

Yüksek Sönümlenme Özelliklerine Sahip Kauçuk Karışımlarının İncelenmesi

Zeynep Yıldız^{1*}, Özlem Çavdar² ve Ali Karimzadeh Naghshineh³

¹ İnşaat Mühendisliği/ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü/ Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

³ Özdekan Rubber Inc./ R&D Department, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

*zeyy.yildiz@gmail.com

(Received: 10 November 2024, Accepted: 16 November 2024)

(3rd International Conference on Contemporary Academic Research ICCAR 2024, 10-11 November 2024)

ATIF/REFERENCE: Yıldız, Z., Çavdar, Ö. & Naghshineh, A. K. (2024). Yüksek Sönümlenme Özelliklerine Sahip Kauçuk Karışımlarının İncelenmesi, *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(10), 106-113.

Özet –Öngörülemeyen ve engellenemeyen doğal afetler arasında yer alan depremler, yapıların tahrip edilmesinin ve ekonomik kayıpların en doğrudan nedenidir. Binalar için en yaygın olarak kullanılan sismik izolatör cihazları olan kauçuk (elastomerik) izolatörler, ara çelik plakalara bağlanan alternatif doğal veya sentetik kauçuk katmanlarından oluşmaktadır. İzolatörlerde kullanılan kauçukların iyi sönümlenme özelliklerine sahip olmasının yanı sıra, yüksek esnekliğe, yüksek elastikiyete ve yüksek mukavemete sahip olması gerekmektedir. Araştırmanın amacı, yüksek sönümlü kauçuk mesnet (HDRB) tipli sismik taban izolasyon sistemi için sismik yüklere karşı dayanıklı bir kauçuk karışımı geliştirmek ve üretmektir. 10 mm kalınlığında, 40 mm genişliğinde ve 40 mm uzunluğunda iki farklı formülasyonla üretilen dörtlü kayma blok numune modelleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu numuneler doğal kauçuktan ve nitril bütadien kauçuktan, diğer kimyasal katkılarla ve çelik plakalardan üretilmiştir. Sonuçlar, dinamik kesme test sonuçları, HDRB bileşiklerinin sönümlenme değerleri açısından tatmin edici aralıklarda bulunmuştur. Bu geliştirilen kauçuk karışımlarının uygun olduğunu göstermektedir ve HDRB'lerin üretiminde kullanımının uygun olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler –Deprem, Dinamik Test, Dörtlü Blok Kayma Numune, HDRB, Sismik İzolatör.

I. GİRİŞ

Yapının tabanına uygulanan yanal kuvvetleri oluşturan faktör "sismik" olarak adlandırılır. Sismik tasarımın amacı yapıları (öncelikli olarak hastaneler, müzeler, resmi vb. binalar) korumak ve sismik olayın etkisiyle oluşan hasarları en aza indirmektir. Oluşan depremlerin etkisini engellemek için birçok çalışma yapılmasına rağmen depreme karşı koymada en büyük etkiyi binalarda taban izolasyonu ve sönümleyici uygulanması sağlamıştır. Sismik izolatörlü yapıda, depremden dolayı oluşan enerji, yapı boyunca tabandan çatıya doğru ilerlemeden önce izolatörler tarafından dağıtılır. Böylece deprem sonucunda yapısal olmayan elemanlar da dahil olmak üzere yapısal elemanlara uygulanan yanal kuvvet, geleneksel inşaat sistemine kıyasla sismik izolatörlü yapı sisteminde daha düşüktür. Sismik izolatörler sayesinde alttaki zemin hareket kuvvetlerini yukarıdaki bina yapısına iletmeden kolayca hareket edebilir. Oluşan ve depolanan enerjinin önemli bir kısmı dağıtılır, böylece binada meydana gelecek hasar azaltılmış olmaktadır [1]. İzole edilmemiş (geleneksel, ankastre mesnetli) bina depremin meydana gelmesiyle eylemsizlik kuvvetleri nedeniyle farklı yönlerde ileri geri titreşecektir. Gerçekleşen bu hareket

