

درباره چگونگی شکست ستونهای ترك خورده

نوشته‌ی

دکتر اردشیر جهانشاهی

دانشیار دانشکده فنی

این بررسی در تابستان ۱۳۴۶ در بخش مهندسی مکانیک دانشگاه سیراکیوس در ایالات متحده آمریکا اجراء گردیده است.

مقدمه (۱)

در گذشته نزدیک مسئله ظرفیت باربری ستونهای ترك خورده که در ساختمانهای نظامی اهمیت فراوان دارد موضوع تجسسات دامنه دارای بوده است. در برخی از این تجسسات فرض شده است که مکانیزم شکست ستون انتشار ترك در مقطع ستون میباشد. در مدل رفتار ستون که در این مطالعات بکار رفته است ماده ستون در کلیه نقاط « بارشکست » ارتجاعی فرض گردیده است. بار شکست - در این تجسسات - بترتیب زیر تعریف میشود بار شکست باری است که در یک ستون حقیقی ترك خورده (ستونی که بر آن بار محوری کاملاً بطور مرکزی وارد نگردیده و محور آن کاملاً مستقیم نمیشود) قوه تنش استثنائی درنوك ترك را بمقدار بحرانی آن افزایش دهد (۲). گرچه چنین مطالعاتی بسیار جالب توجه میباشد ولی نمیتوان انتظار داشت که اطلاعات قانع کننده‌ائی درباره رفتار ستونهای که از مواد شکل پذیر ساخته شده است بدست دهد. بایستی بخاطر داشت که ستونها تقریباً بدون استثنا از مواد شکل پذیر ساخته میشوند.

۱ - این تجسسات اخیراً برای دفتر تحقیقاتی نیروی دریائی آمریکا اجراء شده است.

۲ - برای کسب اطلاعات از آخرین تحقیقات در مکانیک شکستگی بمنابع زیر مراجعه نمایید.

M. L. Williams, «Stress Singularities, Adhesion, and Fracture,» Proceeding of 5th

U. S. National Congress of Applied Mechanics, 1966.

A. Jahanshahi, «A Diffraction Problem and crack Propagation,» Journal of Applied

Mechanics, March 1967.

در این مقاله کوتاه با بکار بردن یک تحلیل مقدماتی مکانیزم شکست ستونهای شکل پذیر ترك خورده مورد بحث قرار میگردد. آزمایش هائی که نویسنده در دانشگاه سیرا کوس روی ستونهای فولادی و آلومینیومی اجراء نمود صحت مکانیزم شکست را که ذیلا پیشنهاد شد تأیید مینماید. گرچه تحلیل برای یک مورد بخصوص ساده اجراء شده است ولی هیچ گونه اشکال اساسی در مقابل تعمیم آن بموارد کلی تر موجود نمیشد.

ستون لولاشده با انحراف اولیه محور

ستون لولا شده ی همگن متجانس ارتجاعی که در شکل (۱) نشان داده شده در نظر گرفته میشود طول ستون l و سطح مقطع آن مربعی بضلع h میباشد. محور ستون دارای انحراف اولیه :

$$v_i = v_0 \sin \frac{\pi X}{l}$$

بوده و در طرف مجذوب آن در نقطه $X = l/2$ ترکی عمود بر محور بعمق γ موجود است. بر ستون نیروی محوری P

وارد شده است. وقتی $P = 0$ میباشد ترك بسته بوده و ستون آزاد از تنش است. ضریب ارتجاعی و تنش تسلیم ساده ستون بترتیب با E و σ_y مشخص میگردد. بر طبق اطلاعات موجود اگر

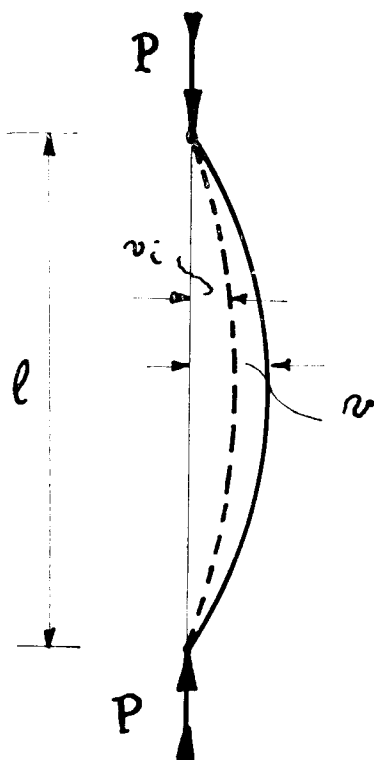
$$(1) \quad P < P_h \left(1 - \gamma \frac{v_0}{h} \right)$$

باشد که در آن P_h بار اولراست یعنی :

$$P_h = \frac{\pi^2}{12} \frac{Eh^4}{l^2}$$

هیچ یک از تارهای ستون در کشش نمیشد (۲).

