

Ucuz Araba Lastiği Yastığı (ALY) Kullanarak Sismik İzolasyon

B. Özden, A. Türer

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Ankara, 06531, Türkiye*

ÖZET: Bu makale, ODTÜ laboratuvarlarında otomobil lastiği kullanarak daha ucuz sismik izolatör üretmek amacıyla yapılan analitik ve deneysel çalışmaları içermektedir. Sismik yalıtım, üzerinde birçok çalışmanın yapıldığı, uluslararası literatürde geçerlilik kazanmış, depreme karşı korunma yöntemlerinden biridir. Bu konu üzerinde yapılmakta olan çalışmaların çoğu sismik yalıtım sistemlerinin performans artırımı üzerinde odaklanmıştır. Bu çalışma, aynı zamanda maliyet ve ağırlık azaltılması gibi kriterleri de göz önüne almayı amaçlamaktadır. Otomobil lastikleri 1950'lerden beri içindeki çelik hasırın lastikle birbirine çeşitli şekillerde pişirilmesi (volkanizasyon) yoluyla üretilmektedir. Lastiklerin içindeki çelik hasır, elastomer-menşeli sismik yalıtıcılardaki çelik plaka veya fiberlere benzer bir etkiye yaratmaktadır. Birbirinin üzerine gerekli sayıda atık lastik katmanının yerleştirilmesiyle üretilen Atık Lastik Yastıkları [ALY], geleneksel elastomer-menşeli sismik zemin yalıtıcılarına düşük maliyetli bir alternatif olarak kullanılabilir. ALY'lerin kullanım alanları düşük yoğunluklu trafik akımı taşıyacak kırsal alandaki köprü mesnetlerinin ve yığma yapıların sismik yalıtımı olarak öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Deprem, sismik yalıtım, taban izolasyonu, elastomer yastıklar, oto lastiği

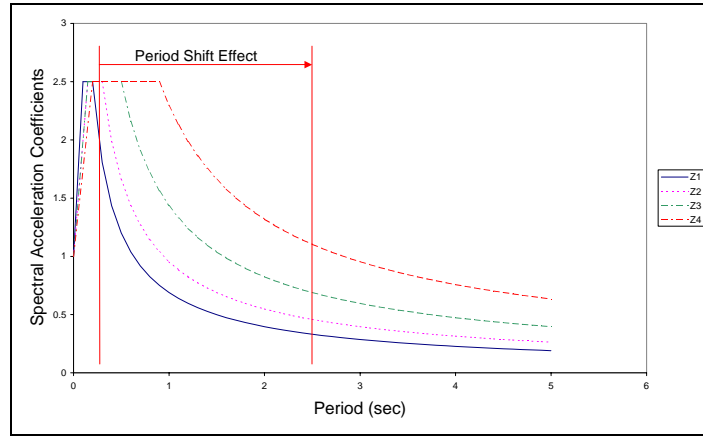
ABSTRACT: This paper is concentrates on a new and cheaper way of seismic base isolation using scrap automobile tires. Seismic base isolation is a well-defined earthquake protection method, on which numerous studies are being conducted. These excellent experimental and analytical studies are mostly based on developing performance of base isolation system. In addition to performance, this study targets cost and weight reduction in seismic base isolation procedure using scrap tires. Seismic base isolation systems can be grouped in two general segments called elastomer-based systems and sliding-based systems. Steel or fiber reinforcement vulcanized with rubber provides high vertical stiffness of laminated elastomer bearings, whereas incompressible rubber layers between these reinforcement provides low horizontal stiffness of the bearing. Reinforcement layers decrease bulging of rubber layers and increase the vertical load capacity of bearing. Since 1950's, automobile tires have been produced by means of vulcanizing steel mesh with rubber in different forms. Steel reinforcement has similar effect with steel plates or fiber inside steel or fiber reinforced isolators. Scrap tire layers may be used as seismic base isolators or elastomeric pads

when cut into pieces and placed on top of each other in order to produce scrap tire pads, STP.