binanın deformasyonuna ve hasar görmesine neden olacaktır. Bunun aksine, tabandan izole edilmiş sismik izolatörlü binada da hareket meydana gelecek ancak bunun aksine orijinal şeklini koruyacak ve hasarlardan kaçınacaktır. Bu durumun izahı, sismik izolatör cihazının bina üzerindeki eylemsizlik kuvvetini etkili bir şekilde dağıtması, binanın titreşim periyodunu uzatması ve binanın ivmelenmesini azaltması şeklinde yapılabilir [2]. Kauçuk izolasyon sistemi şu anda en yaygın kullanılan ve gelişmiş izolasyon teknolojisidir. Bu grupta yer alan ve yaygın olarak kullanılanlar arasında doğal kauçuk mesnet (NRB), kurşun-kauçuk mesnet (LRB), yüksek sönümlü kauçuk mesnet (HDRB) vb. izolasyon cihazları bulunur [3]. Kauçuk mesnetler (kurşun çekirdekli ve çekirdeksiz), sürtünmeli/kaymalı mesnetler ve makaralı mesnetler dahil olmak üzere çeşitli izolasyon cihazları yaklaşık olarak son 25 yıldır binaların sismik tasarımı için geliştirilmiş ve pratik olarak kullanılmıştır [1]. Son yıllarda, birçok araştırmacı tarafından HDRB üzerinde araştırma yapılmıştır [4-9]. HDRB, enerji dağılımını sağlamak için kurşun çekirdek yerine yeni bir kauçuk bileşiğinin kullanıldığı kauçuk izolatör türüdür. HDRB basit bir yapı, kararlı mekanik performans, güçlü enerji dağıtma kapasitesi, akmadan önce büyük sertlik, çevre koruma vb. gibi önemli ve etkili avantajlara sahiptir. Bu faydalı özelliklere sahip olmasından dolayı taban izolasyon yapıları için HDRB, vazgeçilemeyen ve tercih edilen bir seçim haline gelmiştir. HDRB' nin akmadan önce daha fazla sertliğe, rüzgar yükü etkisi altındaki yapı üzerinde daha iyi bir frenleme etkisine sahip olması tercih sebebinin artırmaktadır. LRB' ye kıyasla HDRB, işleme esnasında kurşundan kaynaklanan daha küçük hasara sahiptir ve LRB' nin tam tersine, çevre koruması için özel gereksinimleri olan yerler için daha uygulanabilir [3].

HDRB' ler, enerji dağılımını sağlamak için kurşun çekirdek yerine yeni bir kauçuk bileşiğinin kullanıldığı kauçuk izolatör türlerinden biridir. Sismik izolatör cihazlar özelliklerinin geliştirilmesi ve bunun yanı sıra yaygın olarak kullanımının sağlanması birçok çalışmaya konu olmuştur [10]. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler oluşturmak için karıştırma işlemi sırasında farklılıklar oluşmaktadır. HDRB' lere kullanılacak olan kauçuğun sönümlemesi, karbon siyahı (CB), yağlar, reçineler ve diğer dolgu maddelerinin eklenmesiyle artırılabilir. Bu doğrultuda sönüm oranı artırılmış sismik izolatör cihazının %100 kayma deformasyonlarında sönümleme oranı %10-20 arasında bir değere sahip olabilmektedir [11].

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, tek tek bileşenlere kıyasla daha üstün özelliklerde kauçuk karışımlarının hazırlanmasının ve geliştirilmesinin iyi bir yöntem olabileceği sonucuna ulaşılmıştır [12]. Bileşik yapı odaklı kauçuk sismik izolatörlerin sönümleme, mekanik vb. özelliklerinin iyileştirmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır [13-18]. NR bazlı kauçuk izolatörlere nazaran daha yüksek sönüm oranına sahip HDRB' ler için yüksek sönümleme özelliklerine sahip kompozit kauçuk malzemelerin kullanılması önerilmektedir [15].

