

## MEKANİK ŞOK TUTUCULAR

**Ali ÇOLAKOĞLU**  
Araş. Gör.  
Makina Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
ANKARA

**R. Orhan YILDIRIM**  
Prof. Dr.  
Makina Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
ANKARA

Bir çarpışma sırasında çarpan ve çarpılan elemanlar arasında oluşan kuvvetler, bu elemanların şekil değiştirme karakteristiklerine bağlıdır. Eğer çarpışan elemanlar, çarpışma sırasında oluşacak kinetik enerjinin yaratacağı şekil değişikliğini taşıyabilecek elastikiyete sahip değilse veya oluşan kinetik enerjinin güvensiz ve kontrolsüzce yayılma ihtimali varsa, bu iki eleman arasında özel olarak tasarlanmış enerji tutucu sistem koymak gerekir. Dolayısıyla böyle bir enerji tutucunun ana yapıya zarar vermeden büyük kalıcı şekil değişikliklerini taşıyabilme ve dinamik koşullar altında güvenilir ve kontrol edilebilir yük-şekil değişikliği karakteristiğine sahip olması gerekir. Bu çalışmanın amacı mekanik şok tutucular hakkında genel bir bilgi verip, daha önce yayınlanmış yazıların derlenmesidir.

## GİRİŞ

Kinetik enerjinin kontrollü ve daha önceden belirlenmiş oranlarda tüketimini sağlayabilecek mekanik sistemlerin geliştirilmesi ve ayrıntılı tasarımı, mühendislik alanında gün geçtikçe artan bir öneme sahiptir. Enerjinin tüketimi sırasında, metalik malzemeler kalıcı şekil değişikliklerine maruz kaldıkları için bu tür enerji tüketici sistemler bir kullanımlık tipler olarak anılırlar.

Teknolojideki gelişmeler çok daha hızlı ve büyük kütleli araçların yapımına imkan sağlamaktadır. Bunun doğal sonucu olarak, oluşabilecek bir kazanın insanlara, çevreye ve çok pahalı araçlara verebileceği zarar miktarı artmaktadır. Dolayısıyla bir tasarımda amaç, çarpışma esnasında oluşacak kinetik enerjiyi geri kazanmak üzere depolamak yerine onu geri dönüşümsüz olarak tüketerek insanların, eşyaların ve araçların kendilerinin zarar görmesine engel olmaktır.

Çalışmada, bu tür sistemlerin karakteristikleri, kullanım alanları ve enerjiyi tüketim mekanizmaları gözden geçirilmiştir.

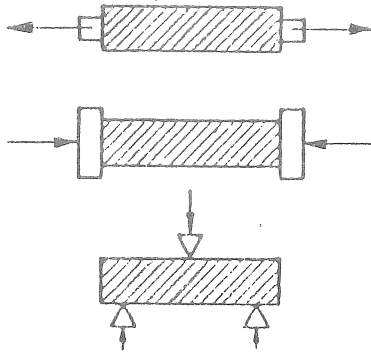
## 1. ENERJİ TUTUCU SİSTEMLER

Eneji tutucular kendilerine çarpan cisimlerin fazla kinetik enerjisini geri dönüşümsüz olarak tüketmek için tasarlanmış sistemlerdir.

### 1.1. Enerji Tutucu Sistemlerin Karakteristikleri

Enerji tutucu sistemler, sahip oldukları yük-yerdeğiştirme veya enerji-yerdeğiştirme özelliklerine göre tanımlanırlar. Buna rağmen, bazı özellikler bağlantı, destek, yük dağılımı gibi teknik parametrelerden bağımsız olarak tanımlanan ve karakteristikleri dış boyutların fonksiyonu olarak alan kara-kutu tanımıyla belirlenebilir. (Şekil 1). Bu genel tanım sınır koşullarının eklenmesiyle özel bir durum için kullanılabilir [1-5].

Aşağıda konuyla ilgili bazı parametreler özetlenmiştir. Burada  $M$ ,  $V$  ve  $p$  enerji tutucu elemanın sırasıyla kütle, hacim ve yoğunluk değerleridir.



Şekil 1. Enerji tutucunun kara-kutu tanımı.

- i. Sehim (yerdeğiştirme),  $x$ , kuvvetin etki ettirildiği noktaya göre yer değiştirme miktarı.
- ii. Tepki kuvveti,  $R$ , enerji tutucu sistemin dinamik tepki kuvveti olup sehimin bir fonksiyonudur. Ortalama tepki kuvveti,  $R_0$ , ise şöyle tanımlanabilir;

$$R_0 = \frac{1}{x} \int_0^x R(x) dx \quad (1.1)$$

En büyük tepki kuvveti,  $R_{max}$ , ise değişmeyen yüklerde tepe noktası ve sallanan yüklerde ise zirve noktasındaki değer olarak tanımlanabilir.

- iii. Yük değişim faktörü,  $\delta$ , ideal kare dalga formundaki yük karakteristiğinden olan sapma miktarının ölçüsü olup şu eşitlikle bulunabilir:

$$\delta = (R_{max} / R_0) - 1 \quad (1.2)$$

- iv. Toplam tutulan enerji,  $E$  (J), şöyle tanımlanır;

$$E = \int_0^x R(x) dx = R_0 x \quad (1.3)$$

$$E = E_d + E_s \quad (1.4)$$

Burada  $E_d$  ve  $E_s$  yutulan (tüketilen) ve depolanan enerji miktarlarıdır.

