سرعت را به

جدول ۱- مقایسه میان مقادیر عملی و نظری نیروی لازم برای شروع حرکت کاربر

کد پارچه	جهت مورد آزمایش	نیروی لازم برای شروع حرکت (N) نیوتن	
		مقدار نظری	مقدار عملی - تفاوت (( %/۰۰ ))
A	تار	۴/۸۲۰	۵/۰۶۷-((۰/۲۴۷))
	پود	۴/۸۷۹	۵/۲۳۲-((۰/۳۵۳))
B	تار	۳/۳۴۱	۴/۶۸۱-((۱/۳۳۴))
	پود	۳/۳۴۷	۴/۷۱۷-((۱/۳۷۰))
C	تار	۴/۰۰۵	۴/۳۶۰-((۰/۳۵۵))
	پود	۴/۰۵۵	۴/۳۰۲-((۰/۲۴۷))
D	تار	۴/۰۵۵	۴/۳۵۵-((۰/۳۰۰))
	پود	۴/۴۸۳	۴/۹۰۰-((۰/۴۱۷))
E	تار	۴/۵۹۴	۴/۰۲۰-((۰/۵۷۴))
	پود	۴/۲۷۰	۴/۴۶۰-((۰/۱۹))
F	تار	۴/۱۴۰	۴/۳۸۰-((۰/۲۴))
	پود	۴/۲۵۰	۴/۶۲۹-((۰/۳۷۹))

تجربی حاصل شده است. نتایج حاصل از مقادیر عملی و نظری و تفاوت آنها در جدول (۱) درج شده است. پس از جاگذاری، معادله (۱۰) به صورت زیر در می آید

$$F = \frac{2\pi\mu L \tan \alpha}{w} \left( \frac{R_1}{R_0} - 1 \right)$$

#### ۴- نتیجه گیری

در معادله ۱۰ ضرایب  $\mu$  و  $\frac{L}{w}$  و نیز ضرایب ثابت را اگر برای فردی با قدی در حدود ۱۷۰ سانتیمتر، جاگذاری کرده و مقدار  $w$  را برای ۱ سانتیمتر از عرض پارچه در نظر بگیریم با کمترین مقدار ضریب اصطکاک حاصل، معادله به صورت زیر خواهد شد.

$$F = 427 \tan \alpha \left( \frac{R_1}{R_0} - 1 \right) \quad (11)$$

در صورتی که عرض افزایش یافته متوسط در کانال دو برابر

به روش بافندگی تار پودی بوده است. تار نخ پلی استر فیلامنت، ۱۵۰ دینر با مقاومت ۴ گرم بر دینر وبا تراکم ۱۱ در سانتیمتر و پود، نخ پلی استر فیلامنت الاستان (کشسان)، ۲۱۰ دینر و روکشدار با تراکم ۳۰ در سانتیمتر بوده است. برای مدلسازی، نمونه پارچه به صورت استوانه‌ای (لوله‌ای) و توسط ماشین بافندگی ماکویی بافته شده است. با افزایش تدریجی مقادیر وزنه در داخل جسم استوانه‌ای، مقدار وزن اولیه لازم برای شروع حرکت به دست آمد. به جای کاربر و یا در واقع جسم فرود کننده در این مدل از یک استوانه توپر پارچه‌ای با قطر ۷/۲ سانتیمتر و ارتفاع ۱۰/۵ سانتیمتر که روکشدار شده، توسط پارچه‌های مختلف استفاده شد. قطر اولیه کانال استوانه‌ای قبل از ورود استوانه ۵/۷ سانتیمتر و پس از ورود آن ۷/۲ سانتیمتر بوده است. با استفاده از معادله فرود، مقدار نیروی لازم برای شروع حرکت کاربر محاسبه و نهایتاً مقادیر واقعی نیرو برای فرود نیز با افزایش تدریجی وزنه در داخل استوانه به‌طور

می‌تواند دستها و پاهای خود را بیشتر باز کند و فشار بیشتری به جداره داخلی کانال وارد کند. با توجه به مطابقت خوب مقادیر نظری با نتایج حاصل به دست آمده از مدل کوچک ارائه شده، می‌توان برای هر افراد با ابعاد و اندازه‌های متفاوت مقادیر نیروی وارده توسط کاربر پس از ورود به دیواره کانال و نیز مقدار نیروی لازم برای توقف کامل در کانال را محاسبه کرد. با به دست آوردن مقادیر به دست آمده می‌توان نحوه حرکت فرد را داخل کانال بررسی کرده و مشخصات کامل و حتی استاندارد از انواع آن را برای تولید در مقیاس تجاری تعیین کرد.

