

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİTÜMLÜ SÖNÜMLEYİCİ GEOMATERYALLERİN TASARLANMASI VE
SİSMİK İZOLASYON AMAÇLI KULLANILABİLİRLİKLERİNİN SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Ahmet KUVAT

HAZİRAN 2019

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :



Trabzon



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Ahmet KUVAT Tarafından Hazırlanan**

**BITÜMLÜ SÖNÜMLEYİCİ GEOMATERYALLERİN TASARLANMASI VE SİSMİK
İZOLASYON AMAÇLI KULLANILABİLİRLİKLERİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 /05/2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Üye : Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Üye : Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU

Üye : Doç. Dr. S. Banu İKİZLER

Üye : Doç. Dr. Nejan HUVAJ SARIHAN



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

“Bitümlü sönümleyici geomateryallerin tasarlanması ve sismik izolasyon amaçlı kullanılabilirliklerinin sayısal olarak incelenmesi” isimli tez çalışmasını bana öneren ve her aşamasında gerek bilgi ve tecrübelerini gerekse maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU’na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca değerli vakitlerini ayırıp tez çalışmamı inceleyerek bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, tez izleme komitesi üyeleri değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Fikri BULUT ve Sayın Doç. Dr. S. Banu İKİZLER ile jüri üyeliği görevini üstlenen değerli hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında yapmış olduğum deneylerde bana laboratuvar imkanlarını kullanmamı sağlayan Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanı sayın Sina KIZIROĞLU’na ve elinden gelen her türlü yardımı esirgemeyen çok değerli arkadaşım M. İrşad ÖZKAYNAK’a en içten teşekkürlerimi sunarım

Tez çalışması süresince her türlü manevi desteğini benden esirgemeyen ve beni bu günlere getiren aileme sonsuz şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmalarım sırasında hayatıma giren ve bana elinden gelen tüm desteği esirgemeyen biricik eşime sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyerek kıymetli vakitlerini ayıran mesai arkadaşlarım Mehmet Tevfik SEFEROĞLU, Dr. Hasan SESLİ, Saeid ZARDARI, Ufuk KANDİL, Ümit BAHADIR Dr. Serhat DEMİR, Muhammet ÇELİK, ve değerli iş insanı Ali Osman KOÇ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarda kıymetli vakitlerini ayıran ve bana Ankara’da elinden gelen tüm desteği veren başta Abit Anıl YILDIZ olmak üzere tüm arkadaşlarıma ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın sağlıklı bir şekilde yürütülmesi için destek sağlayan Üniversitemizin Öğretim Üyesi Yetiştirme Birimine teşekkür ederim.

Öğrenim süresi boyunca tek felsefem, ülkeye fayda getirecek çalışmalarda bulunup, her alanda daha iyi olmayı hak eden bu güzel ülkemizi üst seviyelere taşıyacak değerlerden biri olabilmektir. İnanıyorum ki, bu çalışmam hedeflerimin başlangıcı olacaktır.

Ahmet KUVAT
Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Bitümlü Sönümleyici Geomateryallerin tasarlanması ve Sismik İzolasyon Amaçlı Kullanılabilirliklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/06/2019.

Ahmet KUVAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Aktif Kontrol Sistemleri	2
1.3. Pasif Kontrol Sistemleri	5
1.3.1. Pasif Destek İzolatörler	5
1.3.2. Pasif Taban İzolasyonu	7
1.3.2.1. Sönümleyici Tipte Pasif Taban İzolatörleri	7
1.3.2.2. Kayıcı Tipte Pasif Taban İzolatörleri	9
1.4. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri	12
1.5. Hibrit Kontrol Sistemleri	12
1.6. Geoteknik Sismik İzolasyon	13
1.6.1. Temelin Sallanması (Rocking) İzolasyonu	14
1.6.2. Sürtünme Esaslı Geoteknik Sismik İzolasyon	17
1.6.3. Sönümleme Esaslı Geoteknik Sismik İzolasyon	18
1.6.3.1. Zeminlerin Dinamik Yükler Altında Davranışı	19
1.6.3.1.1. Kayma Modülü	19
1.6.3.1.2. Sönüm Oranı	20
1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	32
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	33
2.1. Deneysel Çalışmalar	33
2.2. Materyaller	34