- v. Sindirme faktörü,  $\alpha$ , yutulan enerjinin toplam tutulan enerjiye oranıdır:

$$\alpha = E_d / E \quad (1.5)$$

- vi. Enerji yoğunluğu,  $E_v$  ( $J/m^3$ ), tutulan enerjinin ilk hacma oranıdır.

$$E_v = E / V \quad (1.6)$$

Öz enerji,  $E_m$  ( $J/m^3$ ), ise tutulan enerjinin birim kütleyle oranıdır;

$$E_m = E / M = (1 / r) E_v \quad (1.7)$$

- vii. Görünür gerilme,  $\sigma(x)$ , birim ilk kesit alanına düşen tepki kuvvetidir.

$$\sigma = R / A \quad (1.8)$$

Ortalama görünür gerilme ise aşağıdaki eşitlikle bulunabilir;

$$\sigma_0 = R_0 / A \quad (1.9)$$

- viii. Gerinim,  $\epsilon$ , ise şöyle hesaplanabilir.

$$\epsilon = x / L \quad (1.10)$$

Sehim verimi  $\epsilon_{max}$  ise

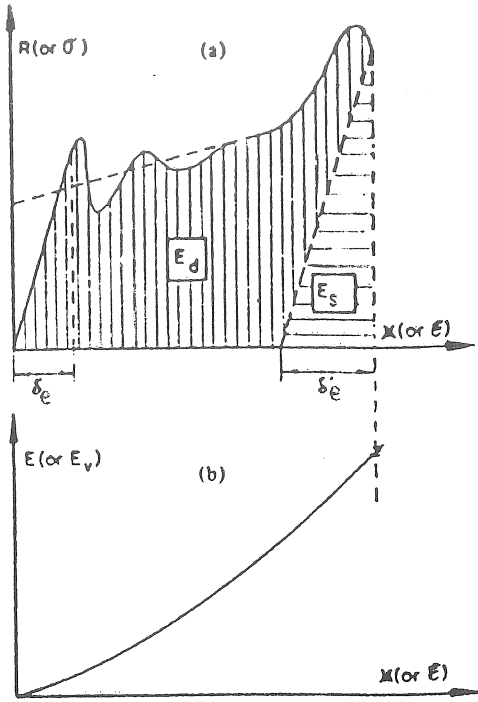
$$\epsilon_{max} = x_{max} / L \quad (1.11)$$

olarak tanımlanmaktadır. (1.9), (1.11) ve (1.12) nolu eşitlikler kullanılarak aşağıdaki formül çıkarılabilir;

$$\epsilon_0 = E_v / \epsilon \quad (1.12)$$

Yukarıda verilen tanımlar Şekil 2'de tipik bir enerji tutucu sistem için gösterilmiştir.

İyi bir enerji tutucu sistem yüksek öz enerji ve yüksek sindirme faktörü değerlerine sahip olmalıdır. Bu nedenle enerji tutucular yük sınırlayıcı araçlar olarak kabul edilebilirler. Yük sınırlamanın verimliliği ise enerji tutucunun tepki kuvvetinin, sisteme etki eden sürücü kuvvetin belli bir miktar üzerinde ayarlanmasıyla elde edilebilir.



Şekil 2. Enerji tutucunun karakteristik eğrileri; (a) Kuvvet/sapma veya gerilme / gerinim eğrisi, (b) Enerji / yerdeğiştirme veya enerji yoğunluğu / gerinim eğrisi.

## 1.2. Enerji Tutucu Sistemlerin Tipleri

Enerji tutucular iki esas gruba ayrılırlar; tahribatsız ve tahribatlı.

### 1.2.1. Tahribatsız Veya Tekrar Kullanılabilir Tutucular

Bu tür tutucularda sisteme verilen enerjinin çok büyük bir kısmı veya tamamı sürtünme ile ısıya veya kontrollü akış ile kaçan akışkan kinetik enerjisine dönüştürülür. Bunlar tahribatsız çevirimler olup tutucunun pekçok darbe olayında tekrar kullanımına imkan verir. Fakat bunların tasarımları oldukça güç olup her kullanımdan önce tekrar doldurulmak ve yerleştirilmek gibi özel bakım isterler. Aşağıdaki tipler bu guruba aittir.

- Sıkı sürtünme tipleri [6,7].
- Viskoz sürtünme tipleri, yağlar ve elastomerler gibi [8-10].
- Akışkan boşaltma tipleri, su ve gaz yatakları gibi [11,12].

### 1.2.2. Tahribatlı Veya Bir Kullanımlık Tipler

Bu grupta gelen enerjinin çok büyük bir kısmı veya tamamı sistemdeki kalıcı şekil değişikliğinin sonucu olarak ısı enerjisine dönüştürülür. Bu tipler sadece bir sefer kullanılabilirler. Fakat hafif darbeler için birkaç kullanım mümkün olabilmektedir. Farklı enerji dağıtma özelliklerine sahip pekçok tutucu tipleri bu grup altında incelenmektedir.

Bir kullanımlık tipler, yaklaşık olarak dikdörtgen bir eğrisi olan kuvvet-yer değiştirme karakteristiklerine sahiptirler. Bunun sonucu olarak yüksek öz enerji ve yüksek sindirme faktörü değerlerini taşıyan iyi yük-sınırlayıcıdır [13]. Hacımlarının tümü enerji tutabildiği için standart gazlı veya sıvılı enerji tutuculara kıyasla daha verimlidirler [14]. Birim hacma veya ağırlığa düşen tutulan enerji miktarları yüksek, tasarımları basit, maliyetleri ise düşüktür. Kullanımdaki güvenilirlikleri ise yüksektir.

Bu tür enerji tutucular teknik alanda pekçok uygulama sahası bulabilmektedir. En yaygın kullanım yerleri şöyle sıralanabilir:

- Savunma sanayinde: Örneğin silahların, zırhların, sığınakların yapımında.
- Taşıma araçlarının imalatında: Örneğin bir otomobil veya uçak kazasında tampon, emniyet kemeri gibi araçlarla yolcu ve yüklerin güvenliğinin sağlanması; uzay gemilerinin karaya ayak basma sistemlerinin oluşturulmasında.
- Mekanik araçların sistem arızalarından doğabilecek kazalardan korunmak için: Örneğin vinçlerde taşıyıcı elemanların serbest düşmesini engelleyebilecek emniyetli durdurma düzeni.
- Doğal afetlere karşı korunmak için: Örneğin depreme karşı dayanıklı yapıların oluşturulmasında.