Göz ardı edilemeyecek sönümleme performanslarından dolayı HDRB' ler son yıllarda birçok çalışmanın odak noktası haline gelmiştir. Yüksek sönümlü kauçuk reçetelerinin geliştirilmesi ile ilgili literatürde çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi için bu çalışmada deneysel bir süreç ile yüksek sönümlü kauçuk reçetelerinin geliştirilmesi literatüre kazandırılması hedeflenmektedir. Bu çalışmada, NRM (NR tabanlı) ve HDRB1 (NBR tabanlı) şeklinde isimlendirilen iki farklı formülasyon ile dört bloklu kayma tipi numuneler üretilmiştir. Bu çalışmada oluşturulan NBR esaslı formülasyon ile sönümleme özellikleri iyileştirilmiş elastomerin üretimi amaçlanmıştır. Gerçekleştirilecek deneysel süreç neticesinde geliştirilen bu elastomerin HDRB' lere kullanılması düşünülmektedir. Böylece daha iyi bir izolasyon etkisi sergileyecek HDRB' lerin oluşturulması hedeflenmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Kauçuk Karışımının Hazırlanması

Kauçuk sismik izolatörlerde kullanılan kauçuk bileşiği NR bazlı olup ham kauçuk malzeme vulkanizasyon kimyasallarının oranlanmasıyla elde edilmektedir. Kauçuk bileşimi, istenilen nitelikler göz önünde bulundurularak ham kauçuğa farklı kimyasal ürünlerin eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Kauçuk bileşimi elastomer(ler), dolgu maddeleri, plastikleştiriciler, koruyucular, vulkanizasyon katkı maddeleri ve diğer bazı önemli bileşenleri içermektedir [19]. Bu çalışmada, dolgu oranının etkisini ve karbon siyahının (CB) optimum oran aralığını belirlemek için farklı oranlarda bileşikler hazırlanmıştır. Çalışmada kauçuk bileşiklerinde kullanılan CB (N330) ve kimyasallar sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kauçuk bileşiminde kullanılan CB (N330)



Şekil 2. Kauçuk bileşiminde kullanılan kimyasallar

Kauçuğun sönümlenme özelliklerini geliştirmek için bir dizi formül ile hazırlanan yeni bileşiklerde kullanılan bileşenler ve bileşik formülasyonlarının oranları Tablo 1' de sunulmuştur.

Tablo 1. Bileşik formülasyonları

| Bileşik İçindekiler | NRM | HDRB 1 |
|---------------------|-----|--------|
| NR | 100 | 0 |
| NBR | 0 | 100 |
| CB | 45 | 40 |
| Proses Yağı | 33 | * |
| ZnO | 7.5 | 10.5 |
| StA | 1.8 | * |
| Kumaron Reçine | 17 | 13 |
| Koruyucu Ajan | 1.8 | 2.5 |
| Sülfür | 6.5 | 5.5 |
| Hızlandırıcı | * | * |
| Hızlandırıcı | * | * |

*Açıklanmayan veriler.