فرض میشود که P از صفر افزایش یابد. تازمانی که شرط (۱) اقلان میگردد ترك بسته بوده و رفتار ستون مانند ستونهای ترك نخورده است. این مرحله، مرحله اول تغییر شکل ستون نامگذاری میشود. بایستی بخاطر داشت که در ستون هائی که محور آنها بطور قابل ملاحظه ای در حالت اولیه انحراف دارد این مرحله ممکن است کاملاً



شکل ۱

حذف گردد. از طرف دیگر ستونهای کوتاه تقریباً مستقیم ممکن است در این مرحله تسلیم شده و با ایجاد لولای

3 - D. C. Drucker, «Introduction to Mechanics of deformable bodies», Chapter 16, Mc Graw - Hill Book Company, New York 1967.

پلاستیک شکست بخورد. درچنین مواردی تحلیل Shanley بایستی بکار رود^(۴). درمباحث زیر فرض میشود که ماده ستون درمرحله اول تسلیم نگردیده است.

حالات تعادل خنثی - مرحله دوم

دو حالت حدی در نظر گرفته میشود: (الف) حالت درست بسته و (ب) حالت درست باز. حالت حدی درست بسته حالتی است که در آن نا معادله (۱) در شرف معادله شدن است یعنی وقتی که ترك در شرف باز شدن میباشد. حالت درست باز حالتی است که در آن ترك تقریباً کاملاً باز شده است یعنی ترك باز گردیده ولی تنش های کششی هنوز در نوك آن ایجاد نشده است. این دو حالت حدی و کلیه حالات بین نابینی حالات تعادل خنثی میباشد. این حالات تعادل خنثی تحت اثر بار:

$$(۲) \quad P = P_h \left(1 - \nu \frac{v_0}{h} \right)$$

رخ داده و امکان وقوع کلیه آنها در این باریکسان است. این سلسله حالات خنثی "مرحله دوم جریان تغییر شکل ستون ترك خورده را تشکیل میدهد. عبور از حالت درست بسته از طریق حالات بین نابینی بحالت درست باز موجب حرکت خط اثر بر ایند نیرو و بطرف چپ در مقطع ترك خورد میشود بدین ترتیب گرچه عبور از حالت درست بسته بحالت درست باز توأم با حرکت ستون بسمت راست میباشد ولی برآیند نیروی محوری و لنگر خمشی در مقطع ترك خورده در کلیه حالاتی که بمرحله دوم تعلق دارد یکسان میماند.

مطالب بالا در صورتیکه در عبور از یک حالت تعادل خنثی بحالت دیگر در مقطع ترك خورده تسلیم رخ ندهد صحت دارد. البته اگر تسلیم آغاز گردد و ضعیف متفاوت خواهد بود. بفرض اینکه ستون در تمام مرحله دوم ارتجاعی باشد اقدام به بررسی مرحله سوم تغییر شکل میشود.