## 2. BİR KULLANIMLIK TUTUCULARDA ENERJİNİN DAĞITIM YÖNTEMLERİ

Mümkün olan yöntemler şöyle sınıflandırılabilir:

## 2.1. Sünek Şekil Değişirme

Metallerin, odunun ve sıcakta kalıplanabilir malzemelerin kalıcı şekil değişiklikleri pekçok yöntemde kullanılır:

- Çekme Yöntemi:** Metal çubukların veya kabloların, halatların tek eksen üzerinde çekilmesi; basınçlı akışkanları içeren boru ve kapalı kaplardaki zar gerilmeleri; boru ağzlarının içe veya dışa çevrilmesi; mandrel ile boru çaplarının büyütülmesi.
- Basma Yöntemi:** Ağır metal veya plastik tamponların [23-26] veya gözlü yapıların (örneğin odun, plastik köpük, süngersi yapıya sahip metal) sıkıştırılması veya basılması.
- Eğme Yöntemi:** Kiriş veya plakaların çeşitli sınır koşulları altında eğilmesi; metal şeritin kalıplar arasından çekilerek eğilip-bükülmesi, tüplerin düzlenmesi.
- Bıçme Yöntemi:** Helozon teller ve burmalı mafsallar.
- Karışık Yöntem:** Bir veya çok silindri yapıların belvermesi.

### 2.1.1. Sünek Malzemenin Tek Eksende Çekilmesi

Sünek malzemeli bir borunun, telin veya şeritin tek eksende çekilerek kalıcı şekil değişikliğine uğratılması enerji tutucu sistemlerin en basit örneğidir. Birim ağırlıkta tutulabilecek en çok enerji miktarı, malzemenin mukavemet ve sünme değerlerine bağlıdır.

Basit çekme araçlarının belirli bir sehim sınırı vardır. Çubuklara veya tellere uygulanan ani hareketli çekişler plastik dalgalara sebep olur ve bu olayın durguna-yakın yaklaşımlarla incelenmesi yetersiz kalır. Bu durum özellikle yavaşlatılacak kütlelerin tutucu elemanın kütlelerine denk olduğu durumlar için geçerlidir. Eğer yavaşlatılacak kütle tutucu kütlelerine göre çok büyük ise, durguna-yakın yaklaşımlar yapılabilir [1].

### 2.1.2. Kabukların Kalıcı Şekil Değişiklikleri

Bu grupta esas olarak kalın etli silindirler (tüpler veya borular) bulunmakla birlikte değişik kesitli silindirler, konik veya

küresel kabuklar da incelenmektedir [41-44].

Tüplerin yapısal eleman olarak çok geniş uygulama alanlarına sahip olmalarına ek olarak enerji tutucu sistemlerde de kullanılabilmesi, kullanım alanlarını oldukça büyütülmektedir. Örneğin, uçak tasarımı gibi ağırlığın en aza indirilmesine ihtiyaç duyulan yerlerde tüpler kullanılmaktadır.

Başlıca tüp şekil değiştirme yöntemleri şöyle sınıflandırılabilir:

#### a. Tüplerin Düzlenmesi veya Yandan Basılması

Redwood [13] tarafından belirtildiği üzere De-Runtz ile Hodge ve Burton ile Craig tarafından yapılan basit sert-plastik analizlerine göre kuvvet-sehim ilişkisi şöyledir:

$$P_L = \frac{2\sigma_0 t^2 L}{D \left[ 1 - (\delta/D) \right]^{1/2}} \quad (2.1)$$

Burada L tüp uzunluğu, D tüp çapı, t et kalınlığı,  $P_L$  kuvvet,  $\sigma_0$  gerilme ve  $\delta$  sehimdir. Eğer Y, tek eksenli çekme için malzemenin akma sınırı ise

$$\sigma_0 = 2Y/\sqrt{3} \quad \text{tüp için}$$

$$\sigma_0 = Y \quad \text{halka için}$$

Bu eşitlik basmanın son safhaları yani ( $\delta/D > 0.5$ ) için kuvveti düşük olarak vermektedir.

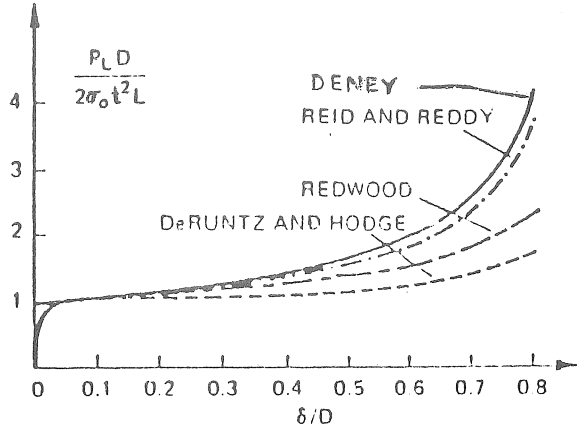
Reid ve Reddy ise yatay eksendeki mafsallardaki sünmeyle-sertleşme etkisini daha iyi tanımlayan bir teori geliştirmişlerdir. Bu teorilerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması Şekil 3'de verilmiştir.

#### b. Tüplerin Bölgesel Yüklenmeleri

Pekçok yayın, tüplerin bölgesel yüklenmelerini incelemiştir [45-48].

Otomobil tamponunun kaba modellemesi olan basitce desteklenmiş bir tüpün şekil değişikliğinin üç ana safhası Şekil

4'de gösterilmiştir. Tüpün iki destek arasında alınması ise eğilmeye karşı sınırlama getirmektedir.



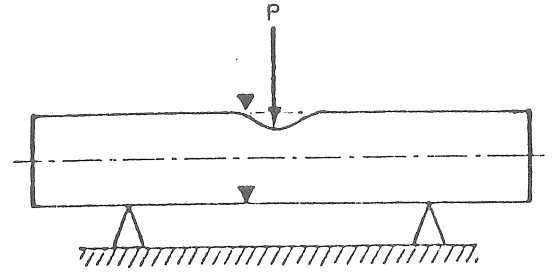
Şekil 3. Sert plakalar arasında yandan basılan bir tüpün deneysel ve teorik kuvvet-sehim eğrileri [13].