Keywords: Earthquake, Seismic base isolation, Elastomer bearings, Car tire

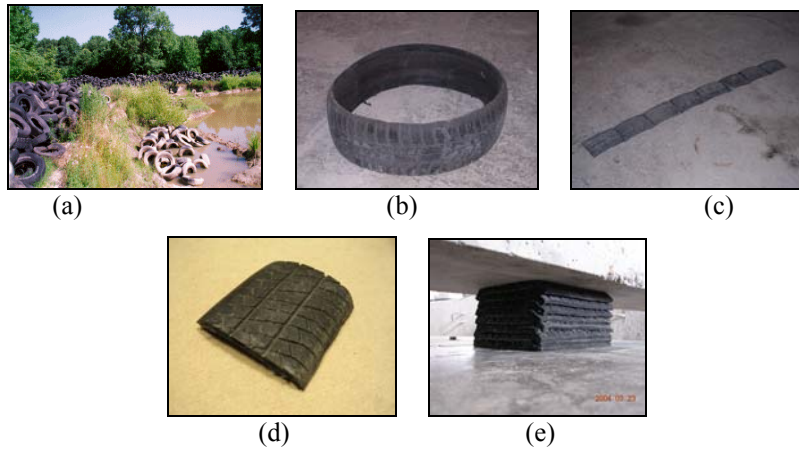
Giriş

Sismik yalıtım, Şekil 1’de gösterildiği gibi, yapının birinci doğal titreşim periyodunu kaydırarak yapıya etkiyen yatay deprem kuvvetlerini engelleyen, yapının altında tasarlanmış, düşeyde rijit yatayda esnek bir sistemdir. Sismik taban izolasyonu ile yapının katlar arası bağıl yer değiştirmeleri son derece azalır ve izolasyon sistemi üzerindeki yapı deprem hareketleri sırasında bir bütün olarak davranır.



Şekil 1. Sismik yalıtım ile yapıya etkiyen ivmelerin azalması

Sismik yalıtım sistemleri iki ana grupta incelenebilir; elastomer-menşeli ve sürtünme-menşeli sistemler. Düşük sönümlü, yüksek sönümlü, kurşun çekirdekli ve fiber donatılı çeşitleri bulunan elastomer yalıtıcılar, en yaygın olarak kullanılan izolatör çeşididir. Bu tür yalıtıcılarda, yüksek düşey rijitlik yalıtıcı içerisindeki çelik ya da fiber katmanlarla sağlanırken, düşük yatay rijitlik ise kauçuk tabakalar ile sağlanır. Bu çalışma elastomer yalıtıcılar konusuna odaklandığı için sürtünme menşeli yalıtıcılar makalenin kapsamı dışında tutulmuştur.



Şekil 2. ALY’lerin hazırlanması

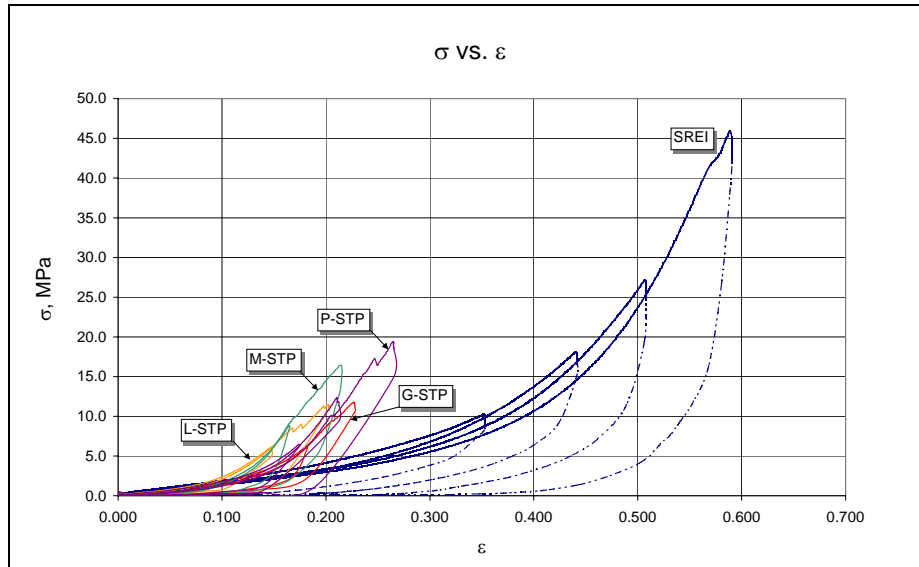
Otomobil lastikleri çelik hasırların yüksek sıcaklık ve basınç altında kauçuk ile vulkanize edilmesi yoluyla üretilmektedir. Bu çalışma atık oto lastiklerinin sismik yalıtım amacıyla kullanılmasını araştırmayı hedeflemektedir. Oto lastiklerinden elde edilen lastik katmanlarının içerisindeki çelik hasırın elastomer yalıtıcıların içerisindeki çelik plakalara benzer bir görev üstlenebileceği beklenmektedir. Bu açıdan bakıldığında, lastik katmanları üst üste konularak elde edilecek Atık Lastik Yastıkları (ALY) sismik yalıtıcı olarak kullanılabilirler.