2.2.1.	Granüler Materyaller.....	34
2.2.2.	Bağlayıcı Materyaller	36
2.2.3.	Numunelerin Hazırlanması	37
2.2.3.1.	Dinamik Üç eksenli Deney Numunelerinin Hazırlanması	37
2.2.3.2.	Çevrimsel Basit Kesme Deneyi Numunelerinin Hazırlanması	40
2.2.4.	Dinamik Üç Eksenli Deneylerin Yapılması	41
2.2.5.	Çevrimsel Basit Kesme Deneylerinin Yapılması	48
2.2.6.	Monotonik Üç Eksenli (UU) Deneylerinin Yapılması	53
2.3.	Sayısal Modelleme Çalışmaları	54
2.3.1.	Üç Boyutlu Modellerin Oluşturulması, Eleman Tipi ve Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması	54
2.3.2.	Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması ve Analiz	59
3.	BULGULAR VE İRDELEME	63
3.1.	Dinamik Üç Eksenli Deney Sonuçları	67
3.1.1.	Kum-Bitüm Karışımlarına Ait Sonuçlar	67
3.1.2.	Kum-Bitüm-Kauçuk Karışımlarına Ait Dinamik Üç Eksenli Deney Sonuçları	73
3.2.	Çevrimsel Basit Kesme Deney Sonuçları	82
3.2.1.	Kum-Bitüm Karışımlarına Ait Çevrimsel Basit Kesme Deney Sonuçları	83
3.2.2.	Kum-Bitüm-Kauçuk Karışımlarının Sonuçları	89
3.3.	Sayısal Modelleme Sonuçları	92
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
5.	KAYNAKLAR.....	114
6.	EKLER.....	121

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

BITÜMLÜ SÖNÜMLEYİCİ GEOMATERYALLERİN TASARLANMASI VE SİSMİK
İZOLASYON AMAÇLI KULLANILABİLİRLİKLERİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ

Ahmet KUVAT

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU
2019, 139 sayfa

Sismik izolasyon, yapılarda depremden dolayı meydana gelebilecek hasarları çeşitli araçlarla en aza indirmeyi amaçlayan bir sistemdir. Mevcut sismik izolasyon sistemleri, başarılı bir şekilde kullanılmalarına rağmen düşey doğrultudaki titreşimlere duyarsız ve maliyetlerinin yüksek olması yaygın kullanımlarını engellemektedir. Bu nedenle geçtiğimiz son 10 yıl içerisinde alternatif olarak, düşük ve orta yükseklikteki konutlarda kullanılacak hem düşük maliyetli hem de etkili bir mekanizma olan geoteknik sismik izolasyon (GSİ) fikri ortaya atılmıştır. Bu sistemlerin esası, sismik enerjinin temel altına yerleştirilecek yüksek sönümlü zemin tabakalarıyla azaltılmasıdır. Bu çalışma kapsamında, GSİ sistemlerinde kullanılacak yüksek sönümleme kapasitesine sahip bitümlü geomateryaller araştırılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, çeşitli penetrasyonlara sahip bitümler farklı oranlarda kullanılarak bitüm-kum karışımları üretilmiş ve bu karışımların dinamik kayma modülü ve sönüm oranı gibi özellikleri, dinamik üç eksenli ve çevrimsel basit kesme deneyleriyle belirlenmiştir. Ayrıca, en yüksek sönüm oranının gözlendiği bitüm-kum karışımına kum ağırlığının %1, 2, 3 ve 4'ü oranlarında öğütülmüş araç lastiği katılarak sönüm oranı artırılmaya çalışılmıştır. Bitümlü geomateryallerin, yapıların sismik davranışı üzerindeki etkisi incelemek için ANSYS paket programıyla sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Analizlerde, bitümlü geomateryalin boyutları, yapının kat adeti ve deprem maksimum yer ivmesinin model yapının sismik davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda maksimum sönüm oranı, %10 oranında 160/220 penetrasyonlu bitüm içeren karışımda gözlemlenmiştir. Bu karışımda, öğütülmüş araç lastiği içeriği artışına bağlı olarak sönüm oranının arttığı, kayma modülünün azaldığı belirlenmiştir. Sayısal analizlerde, kat sayısına da bağlı olarak bitümlü geomateryalin kullanıldığı durumda çatı seviyesindeki ivmelerin %65'e varan oranlarda azaldığı görülmüştür. Böylece, kum-öğütülmüş araç lastiği-bitüm karışımlarından oluşan geomateryalin, GSİ sistemlerinde etkili bir şekilde kullanılabilmesi ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Geoteknik Sismik İzolasyon, Kayma modülü, Sönüm oranı, Bitümlü geomateryal, Sonlu elemanlar, Dinamik üç eksenli deney, Çevrimsel basit kesme deneyi.