B. Mekanik ve Fiziksel Özellikler

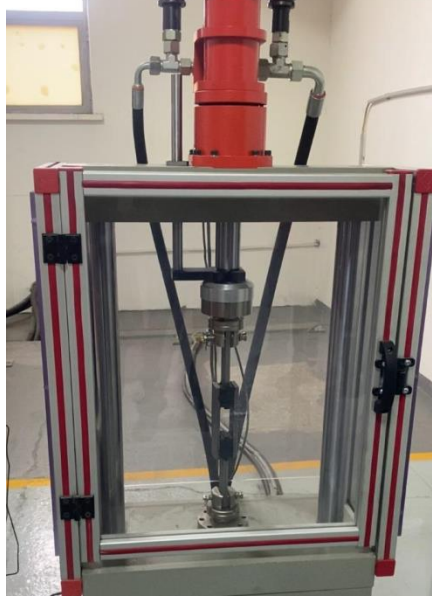
Kauçuk bileşiklerin mekanik özelliklerini çekme kopma testi ile belirlemek için hazırlanan kauçuk hamurlarından 2 mm kalınlığında papyon numuneler hazırlanmıştır. Testler ISO 37 standardına göre %30 nem aralığında ve 500 mm/dak hızında Devotrans DVT-G4E test cihazıyla yapılmıştır. Numuneler ayrıca ISO 48 standardına göre Devotrans SLX-A/SHT MODEL shoremeter cihazında sertlik testine tabi tutulmuştur. Daha sonra numuneler ISO 188'e (TS EN 1337-3) göre 7 gün boyunca 70°C' de yaşlandırılmıştır. Numunelerin sertlik, maksimum gerilme (N/mm²) ve kopma uzaması (%) değerleri yaşlandırma öncesi (Y.Ö.) ve sonrası (Y.S.) olmak üzere Tablo 2' de sunulmuştur.

Tablo 2. Sertlik, maksimum çekme ve kopma uzaması değerleri (yaşlandırma öncesi ve sonrası)

| | Sertlik (Shore A) | | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | | Kopma Uzaması (%) | |
|--------|-------------------|------|-------------------------------------|------|-------------------|------|
| | Y.Ö. | Y.S. | Y.Ö. | Y.S. | Y.Ö. | Y.S. |
| NRM | 56 | 60 | 24 | 22.8 | 587 | 582 |
| HDRB 1 | 50 | 60 | 13.9 | 15.7 | 668 | 462 |

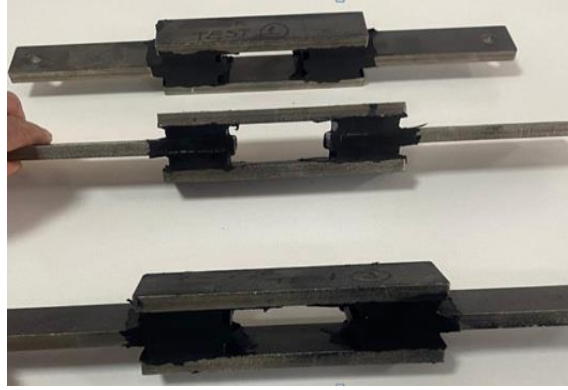
C. Dinamik Test

Kauçuk bileşiklerin eşdeğer sönümlenme oranını ve kayma modülünü belirlemek için dinamik testler gerçekleştirilmiştir. Dinamik testin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesi EN 15129-2018 standardına uygun şekilde yapılmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan farklı kauçuk bileşiklerinin dinamik kayma özelliklerinin belirlenmesi ISO 4664-1'de belirtildiği üzere yapılmıştır. Bu doğrultuda her bir bileşik için dörtlü blok numuneler üretilmiştir. NRM ve HDRB 1 adlı dörtlü blok numuneler Besmak dinamik test makinesi kullanılarak test edilmiştir. Dinamik test cihaz düzeneği Şekil 3' te gösterilmiştir.

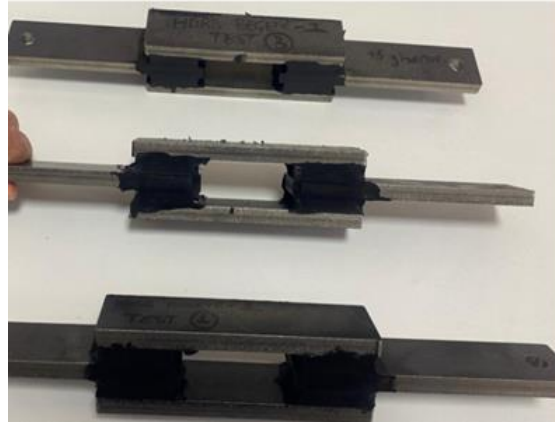


Şekil 3. Dinamik test düzeneği

Test edilen numuneler 10 mm kalınlığında, 40 mm genişliğinde ve 40 mm uzunluğundadır. NRM ve HDRB 1 adlı numunelerin her birinden dörder tane üretilmiş olup üçer tanesi test edilmiş ve ortalama değerleri raporlanmıştır. Dördüncü numune ise şahit numune olarak muhafaza edilmiştir. NRM ve HDRB 1 numunelerine ait görseller sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5’ de verilmiştir.