Karşılıklı olarak yerleştirilmiş düz kenarlı çentikleycilerle enlemesine yüklenen bir tüpün daha ayrıntılı incelenmesi, tüplerin aşağıda sıralanan ana karakteristiklerini açıkça ortaya koyar:

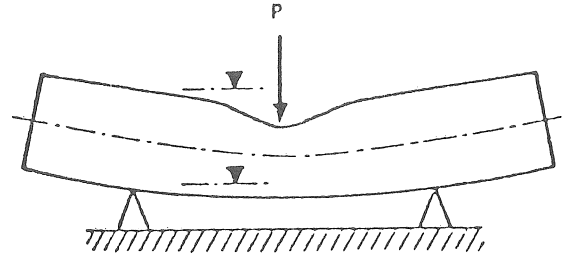
- i. Kalıcı (plastik) şekil değişikliği yüklenen bölgeden uzaklaştıkça üs kaidesine uygun olarak azalır ve azalma oranı tüp boyutlarının bir fonksiyonu olur. Bununla ilgili olarak eğilme ve çeperlerin aksel gerinmesi arasında bir karşılıklı etkileşim vardır.
- ii. Tüpün verilen bir kesit için şekil değiştirme yöntemi, tüpün uzunluğuna göre değişmektedir. Kısa tüpler halka gibi davranırlar ve belli bir yük sınırları vardır. Uzunluk arttıkça yükteki sınır belirsizleşirken, kuvvet-sehim eğrilerinin eğimi, plakaların büyük eğilmeler karşısındaki tepkilerine benzer şekilde, düzgün ve tedrici olarak değişir.

### c. Tüplerin Aksel Belvermesi

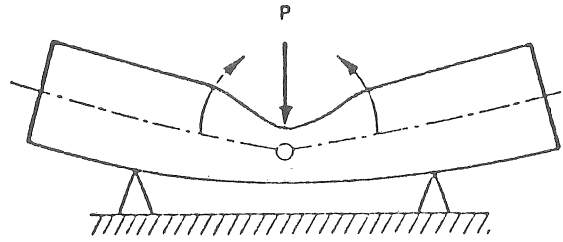
Malzemenin tümü enerji tutumunda kullanılabildiği için, aksel basma altındaki silindirik tüpler çok yüksek enerji tutma kapasitelerine sahiptirler [49-51].



(i) Buruşma safhası ( $P < P_b$ )



(ii) Buruşma ve eğilme safhası ( $P \geq P_b$ )



(iii) Yapının çökme safhası ( $P = P_{max}$ )

Şekil 4. Basitçe desteklenmiş ve merkezden yüklenen bir tüpün şekil değişikliğinin üç ana safhası [13].

Tüp çeperi, ya aksel simetriği olmayan körikler ya da karo kıvrımlı katlar olarak belverir. Thornton ve Magee'nin [13] belirttiklerine göre; belvermeyi ilerleten katlanma ve gerinimler, genel olarak geometrik dengesizliğe neden olmaz. Çünkü çökme olayının bütününde çökme yükü sabittir. Dolayısıyla sabit çalışma kuvveti sağlanırken; bu da enerji tutucuların ana özelliklerindedir.

Bunlara ek olarak bu araçlar birim kütleye düşen yüksek yerdeğiştirme olanağına sahiptir. Bölgesel şekil değişikliği

tek noktada olmadığı için, çekme yükü altında kullanılan sistemlerde olduğu gibi yer değiştirmeyi sınırlandıran sebepler oluşmaz.

Alexander'ın yaptığı sert-plastik analizine göre, eksenel simetrisi olan plastik belvermeyi şu eşitlik belirtmektedir [13]:

$$P_A = K_1 Y t \sqrt{D t} \quad (2.2)$$

Burada  $P_A$  ortalama çökme yükü,  $D$  tüp çapı,  $t$  tüpün et kalınlığı olup  $K_1$  yaklaşık olarak 6'ya eşittir.

Bu eşitlik tüplerin eksenel belvermesinde sıkça kullanılmakta olup yaklaşık olarak  $D/t < 30$  değerlerindeki birçok malzeme için güvenilir tahminler yapmaya olanak sağlar. Bu analiz ayrıca konik kabukların incelenmesi için de uyarlanmıştır.

Daha büyük  $D/t$  değerleri için karo kıvrımlı şekil değişikliği oluşur ve katların sayısı bu değere bağlı olarak artar.

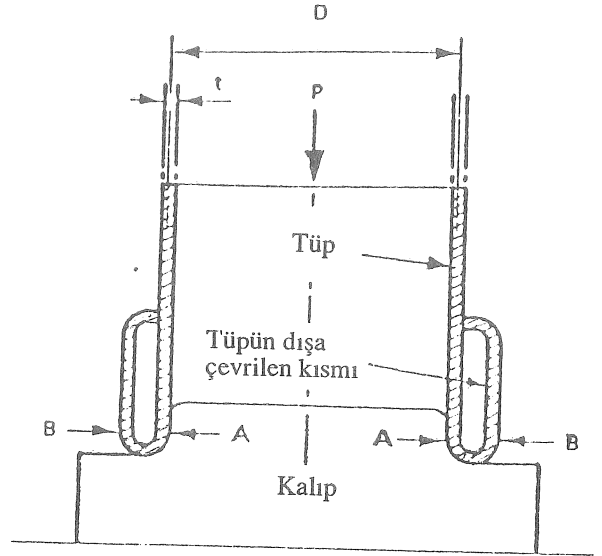
Farklı kesitli tüpler içinde sadece silindirik olanları statik ve dinamik basmalarda aynı tip şekil değişikliğini gösterirler. Bütün kesitlerdeki tüpler, eksenel düzensizlikleri olsa dahi, ani olarak yüklendiklerinde şekil değişiklikleri tüpün ucunda yoğunlaşmaktadır.