ALY'lerin nasıl hazırlandığı Şekil 2'de gösterilmiştir. Atık araba lastikleri çevre ve sağlık açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadırlar. Atık lastikler toplanma alanlarından alındıktan sonra yanakları kesilerek çıkarılırlar ve lastik çemberi elde edilir. Lastik çemberi enlemesine kesilerek lastik şeridi elde edilir. Şerit belirli uzunlukta kesilerek (örneğin 20cm'lik parçalar halinde) lastik katmanları oluşturulur. Lastik katmanları üst üste konularak atık lastik yastıkları (ALY) elde edilir.

Bu çalışmada farklı lastik markalarından elde edilen ALY'ler üzerinde aksel basınç, statik kesme ve dinamik (darbe) deneyler gerçekleştirilerek ALY'lerin mekanik ve dinamik özellikleri elde edilmiştir. Bununla beraber, elimizde bulunan bir elastomer köprü yastığı (SREI) da aynı testlerde denenmiş ve sonuçlar ALY sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Basınç Deneyi

Bu deneyde, dört farklı oto lastiği markası kullanılarak hazırlanan ALY'lerin basınç kuvvetleri altındaki davranışları incelenmiştir. ALY'lerin elde edildikleri oto lastiği markaları sırasıyla G, M, P ve L harfleri ile gösterilmiş ancak marka isimleri belirtilmemiştir. Aynı deneyde 150mm x 150mm x 40mm ebatlarındaki tek çelik plakalı doğal kauçuktan üretilmiş köprü yastığı da test edilmiş ve sonuçlar Şekil 3 ve Tablo 1'de karşılaştırılmıştır. ALY denekleri, dört katmanlı olarak test edilmişlerdir. Bununla beraber, katman sayısının düşey davranışa etkisini görmek amacı ile G-ALY 6 katmanlı olarak da denenmiştir.



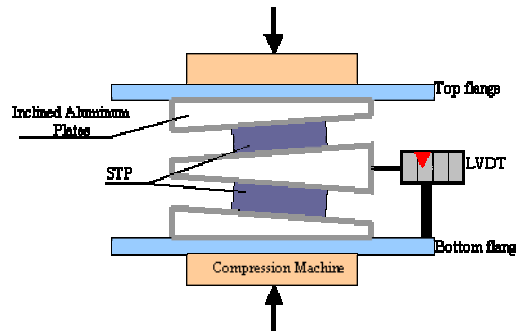
Şekil 3. Basınç deneyi sonuçları

Tablo 1: Basınç Deneyi sonuçları

Denek Çeşitleri	Boyutlar (mm)	Katman Sayısı	Dayanım (MPa)	Basınç Modülü (MPa, $\epsilon=0.10$)	Basınç Modülü (MPa, $\epsilon=0.15$)
SREI	150 x 150 x 40	1	42.2	25	25
G-ALY	200 x 180 x 46	4	8.7	33	95
G-ALY	200 x 180 x 69	6	8.8	34	94
M-ALY	200 x 190 x 46	4	9.7	50	181
P-ALY	200 x 175 x 40	4	10.1	30	74
L-ALY	200 x 180 x 50	4	8.5	55	124

Statik Kesme Deneyi

Bu deneyin amacı yüksek yatay yer değiştirmeler altında ALY'lerin davranışını incelemek ve sonuçları elastomer yastığımızın sonuçlarıyla karşılaştırmaktır. Deney düzeneği olarak Topkaya ve Yura'nın tavsiye ettikleri Eğik Plakalı Basınç Deneyi kullanılmıştır [6, 7]. Basınç deneyinde kullanılan numuneler, basınç deneyinde test edilmeden önce bu deneyde kullanılmışlardır. Altı katmanlı G-ALY ise deney düzeneğindeki fiziksel kısıtlamalar nedeniyle kapsam dışında tutulmuştur.