Şekil 4. Dört bloklü bindirmeli kesme testi NRM numuneleri



Şekil 5. Dört bloklü bindirmeli kesme testi HDRB1 numuneleri

Tablo 3. Dinamik kayma modülü (MPa)

| Kayma Gerinimi (%) | Kayma Modülü (MPa) | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| NRM | 1.64 | 1.37 | 1.10 | 0.83 | 0.71 | 0.70 | 0.75 | 0.83 | 0.80 |
| HDRB 1 | 1.80 | 1.54 | 1.30 | 0.99 | 0.78 | 0.70 | 0.72 | 0.81 | 0.77 |

Tablo 4. Sönüm (%)

| Kayma Gerinimi (%) | Sönüm (%) | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| NRM | 6.3 | 6.5 | 6.0 | 4.8 | 4.0 | 3.5 | 3.3 | 2.9 | 2.6 |
| HDRB 1 | 11.2 | 11.4 | 11.1 | 11.2 | 11.2 | 10.3 | 8.3 | 6.1 | 5.7 |

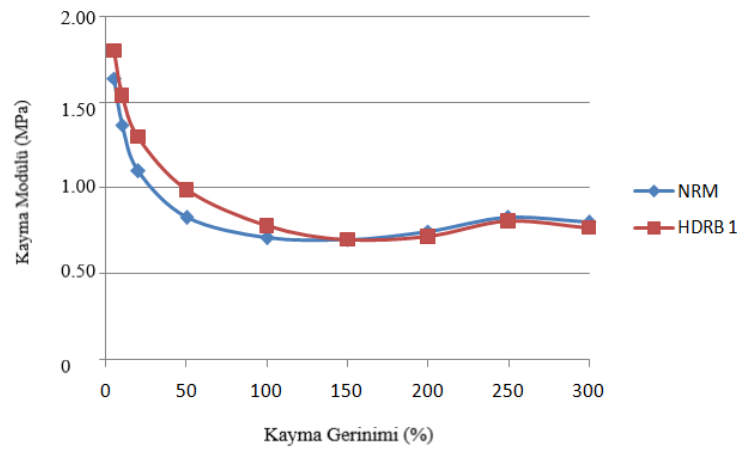
Numunelere kalınlıklarının (10 mm) %5, %10, %20, %50, %100, %150, %200, %250, %300 'ü kadar 9 farklı deplasman uygulanmıştır. Belirtilen bu yer değiştirmelerde 3 tam döngüsel yükleme gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda numunelerin kayma modülü (G) ve sönüm değerleri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama dinamik kayma modülü (MPa) ve sönüm (%) değerleri Tablo 3 ve Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 3' e bakıldığında kayma gerilmesi %5'ten %100'e çıktığında kayma modülü değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir. Kayma gerilmesi %150'den %300'e çıktığında, dinamik kayma modülü değerleri sabit kalmakta veya göz ardı edilebilir değişiklikler gözlenmektedir.