#### d. Tüp Çevirimi

Bu sistemlerde ince et kalınlıklı tüpler, belli bir yarıçap verilmiş kalıpların üzerine bastırılarak, içe veya dışa çevrilirler. Bu mekanizmada enerji tutumu kalıba yakın bölgelerde oluşan plastik bükülme ve gerilmelerle sağlanıp, etkili olabilmesi kalıpta tüpün bükülmesini sağlayan yarıçapın uygun bir şekilde seçilmesine bağlıdır. Şekil 5'te bir tüpün dışa çevrimi verilmiştir.

Bu yöntemin eksenel simetrik belverme ile benzerliği olup sert-plastik analizi için eşitlik 2.2'deki  $K_1$  katsayısı yaklaşık olarak 7.5'e eşittir.

Eğer kalıptaki köşelerin yarıçapları çok küçükse belverme görülür. Aksine yarıçaplar çok büyükse tüpte çatlaklar görülür ve enerji bu çatlakların ilerlemesi ve yarıkların oluşması esnasında tutulur.



Şekil 5. Bir tüpün dışa çevrimi. A ve B eksenel bükülme bölgeleridir [13].

#### e. Küresel Kabuklar

Şekil değişikliği şöyle olur: Öncelikle küre tepesinin elastiki (esnek) olarak düzleşmesi, sonra radyal gerilmelerin etkisiyle eksenel simetrikli elastik veya plastik (kalıcı) küçük çukurların oluşması ve yükün daha da artırılmasıyla plastik dilimlerin oluşması enerjinin tutulmasını sağlamaktadır.

#### 2.1.3. Kirişlerin Plastik Bükülmesi ve Basit Düzlemsel Yapılar

##### a. Plastik Mentеше Sistemleri

Bükme araçlarına örnek olarak incelenen yandan basılan tüpün ve eksenel belveren tüpün enerji tutma kapasiteleri (2.1) ve (2.2) numaralı eşitlikler kullanılarak karşılaştırılabilir [52]. Yan basmada  $0.7D$  ve eksenel basmada  $0.7L$  sehim değerlerine sahip olan tüpün enerji tutma kapasitelerinin oranı şöyle bulunur:

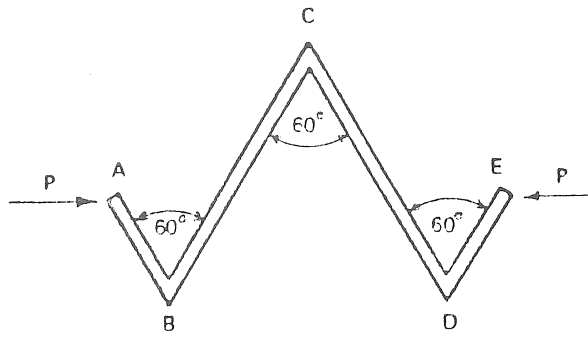
$$\frac{E_L}{E_A} = 0.39 \frac{\sqrt{t}}{D} \quad (2.3)$$

$t$  ve  $D$ 'nin birimi cm.'dir. Bu eşitlikte sünme-

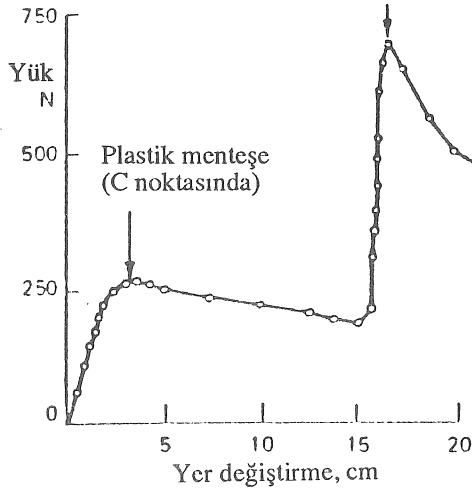
sertleşme ihmal edildiği için yan basmada tutulan enerji,  $E_L$ , düşük olarak tahmin edilir. Fakat yine de eğme-gerdirmenin büyüklüğü hakkında iyi bir fikir vermektedir.

Rawlings, plastik menteşelerin oluşabileceği dirsekleri içeren eğimli elemanların kullanılmasıyla pekçok kuvvet-sehim eğrisinin elde edilebileceğini göstermiştir. Bunun tipik bir örneği Şekil 6'da verilmiştir [36].

Fukuda ve Fuse, çok köşeli kesiti olan tüplerin (Şekil 7); Fukuda ve Ohmata, dalga şeklindeki eğilmiş borularla oluşturulmuş yapıların yan yük altındaki plastik şekil değişikliklerini incelemişlerdir (Şekil 8). Artık pekçok çalışma, düzlemsel yapıları kullanarak gerçek araçların tasarım ve imalatını hedef almıştır [53].



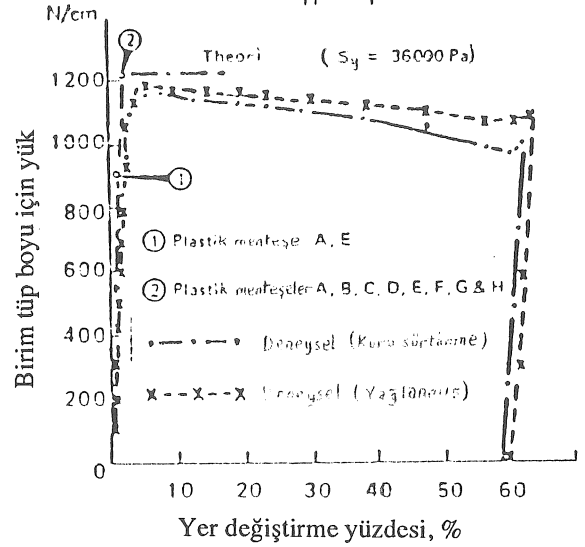
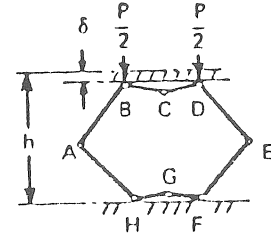
Plastik menteşe  
(B ve D noktasında)



Şekil 6. Basma altındaki W-yapı [13].