Şekil 4. Statik kesme deneyi düzeneği

Tablo 2: Statik kesme deneyi sonuçları

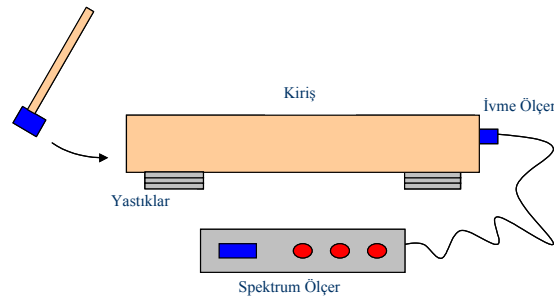
Denek Çeşitleri	Boyutlar (mm)	Yön	Yükseklik (mm)	Kesme Modülü	Yatay Rijitlik
SREI	150x150x40	-	40	0.4 MPa	225 kN/m
G-ALY	200x180x46	Uzun yön	46	1.85 MPa	1448 kN/m
G-ALY	200x180x46	Kısa yön	46	1.49 MPa	1166 kN/m
M-ALY	200x190x46	Uzun yön	46	1.83 MPa	1512 kN/m
M-ALY	200x190x46	Kısa yön	46	1.78 MPa	1470 kN/m
P-ALY	200x175x40	Uzun yön	40	1.41 MPa	1234 kN/m
P-ALY	200x175x40	Kısa yön	40	1.42 MPa	1243 kN/m
L-ALY	200x180x50	Uzun yön	50	1.00 MPa	720 kN/m
L-ALY	200x180x50	Kısa yön	50	0.95 MPa	684 kN/m

Statik kesme deneyi düzeneği Şekil 4’de gösterildiği gibi bir adet basınç makinesinden ve üç adet 10% yüzey eğimine sahip yüksek dayanımlı alüminyum plakalardan oluşmaktadır.

Düşey yükün deney elemanlarına uygulanmasıyla ortadaki plakada gözlenen yatay yer değiştirmeler LVDT kullanılarak ölçülmüştür. Uygulanan düşey yük, bir adet yük ölçer vasıtasıyla ölçülmüş ve deneklere uygulanan yatay bileşeni plaka eğimi kullanılarak hesaplanmıştır [6]. Sonuçlar Tablo 2’de sunulmaktadır.

Dinamik Deney 1: Tek serbestlik dereceli salınım deneyi

Bu deneyde araba lastiklerinden elde edilen ALY’ler ve elimizdeki elastomer köprü yastığının sönüm oranları elde edilmeye çalışılmıştır. ALY örnekleri, rasgele seçilmiş kullanılmış oto lastiğinden 200mm x 180mm olarak hazırlanmıştır. Tek serbestlik dereceli sistemimizin kütlesi olarak bir adet 30cm x 40cm ebadında 4m boyunda 1100 kg-f ağırlığında betonarme kiriş kullanılmıştır. Bir adet piezo-elektrik ivmeölçer ve HP3582A Spektrum Ölçer, kirişin serbest salınımlarının FFT değerlerini elde etmek için kullanılmıştır (Şekil 8). Betonarme kiriş darbe çekici kullanılarak hareketlendirilmiştir.

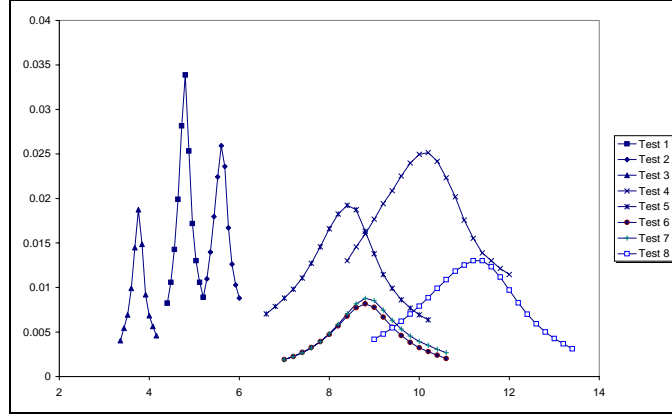


Şekil 5. Dinamik Deney 1 düzeneği

ALY’ler kiriş altında hem uzun yönde hem de kısa yönde test edilmişlerdir. Tek serbestlik dereceli sistemin toplam kütlesi deneyin bazı safhalarında aynı boyutlarda başka bir kiriş daha üst üste kullanılarak iki kat artırılmıştır. Elastomer yastık testleri hem iki hem de üç adet yastık kombinasyonu için gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Tablo 3 ve Şekil 6’da sunulmaktadır.