عرض اولیه شود. مقدار  $\left(\frac{R_1}{R_0} - 1\right)$  مساوی با عدد ۱ خواهد شد لذا برای غلبه بر نیروی وزن فرد (حدود ۹۰۰N) مقدار  $\tan \alpha$  بایستی عدد ۲/۱ نیوتون باشد. با توجه به الیاف و نخهای کشسان در دسترس به کار رفته در نخهای پود منسوج و امکان ایجاد تراکمی حدود ۳۰ پود در سانتیمتر، دستیابی به عدد ۲/۱ برای  $\tan \alpha$  مقدور شد. البته باید در نظر داشت این محاسبه برای رسیدن به سکون کامل کاربر است. بنابراین با عددی کمتر از ۲/۱ برای  $\tan \alpha$  هم کاربر می‌تواند از سرعت فرود بکاهد. کاربر برای کاهش سرعت و در واقع ترمز کردن در داخل کانال،

## مراجع

1. www.escape consult .com
2. www.freetools.org
3. www.yatraco.com
۴. صفری، ف.، و نشاسته ریز، م، "مقایسه خواص کششی پارچه با پود کشسان در شرایط مختلف بافندگی"، پروژه کارشناسی دانشکده نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۳.
۵. شاکری، م.، پوسته‌های جدار نازک، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، زمستان ۱۳۷۲.
6. Boresi, A.P., Shcemiid, R.J., and Sidebottom, O. M., *Advanced Mechanics of Materials*, fifth Edition., John Wiley & Sons, 1993.
7. Carr, W.W., Posey, J.E., and Tincher, W.C., "Frictional Characteristic of Apparel Fabrics," *Textile Research Journal*, pp. 129-136, March 1988.
8. Howell, H.g., and Mazur, J., "Amonton's Law and Fiber Friction," *Journal of Textile Institute.*, T. 59. pp. 44, 1953.
9. Hong, J., and Jayaraman, S., "Friction in Textils," J.M., *Journal of Textile Institute*, Vol. 34, pp. 35-43, 2003.
10. Zurek, W., Jankowiak, D., and Frydrteh, I., "Surface Frictional Resistance of Fabrics Woven from Filament Yarns," *Textile Research Journal*, pp.113-121. Februray 1985.
11. Nishimatsu, T., and Sawaki T., "Study on Pile Fabrics, Part IV: Investigation of Factors Affecting Frictional Properties of Fabrics," *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, Vol. 30, No.4, pp. 100-106, 1984.
12. Gwosdow. A.R., Stevens. J. C., Bergland. L. G, and Stolwijk. J. A. J., "Skin Friction and Fabric Sensations in Neutral and Warm Environments," *Textile Research Journal.*, Vol. 56, pp. 574, 1986.
13. Hosseini Ravandi. S., Toriumi. K., and Matsumoto. Y, "Spectural Analysis of the Stick Slip Motion of Dynamic Friction in the Fabric Surface," *Textile Research Journal*, Vol. 64, No. 4., pp. 224-229, 1994.
14. Ajayi. J. O., "Effect of Fabric Structure on Frictional Properties," *Textile Research Journal*, Vol. 62, No. 2., pp. 87-93, Feb. 1992.
15. Kothari. V. K., and Swani. N. M., "Frictional Properties of Wren Fabrics," *Indian Journal of Textile fibers.*, Vol. 16, p. 251, 1991.
16. ASTM 1984 (American Standard of Testing Material).
17. ASTM 4964(American Standard of Testing Material).