Miles ve McIvor ise ince çeperli elemanlardaki plastik menteşelerle büyük sehimlere sahip karışık sistemleri nasıl

bağdaştırabileceğimizi incelemişlerdir. Bunda eğme ve burulmanın etkilerini içeren menteşelerdeki, tecrübeyle bulunmuş eğme-sehim ilişkilerini kullanmışlardır.



Şekil 7. Sert plakalar arasında basılan altı-köşeli tüp [13].

## b. Çevrimsel Eğme Araçları

Bazı araçlar metal şeritlerin plastik olarak çevrimsel çekilmesi ve basılmasıyla enerjiyi tüketirler. Fakat en yaygın olan tipler, metal elemanların plastik durumda çevrimsel olarak eğilmesi ve düzeltilmesi prensibiyle çalışırlar. Bu tür bir aracın kesiti Şekil 9'da verilmiştir.

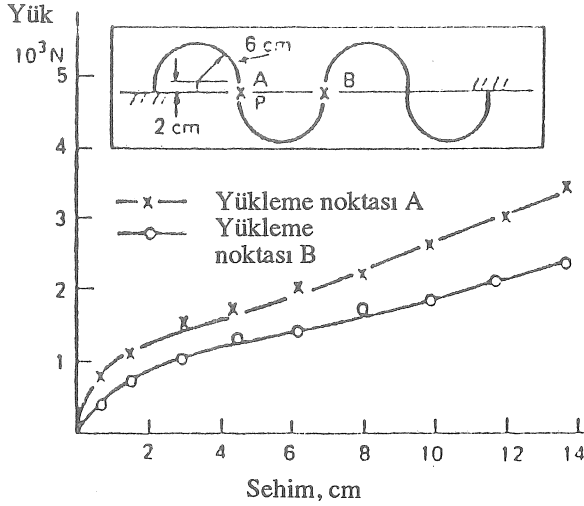
Alexander doğrusal enerji tutucuları analiz edip, pin veya makara üzerine bükülen bir şeritteki birim genişliğe düşen çekmedeki artış miktarını şöyle vermiştir [13]:

$$\Delta T = \frac{4Y}{\sqrt{3}} (t - 2a) \quad (2.4)$$

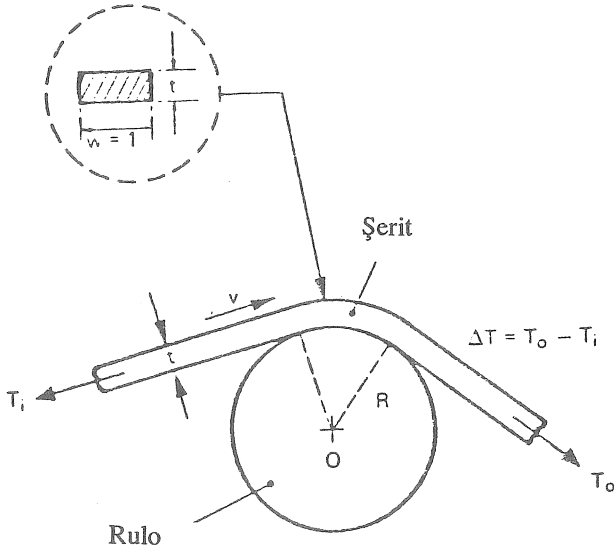
burada

$$a = R \left( \sqrt{1 + \left( \frac{t}{R} \right)^2} - 1 \right)$$

Makara yarıçapı R ve şerit kalınlığı t'dir. Geometrik ve malzeme parametrelerinin uygun seçimiyle çalıştırılma kuvveti kontrol edilebilir.



Şekil 8. Yanlamasına yüklenen boru-halka yapı [13].



Şekil 9. Şerit bükme aracı [13].

Birbiri içerisine geçebilen dönen halkalı

araçlar ise telleri bükme için kullanılırlar. Johnson basit sert-plastik analizi ile halka başına düşen çalıştırma kuvvetini ( $P_R$ ) şöyle tanımlamıştır [13]:

$$P_R = \frac{4}{3} (\pi r^2 Y) \quad (2.5)$$

r telin yarıçapıdır. Bu tip araçların tasarımında gözönünde bulundurulması gereken koşullardan birisi de, çevrimsel çalışmaları için araçların yorulma mukavemetlerinin de hesaba katılmasıdır.

### c. Metale Şekil Verme Yöntemleriyle Çalışan Araçlar

Bazı enerji tutucuların tasarımları metale şekil verme (örneğin; kütüklerin basımı, haddeleme, tüp genişletme) ve metal işleme (örneğin metal kesme [54,55]) yöntemlerini esas alır.

### 2.2. Kırılmalı Yöntemler

Kırılğan özellikliler de dahil olmak üzere çok çeşitli malzemeler için kullanılabilir. Metal tüplerin parçalanması, kırılğan peteksi yapıların, gözenekli veya hücreli yapı betonların ve ateşe dayanıklı malzemelerin kırılması bu gruba örnek olarak verilebilir.

### SONUÇ

Normal çalışma koşullarının dışında mekanik sistemlerin ani olarak durdurulması gerektiğinde sistemin zarar görmemesi açısından uygun enerji tutucuların kullanılmasına gerek duyulmaktadır. Bu enerji tutucular yüksek enerji miktarlarını tutabilmek ve ekonomik olarak tasarım ve üretimlerinin yapılabilmesi için genellikle bir seferlik kullanılacak şekilde yapılırlar. Tasarımları uygun yapılmış enerji tutucularında yutulan enerjinin tutulan enerjiye oranının mümkün olduğunca yüksek olması ve ana yapıya zarar vermeyecek en büyük yük değerinde istenilen enerjiyi tutabilecek sehim olması beklenir. Bu yazıda çeşitli mekanik enerji tutucular belirtilmekle birlikte sistemlerin özelliklerini gözönüne



alan ve temel ilkelerin aynı kaldığı başka çeşit mekanik enerji tutucuların tasarımı da olanaklıdır.