Tablo 3: Dinamik Deney 1 sonuçları

Testler	ALY adedi	Kiriş Adedi	Kütle (ton)	Frekans (Hz)	Sönüm oranı, ζ (%)	
Test 1- SREI	2	1	1.1	4.80	2.2	Düşük sönümlü elastomer yastık
Test 2- SREI	3	1	1.1	5.60	2.7	
Test 3- SREI	3	2	2.2	3.68	2.7	
Test 4- ALY	2	1	1.1	10.10	9.6	Yüksek sönümlü ALY
Test 5- ALY	2	2	2.2	8.45	7.9	
Test 6- ALY	2	2	2.2	8.80	6.5	
Test 7- ALY	2	2	2.2	8.70	6.8	
Test 8- ALY	2	1	1.1	11.30	8.4	



Şekil 6. Dinamik Deney 1 sonuçları

Dinamik Deney 2: Tek serbestlik dereceli salınım deneyi

Bu deneyin amacı, daha önce statik kesme deneylerinde denenmiş ALY'lerin sönüm oranlarını ve küçük deformasyonlardaki yatay rijitlik değerlerini elde etmektir. Bir önceki deneyde kullanılan deney düzeneği bu deneyde de kullanılmıştır. ALY'ler 4 katmanlı olarak denenmiştir. Bununla birlikte G-ALY'ler 6 ve 8 katmanlı olarak da test edilmişlerdir. Testler her ALY örneği için uzun ve kısa her iki yönde de tekrarlanmıştır.

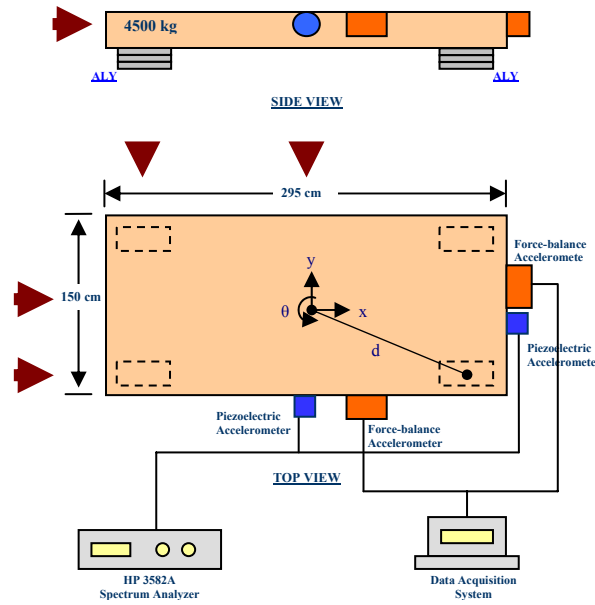
Tablo 3: Dinamik Deney 2 sonuçları

ALY	Boyutlar (mm)	Katman Sayısı	Yön	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı, ζ (%)	K, kN/m
G-ALY	180 x 200 x 46	4	Kısa yön	7.7	10.4	1287
G-ALY	180 x 200 x 46	4	Uzun yön	8.6	11.7	1606
M-ALY	190 x 200 x 46	4	Kısa yön	14.1	12.4	4317
M-ALY	190 x 200 x 46	4	Uzun yön	12.6	14.2	3447
P-ALY	175 x 200 x 40	4	Kısa yön	10.6	9.3	2440
P-ALY	175 x 200 x 40	4	Uzun yön	11.4	9.0	2822
L-ALY	180 x 200 x 50	4	Kısa yön	10.2	8.2	2259
L-ALY	180 x 200 x 50	4	Uzun yön	10.8	7.5	2533
G-ALY	180 x 200 x 69	6	Kısa yön	6.7	10.6	975
G-ALY	180 x 200 x 69	6	Uzun yön	7.4	7.7	1189
G-ALY	180 x 200 x 92	8	Kısa yön	5.75	12.0	718
G-ALY	180 x 200 x 92	8	Uzun yön	5.75	7.7	718

Dinamik Deney 3: Çok serbestlik dereceli salınım deneyi

Bu deneyin amacı, G-ALY'lerin yatay rijitlik değerlerinin lastik katman sayısına bağlı değişimini elde etmektir. Bu dinamik deneyde, daha önceki deneylerden farklı olarak betonarme kiriş yerine, 4500kg'lık betonarme döşeme kullanılmıştır.