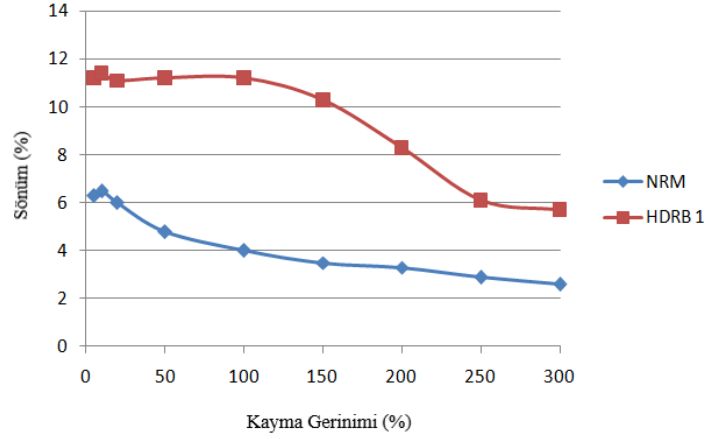
Tablo 4' e göre kayma gerilmesi %5'ten %300'e çıktığında eşdeğer sönüm değerlerinde genel bir azalma olduğu görülmektedir.

NRM ve HDRB 1 test numunelerinin karşılaştırmalarını daha iyi ifade edebilmek için, her iki özelliğin kayma gerilmesine bağımlılığı Şekil 6 ve Şekil 7' de gösterilmiştir. Şekil 6' da dinamik kayma modülünün kayma gerinimine göre değişim grafiği, Şekil 7' de ise sönümün kayma gerinimine göre değişim grafiği verilmiştir.

Tablo 3 ve Şekil 6' ya göre, kayma modülünün maksimum değeri NBR içeren HDRB1 içindir ve büyük oranda CB içeren HDRB 1 (40 phr) maksimum kayma modülüne sahiptir. Tablo 4 ve Şekil 7' ye bakıldığında, sönümlenme oranının maksimum değeri HDRB 1 içindir.



Şekil 6. Kayma modülünün kayma gerinimine göre değişimi



Şekil 7. Sönümlenmenin kayma gerilmesine göre değişimi

III. SONUÇ

Bu çalışmada, HDRB' de kullanılan NR' ye alternatif olarak NBR esaslı formülasyon oluşturularak yüksek sönümlü kauçuk reçetelerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece geliştirilen formülasyonların yüksek sönüm değerine sahip sismik izolatörlerin üretiminde elastomer olarak kullanımı hedeflenmiştir.

Bileşiklerin dinamik kayma özelliklerinin belirlenmesi için yapılan dinamik kesme test sonuçları, HDRB bileşiğinin sönümlenme değerinin kabul edilebilir aralıkta olduğunu göstermiştir. Fiziksel test gereksinimlerini karşıladıkları için, yüksek sönümlenme değerine sahip izolatörlerin üretiminde elastomer olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar laboratuvar olanakları için Özdekan Kauçuk A.Ş.'ye (Türkiye) teşekkür etmektedirler.

KAYNAKLAR

- [1] S. M. Abraham, K. S. Selman, N. Mohan, S. Prasad, and S. T. N Kurian, "Analysis of Building with Baseisolation and Damper", (2021).
- [2] R. L. Bahekar, K. Daphekar, and A. Manchalwar, "Seismic Response of Structure Equipped with Lead Rubber Bearing Considering SSI." 5: 48-52, (2019).
- [3] Z. Gu, Y. Lei, W. Qian, Z. Xiang, F. Hao, and Y. Wang, "An Experimental Study on the Mechanical Properties of a High Damping Rubber Bearing with Low Shape Factor", Applied Sciences 11, (2021).
- [4] S.L. Burtscher and A. Dorfmann, "Compression and Shear Tests of Anisotropic High Damping Rubber Bearings". Engineering Structure, Volume 26, 1979–1991, (2004).
- [5] M. Yamamoto, S. Minewaki, H. Yoneda, M. Higashino, "Nonlinear Behavior of High-Damping Rubber Bearings Under Horizontal Bidirectional Loading: Full-Scale Tests and Analytical Modeling. Earthquake Engineering Structural Dynamic 41 (13), 1845–1860, 2012.
- [6] Y.-J. Chen, K.-M. Guo, Y. Li, F. Chen, "Behavior of High Damping Seismic Isolation Rubber Bearings for Bridges. Zhendongyu Chongji/Journal of Vibration and Shock 34(9):136-140, (2015).
- [7] S.-D. Xue, J.-Y. Gao, C.-H. Jiang, X.-Y. Li, Experimental Research on Mechanical Performance Of High Damping Isolation Rubber Bearings. Build. Struct. ,50, 71–75, (2020).
- [8] A.R. Bhuiyan, Y. Okui, H. Mitamura, T. Imai, "A Rheology Model Of High Damping Rubber Bearings For Seismic Analysis: Identification of Nonlinear Viscosity, International Journal of Solids and Structures, Volume 46, Issues 7–8, April 2009, Pages 1778-179. (2009).
- [9] F. Mazza, M. Mazza, "Nonlinear Modelling of HDRBs in The Seismic Analysis of Retrofitted and New Base-Isolated Rc Buildings. Structures 2021, 33, 4148–4161, (2021).
- [10] N. C. Van Engelen and R. Noggle, "Stress Distributions of Infinite Strip Steel Reinforced Elastomeric Isolators with A Rubber Core", Engineering Structures 285, 116033, (2023).