## MECHANICAL SHOCK ABSORBERS

In an impact, the interface loading is dependent on the deformation characteristics of both impacting and impacted bodies. If bodies are too rigid to accommodate the amount of gross deformation required to neutralize the incoming kinetic energy, or if such energy absorption has a chance to proceed in uncontrolled and unreliable ways, then there is a need to interpose a specifically designed energy absorber between the two bodies. So the required characteristics of such an energy absorber are the capability to accommodate large permanent deformation without structural failure and, the reliable and controlled load-deformation or stress-strain behavior under dynamic conditions. The subject of this study is to give a brief overview of impact deformation of mechanical shock absorbers, and to give a collection of related papers.

## KAYNAKÇA

1. Goldsmith, W., "Impact: The Theory and Physical Behaviour of Colliding Solids", Arnold, London, 1960.
2. Johnson, W., "Impact Strength of Materials", Arnold, London, 1972.
3. Wasley, R.J., "Stress Wave Propagation in Solids", Marcel Dekker, 1973.
4. Kornhauser, M., "Structural Effects of Impact", Spartan Books, 1964.
5. Hernalsteen, H. and Leblois, L.C., 1975, "The Use of Energy Absorbers to Protect Structures Against Impact Loading", Nuclear Engineering and Design, 1976, (37), pp. 373-406.
6. Araki, Y., Yuhki, Y., Yokomichi, I. and Jinnouchi, Y., 1983, "Impact Damper with Granular Materials", Bulletin of JSME, June 1985, Volume 28, No. 240, pp. 1211-1217.
7. Bapat, C.N. and Sankar, S., 1984, "Multiunit Impact Damper Re-Examined", Journal of Sound and Vibration, 1985, 103(4), pp. 457-469.
8. Hundal, M.S., 1976, "Impact Absorber with Two-Stage, Variable Area Orifice Hydraulic Damper", Journal of Sound and Vibration, 1977, 50(2), pp. 195-202.
9. Asami, T. and Sekiguchi, H., 1982, "Fundamental Investigation on an Oil Damper - 3rd Report Comparison of Analyses Based on Cylindrical Coordinates and Cartesian Coordinates", Bulletin of JSME, February 1984, Volume 27, No. 224, pp. 309-316.
10. Maemori, K., 1981, "Optimum Design of Hydraulic Shock Absorbers", Bulletin of JSME, 1983, Volume 26, No. 225, pp. 309-316.
11. Yeaple, F., 1982, "Fluid Shock Absorber Equations", Design Engineering, March 1982, pp. 77-82.
12. Rich, B.L., "Cylinders: Softening The Blow", Machine Design, May 1978, pp. 66-69.
13. Johnson, W. and Reid, S.R., 1978, "Metallic Energy Dissipating Systems", Applied Mechanics Reviews, March 1978, Volume 31, No. 3, pp. 277-288.
14. Coppa, A.P., 1968, "New Ways to Soften Shock", Machine Design, March 28, 1968, pp. 130-140.
15. Wang, Y.Z. and Wang, K.S., 1985, "Optimal Design of Impact Absorber for Machine-Floor System Under Impact Loads", Applied Acoustics, 1986, pp. 183-202.
16. Kukkola, T., 1975, "Energy Absorbers Used Against Impact Loading", Nuclear Engineering and Design, 1976, pp. 407-412.
17. Kounadis, A.N., Raftoyiannis, J. and Mallis, J., 1988, "Dynamic Buckling of an Arch Model Under Impact Loading", Journal of Sound and Vibration, 1989, 134(2), pp. 193-202.
18. Raphanel, J.L. and Symonds, P.S., "The Estimation of Large Deflections of a Portal Frame Under Asymmetric Pulse Loading", Journal of Applied Mechanics, September 1984, Volume 51, pp. 494-500.
19. Stangl, P.K. and Meguid, S.A., 1990, "Experimental and Theoretical