G-ALY örnekleri döşemenin dört köşesine konulmuş, döşeme her iki ana yönde darbe çekici yardımıyla hareketlendirilmiş ve serbest salınım ivmeleri kaydedilmiştir. Bununla birlikte, döner şekilde hareketlendirilen döşemenin ivme kayıtları işlenerek G-ALY'lerin açısız yatay rijitlik değerleri elde edilebilmiştir. Deneyde G-ALY'ler 4'ten 12 katmana kadar uzun, kısa ve açısız yönlerde test edilmişlerdir.



Şekil 7. Dinamik Deney 3 düzeneği

Tablo 3: Dinamik Deney 3 sonuçları

Katman Sayısı	Yükseklik (mm)	Frekans (Hz)			Rijitlik (kN/m)			Sönüm (%)	
		Uzun yön	Kısa yön	Dönel	Uzun yön	Kısa yön	Açısal	Uzun yön	Kısa yön
4	46	5.84	5.52	8.80	1515	1353	1493	6.4	7.1
5	57.5	5.44	5.04	8.36	1314	1128	1347	6.9	7.3
6	69	5.12	4.64	7.52	1164	956	1090	6.5	7.2
7	80.5	4.72	4.32	6.88	989	829	913	6.3	7.4
8	92	4.32	3.84	6.04	829	655	703	6.6	7.2
9	103.5	4.24	3.68	6.00	798	601	694	6.2	6.9
10	115	3.76	3.12	4.96	628	432	474	6.5	7.9
11	126.5	4.00	3.76	5.92	711	628	676	6.3	7.2
12	138	3.44	2.80	4.56	526	348	401	6.2	N.A.

Sonuçlar

Bu makalede, kullanılmış oto lastiklerinden elde edilen ALY'ler test edilmiştir. Farklı markalarda, sayılarda ve yönlerde ALY örneklerinin mekanik ve dinamik özellikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aynı deneylerde test edilen elastomer köprü yastığı sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Basınç deneyleri, ALY deneklerinin basınç dayanımlarının 8 MPa civarında olduğunu göstermiştir. Tasarım amacıyla emniyet basınç gerilmesi olarak 4 MPa basınç gerilme değeri yazarlar tarafından önerilmektedir. Bununla birlikte ALY'lerin basınç modülleri, basınç gerilmesi ve birim yer değiştirme değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Basınç modülleri $\varepsilon = 0.10$ ve $\varepsilon = 0.15$ birim yer değiştirmelerde hesaplanmış ve tablolarda tasarım amacıyla sunulmuştur.

Statik kesme deneyleri, ALY'lerin kesme modüllerinin 0.95 MPa ila 1.85 MPa arasında değiştiğini göstermektedir. Bu yüksek değerler, ALY'lerin ancak masif, yüksek ağırlığa sahip yapılarda kullanılabileceğini göstermektedir. Buna göre, ALY'ler geleneksel Türk yığma yapılarının izole edilmesinde ucuz alternatif seçeneği olarak düşünülebilir. Ne var ki, ALY'lerin bina altına yerleştirilmesi ancak yeni evler için öngörülmekte ve derin kiriş-döşeme gerektireceği için uygulama aşamasında potansiyel problemler oluşturmaktadır.

ALY'lerin sönüm oranları markaya ve değişiklik göstermekte ve ortalama 10% civarındadır. Ancak, tasarım amacıyla sönüm oranı en düşük değer olan ve ortalama değere yakın olan 7% alınması uygun olur. Deneylerde kullanılan doğal kauçuktan imal edilmiş 150mm x 150mm x 40mm ebadındaki elastomer köprü yastığının sönüm oranı 2% civarında gözlemlenmiştir.