- [11] G. P. Cimellaro and S. Marasco, "Introduction to Dynamics of Structures and Earthquake Engineering", Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, Volume 45, (2018).
- [12] Y. L. Lu, J. C. Li, H. S. Zhang, X. Y. Zhao, J. G. Jiang, Y. X. Wu, L. Q. Zhang and T. Nishi, "Development of High Damping Natural Rubber/Butyl Rubber Composites Compatibilized By Isobutylene-Isoprene Block Copolymer for Isolation Bearing", *eXPRESS Polymer Letters* Vol.13, No.8 ,686–696, (2019).
- [13] L. Liao, Y. Wang , H. Lin, F. Zhang, J. Zhong, K. Xu, Z. Peng, "Damping Properties of Natural Rubber/ Epoxidized Natural Rubber Composites with Different Fillers", *Advances in Engineering Research*, volume 120, (2017).
- [14] X. Zhao, J. Wang, W. Wang, X. Geng, L. Zhang, B. Guo, T. Nishi and G. H. Hu, "Significantly Improving Strength and Damping Performance of Nitrile Rubber via Incorporating Sliding Graft Copolymer", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, (2018).
- [15] Y. W. Zhang, T. Lei, D. L. Kuang and Y. R. Yang, "Preparation and Properties of Rubber Blends for High-Damping-Isolation Bearings", *Article in Polymers*, (2019).
- [16] M. A. G. Sánchez, D. H. Giraldo-Vásquez and R. M. Sánchez, "Rheometric, Transient, and Cyclic Tests to Assess the Viscoelastic Behavior of Natural Rubber-Based Compounds Used for Rubber Bearings", *Materials Today Communications* 22 (2020) 100815.
- [17] F. A. Nobari Azar, A. Karimzadeh Naghshineh and M. Sen, "Preparation and Characterization of Natural Rubber–Based New Elastomers for High-Damping Base Isolation Systems", *Journal of Elastomers & Plastics*, Vol. 54(6) 959–974, (2022).
- [18] J. Wang, T. Gong, J. Liu, K. Tang, W. Lu and L. Wang, "Structure and Properties of Damping Chlorinated Butyl Rubber Composites with Hyperbranched Polyester Grafted Hindered Phenol", *Polymer Bulletin* (2024) 81:1529–1547.
- [19] A. Bakhshi, S. A. Koupai and V. V. Tabrizi, "Experimental Investigation on Effects of Elastomer Components on Dynamic and Mechanical Properties in Seismic Isolator Compounds", *Construction and Building Materials* 135 (2017) 267–278.
- [20] TS EN 1337-3, Turkish Standard, Structural Bearings - Part 3: Elastomeric Bearings, (2007).
- [21] ISO 4664-1. Rubber, Vulcanized or Thermoplastic - Determination Ofdynamic Properties.