- Evaluation of a Novel Shock Absorber for an Electrically Powered Vehicle", Int. J. Impact Engng, 1991, Volume 11, No. 1, pp. 41-59.
20. Stangl, P.K. and Meguid, S.A., "Effect of Fillet Radii Upon the Performance of a Novel Shock Absorber for an Electrically Powered Vehicle", Int. J. Vehicle Design, 1991, Volume 12, No. 2, pp. 240-249.
  21. Krishnaswamy, P. and Mani, A., "Crash Codes Pave the Way to Safer Vehicles", Mechanical Engineering, April 1991, pp. 60-62.
  22. Shibanuma, K., Tanaka, H. and Nishiwaki, N., 1985, "Occupant's Safety by use of Variable Energy Absorbing Bumpers", Society of Automotive Eng., SAE Transactions 850511, 1986, pp. 788-797.
  23. Scammell, L.K., 1987, "Comparison of Strain Rates of Dart Impacted Plaques and Pendulum Impacted Bumpers", Society of Automotive Eng., SAE Transactions 870106, 1987, pp. 393-399.
  24. Rusch, K.C., "An Overview of Automotive Plastic Bumpers", SAE Transactions 900420, VI, 1990, pp. 436-444.
  25. Borchelt, J.E., Shapiro, J. and Subbaraman, B., "Application of Empirical Relationship Developed for Ultra-High Strength Steels in Bumper Design", SAE Transactions 900737, 1990, pp. 784-788.
  26. Mizunaga, S., Saeki, N. and Watanabe, H., "Development of Blow-Molded Bumper Beam", SAE Transactions 900834, 1990, pp. 886-892.
  27. Griffin, P.D. and Martin, J.B., 1982, "Geometrically nonlinear Mode Approximations for Impulsively Loaded Homogeneous Viscous Beams and Frames", Int. J. Mech. Sci., 1983, Volume 25, No. 1, pp. 15-26.
  28. Martin, J.B. and Lee, L.S.S., "Approximate Solutions for Impulsively Loaded Elastic-Plastic Beams", Journal of Applied Mechanics, Dec. 1968, pp. 803-809.
  29. Borchelt, J.E., and Subbaraman, B., "Design of Ultra-High Strength Sheet Steel Beams", SAE Transactions 900428, VI, 1990, pp. 445-451.
  30. Maiti, S.K., Gibson, L.J. and Ashby, M.F., "Deformation and Energy Absorption Diagrams for Cellular Solids", Acta. Metall, 1984, Volume 32, No. 11, pp. 1963-1975.
  31. Kirk, J.A., "Mechanical Energy Absorbers and Aluminum Honeycomb", Journal of Mechanical Design, July 1982, Volume 104, pp. 671-674.
  32. Shaw, M.C. and Sata, M.C., "The Plastic Behavior of Cellular Materials", Int. Journal of Mechanical Sciences, July 1966, Volume 8, pp. 469-478.
  33. Stronge, W.J. and Shim, V.P.-W., 1988, "Microdynamics of Crushing in Cellular Solids", Journal of Engineering Materials and Technology, April 1988, Volume 110, pp. 185-190.
  34. McIvor, I.K., Wineman, A.S. and Wang, H.C., 1976, "Plastic Collapse of General Frames", Int. Journal of Solid Structures, 1977, Volume 13, pp. 197-210.
  35. Youngdahl, C.K., 1973, "Dynamic Plastic Deformation of Hexagonal Frames", Int. Journal of Solid Structures, 1974, Volume 10, pp. 709-734.
  36. Rawlings, B., "Impact Test on Model Steel Frames", Proc. Inst. Civ. Eng., 1964, pp. 389-414.
  37. Youngdahl, C.K., 1984, "Plastic Deformation of a Polygon", Int. Journal of Solid Structures, 1985, Volume 21, pp. 295-306.
  38. Mosquera, J.M., Kolsky, H. and Symonds, P.S., "Impact Test on Frames and Elastic-Plastic Solutions", Journal of Eng. Mechanics, 1985, Volume 111, pp. 1380-1401.
  39. Kam, T.Y. and Lin, S.C., 1987, "Nonlinear Dynamic Analysis of Inelastic Steel Plane Frames", Computers and Structures, 1988, Volume 28, No. 4, pp. 535-542.
  40. Kam, T.Y. and Lin, S.C., 1985, "Nonlinear Analysis of Steel Plane Frames with Initial Imperfections", Computers and Structures, 1986,

- Volume 23, No. 4, pp. 553-557.
41. Goodier, J.N. and McIvor, I.K., "The Elastic Cylindrical Shell Under Nearly Uniform Radial Impulse", Journal of Applied Mechanics, June 1964, pp. 259-266.
  42. Ginsberg, J.H., "Dynamic Stability of Transverse Axisymmetric Waves in Circular Cylindrical Shells", Journal of Applied Mechanics, March 1974, pp. 77-82.
  43. Ginsberg, J.H., "Large Amplitude Forced Vibrations of Simply Supported Thin Cylindrical Shells", Journal of Applied Mechanics, June 1973, pp. 471-477.
  44. Bleich, H.H. and Baron, M.L., "Free and Forced Vibrations of an Infinitely Long Cylindrical Shell in an Infinite Acoustic Medium", Journal of Applied Mechanics, June 1954, pp. 167-177.
  45. Singh, M.C. and Frydrychowicz, W., "Wave Propagation in Non-Homogeneous Thin Elastic Rods Subjected to Time Dependent Stress Impact", Journal of Sound and Vibration, 1981, 79(3), pp. 341-350.
  46. Shim, V.P.-W. and Stronge, W.J., 1986, "Lateral Crushing in Tightly Packed Arrays of Thin-Walled Metal Tubes", Journal of Mech. Sci., 1986, Volume 28, No. 10, pp. 709-728.
  47. Shim, V.P.-W. and Stronge, W.J., 1986, "Crushing of Thin-Walled Tubes Between Cylindrical Indenters", Journal of Mech. Sci., 1986, Volume 28, No. 10, pp. 683-707.
  48. Fatt, M.S.H. and Wierzbicki, T., "Damage of Plastic Cylinders Under Localized Pressure Loading", Int. J. of Mech. Sci., 1986, Volume 33, No.12, pp. 999-1016.
  49. McNay, G.H., 1988, "Numerical Modelling of Tube Crush with Experimental Comparison", Society of Automotive Eng., SAE Transactions 880898, 1989, pp. 937-948.
  50. Weirzbicki, T. and Abramowicz, W., 1988, "Development and Implementation of Special Elements for Crash Analysis", Society of Automotive Eng., SAE Transactions 880895, 1989, pp. 918-924.
  51. Lindberg, H.E., "Impact Buckling of a Thin Bar", Journal of Applied Mechanics, June 1965, pp. 315-322.
  52. Miles, J.C., "The Determination of Collapse Load and Energy Absorbing Properties of Thin Walled Beam Structures Using Matrix Methods of Analysis", Int. J. of Mech. Sci., 1976, Volume 18, pp. 399-405.
  53. Mamalis, A.G. and Reid, S.R., 1978, "A Note on Fracture and Deformation in Cubical Box Structures due to Impulsive Loading", Int. J. of Mech. Sci., 1979, Volume 21, pp. 53-61.
  54. Gillies, D.J., "New Rating Tool For Shock Absorbers", Machine Design, September 11, 1980, pp. 94-97.
  55. Kirk, J.A. and Gay, J.W., "'Metal-Cutting' Energy Absorbers", Machine Design, March 10, 1977, pp. 84-85.