مرحله سوم تغییر شکل

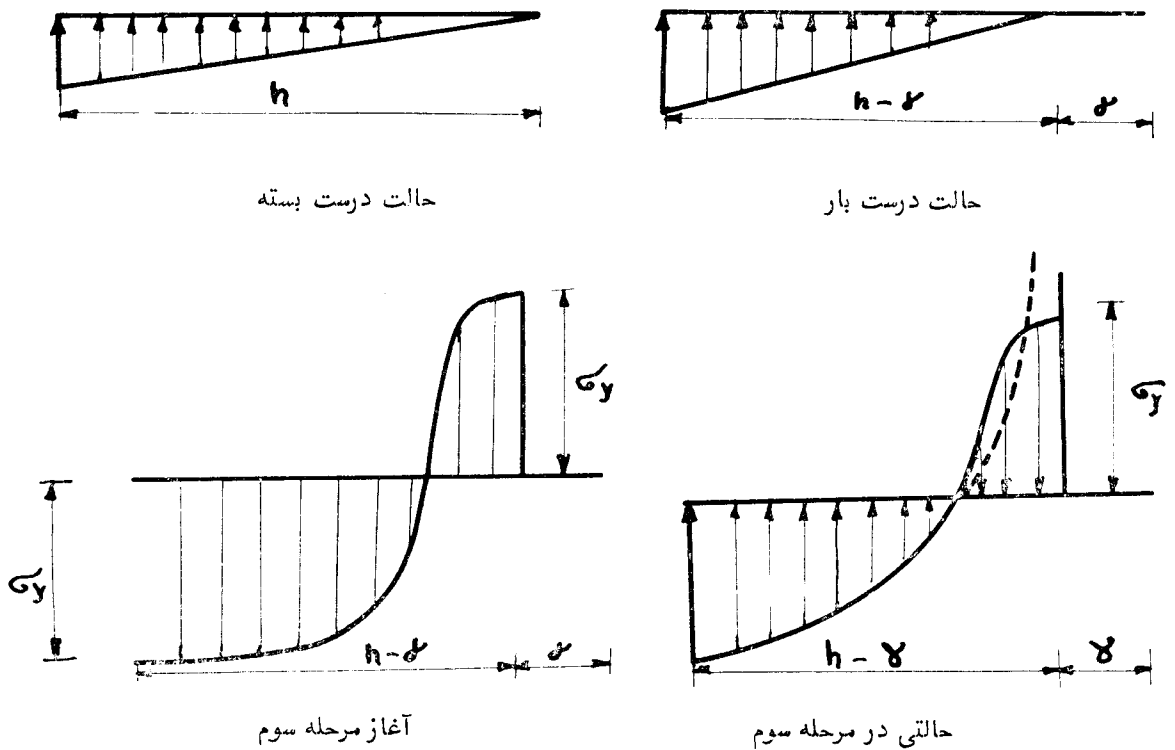
مرحله سوم تغییر شکل ستون وقتی:

$$(۳) \quad P > P_h \left(1 - \nu \frac{v_0}{h} \right)$$

آغاز میشود در این مرحله تنش های کششی بینهایت بزرگ تئوریک در نوك ترك ایجاد میشود (تنشهای استثنائی نوع جذری مختص ترك^(۲)). اما بعلت سیلان پلاستیک در مواد ساختمانی حقیقی تنش هرگز بینهایت نمیگردد.

4 - F. R. Shanley, «Strength of Materials», P. 581 Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 1957.

توزیع تنش در مقطع ترك خورد در مراحل مختلف تغییر شکل ستون در شکل ۲ تصویر شده است. ملاحظه میشود که در این مقطع انتشار ترك صورت نگرفته بلکه سیلان پلاستیک رخ میدهد آزمایش های متعدد اطلاعات شکل ۲ را تأیید نموده است.



شکل ۲

بعبارت دیگر ستونهائی که تا مرحله سوم تسلیم نگردیده است در این مرحله بعلت ایجاد لولای پلاستیک در مقطع ترك خورده دچار شکست میشود بعد از ایجاد لولای پلاستیک ستون تغییر شکل فراوان داده و بار حامل بمقدار کوچکی کاهش مییابد. شواهد و علائم شکستگی ترد ملاحظه نمیشود. در دوران فوق العاده زیاد لولای پلاستیک شکستگی فنجان و مخروط که مختص مواد شکل پذیر میباشد مشاهده میگردد.

بر پایه مطالب فوق الذکر بنظر میآید که توسعه لولای پلاستیک (و ته انتشار ترك) بایستی اساس هر گونه پیش بینی منطقی ظرفیت باربری ستونهای ترك خورده که از مواد ساختمانی واقعی ساخته شده است شناخته شود.

بر اساس مکانیزمی که در بالا تعریف و تشریح گردید ظرفیت باربری ستون لولا شده کاملاً مستقیم که در وسط ترك خورد بطور مرکزی بار گذاری محوری گردیده و از ماده سخت شونده ساخته شده است باروشی مشابه با آنچه Shanley بکار برده است تحلیل گردید و بار بحرانی زیر محاسبه شد:

$$P_c = \pi^2 \frac{E_t I_k}{l^2} \quad (4)$$

در این رابطه I_k گشتاور جبری سطح کاهش یافته مقطع ترک خورده و E_t شیب مماس به منحنی تنش تغییر شکل نسبی در تنش فشاری P_c/A و A مساحت سطح کاهش یافته مقطع ترک خورده میباشد. در صورتیکه ترک از حوالی وسط ستون دور باشد مکانیزم شکست و در نتیجه بار بحرانی ممکن است تغییر نماید؛ تعمیم (۴) بایستی با توجه باین نکته صورت گیرد.

برای یک ستون مستطیلی وقتی $\gamma = 0.1h$ میباشد (h ضلع کوچکتر مقطع است) کاهش در بار ضریب مماسی بعلت حضور ترک در حدود ۲ درصد است.