Statik kesme deneylerinde, ALY'lerin arasında herhangi bir kimyasal yapıştırıcı bulunmamasına rağmen, 40% ve 70% birim yer değiştirmelerden geri gelebilmesi önemli ve olumlu bir özelliktir. Buna göre, yeterli aksenal yük altında, ALY'ler arasındaki sürtünme kuvveti, lastik katmanlarını bir arada tutmak için yeterli olmakta ve ALY katmanları bir bütün olarak davranabilmektedirler.

Dikdörtgen ALY deneklerinin yatay rijitlik değerleri yönlerine bağlı olarak değişmektedir. 180mm x 200mm ebadındaki G-ALY'lerde yapılan dinamik deneylerde yönler arasındaki rijitlik farkının 80% ila 90% arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte aynı deneylerde yatay rijitlik değerinin ALY katman sayısı ile doğrusal olarak değiştiği de gözlemlenmiştir. Buna göre, ALY'lerin tasarımı sırasında, istenilen yatay rijitlik değeri ALY'lerin katman sayılarını değiştirerek kolayca elde edilebilir.

Sonuç olarak, yapılan deneyler ve çalışmalar ışığında yazarlar ALY'lerin kırsal yağma yapılarının sismik yalıtımında ve kırsal köprülerin mesnetlerinde elastomer izolatörlere ucuz ve hafif alternatif olarak kullanılabileceğini düşünmektedirler.

Referanslar

- [1] Naeim F, Kelly JM. Design of seismic isolated structures. John Wiley & Sons, 1999.
- [2] Kulkarni JA, Jangid RS. Rigid body response of base-isolated structures. Journal of Structural Control 2002; 9: 171-188
- [3] Kelly Trevor E. Base isolation of structures. Holmes Consulting Group Ltd., July 2001
- [4] Kucherskii A.M, Kaporovskii B.M. A promising method for measuring hardness of rubbers. Polymer Testing 16 (1997) 481-490 © 1997 Elsevier Science Ltd.
- [5] Chopra AK. Dynamics of Structures. 2001
- [6] Topkaya C, Yura JA. Test method for determining the shear modulus of elastomer bearings. ASCE Journal of Structural Engineering 2002; 128 (6): 797-805
- [7] Topkaya C. Analysis of specimen size effects in inclined compression test on laminated elastomeric bearings. Engineering Structures 26 (2004) 1071-1080
- [8] Havinga JS, S de Meij. Engineering with Natural Rubber. Natuurrubber (13./February 1999), The Newsletter of the R-S Information Center for Natural Rubber.
- [9] Butterworth J, Lee JH, Davidson B. Experimental determination of modal damping from full scale testing. 13th World Conference on Earthquake Engineering 2004. Paper No. 310
- [10] Kelly JM, Takhirov SM. Analytical and Experimental Study of Fiber-Reinforced Strip Isolators. PEER Report 2002/11
- [11] Kelly JM, Takhirov SM. Analytical and Experimental Study of Fiber-Reinforced Elastomer Isolators. PEER Report 2001/11
- [12] Tsai HC, Kelly JM. Stiffness Analysis of Fiber-Reinforced Elastomeric Isolators. PEER Report 2001/5
- [13] Tsai HC, Hsueh SJ. Mechanical properties of isolation bearings identified by a viscoelastic model. International Journal of Solids and Structures 38 (2001) 53-74
- [14] Tsai HC. Compression stiffness of infinite-strip bearings of laminated elastic material interleaving with flexible reinforcements. International Journal of Solids and Structures 41 (2004) 6647-6660
- [15] Tsai HC, Kelly JM. Buckling load of seismic isolators affected by flexibility of reinforcement. International Journal of Solids and Structures 42 (2005) 255-269
- [16] Tsai HC, Kelly JM. Bending stiffness of fiber-reinforced circular seismic isolators. Journal of Engineering Mechanics / November 2002
- [17] Moon BY, Kang GJ, Kang BS, Kelly JM. Design and manufacturing of fiber reinforced elastomeric isolator for seismic isolation. Journal of Materials Processing Technology 130-131 (2002) 145-150
- [18] Kang BS, Kang GJ, Moon BY. Hole and lead plug effect on fiber reinforced elastomeric isolator for seismic isolation. Journal of Materials Processing Technology 140 (2003) 592-597
- [19] Nagarajaiah S, Ferrel K. Stability of elastomeric seismic isolation bearings. Journal of Structural Engineering. Vol.125, No.9, September 1999
- [20] Turkish Ministry of Public Works. Turkish Seismic Code 1997