PhD. Thesis

SUMMARY

DESIGNING OF BITUMINOUS DAMPING GEOMATERIALS AND NUMERICAL
INVESTIGATION OF THIS MATERIALS FOR SEISMIC ISOLATION PURPOSES
USAGES

Ahmet KUVAT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU
2019, 139 Pages

Seismic isolation is a system that aims to minimize damage to buildings with various devices due to earthquakes. Despite their successful usage, high cost and insensitivity to vertical vibrations of existing seismic isolation systems prevent their widespread use. For these reasons, the idea of geotechnical seismic isolation (GSI), which is an effective and low cost mechanism, has been proposed for low and medium-high buildings in the last 10 years. The basis of these systems is to reduce the seismic energy by the high damping soil layers which is placed under the foundation. In the scope of this study, bituminous geomaterials with high damping capacity that can be used in GSI systems have been investigated. For this purpose, bitumen-sand mixtures were produced with different contents of the bitumens that have different penetrations and their properties such as dynamic shear modulus and damping ratio were determined by dynamic triaxial and cyclic simple shear tests. In addition, it was tried to increase the damping ratio by adding ground tire rubber at the rate of 1, 2, 3 and 4% by the weight of sand to the bitumen-sand mixture which has the highest damping ratio. In order to examine the effect of bituminous geomaterials on the seismic behavior of structures, finite element analyses were performed with ANSYS software. In the analyses, the effects of the dimensions of the geomaterial, number of storeys and peak ground accelerations of earthquake on the seismic behavior of model structures were investigated. In the experimental studies, the maximum damping ratio was determined in the mixture containing 10% of bitumen penetration grade 160/220 by weight of sand. In this mixture, it was determined that the damping ratio increased and the shear modulus decreased with increasing content of ground tire rubber. In numerical analyses, it was found that usage of bituminous geomaterial causes up to 65% acceleration decrease depending on the number of the storeys at roof levels of structures. Thus, it was revealed that the geomaterial composed of sand-crumb rubber-bitumen mixtures can be used effectively in GSI systems.

Keywords: Geotechnical Seismic Isolation, Shear Modulus, Damping Ratio, Bituminous Geomaterial, Finite Elements, Dynamic triaxial test, Cyclic Simple Shear Test

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Ankastre mesnetli yapıda taban kesme kuvveti-periyot ilişkisi (Naeim, 2001)	1
Şekil 1.2. Ankastre mesnetli yapıda yerdeğiştirme-periyot ilişkisi (Naeim, 2001)	2
Şekil 1.3. Aktif yapısal kontrol sisteminin çalışma diagramı (Jiang, 1998)	3
Şekil 1.4. Aktif kontrol sistemlerine örnekler (Christenson, 2001)	4
Şekil 1.5. Aktif kontrollü Kyobashi Seiwa binası (Tokyo, Japonya)	4
Şekil 1.6. Pasif kontrol uygulama örnekleri (Christenson, 2001)	5
Şekil 1.7. Sönüm oranına bağlı olarak yerdeğiştirme ve kuvvet spektrumları (Naeim, 2001)	8
Şekil 1.8. Laminar kauçuk mesnetin kesiti ve bileşenleri (Baştuğ, 2004)	8
Şekil 1.9. Kurşun çekirdekli laminar kauçuk mesnetin kesiti ve bileşenleri (Baştuğ, 2004)	9
Şekil 1.10. Saf sürtünmeli sistemin şematik gösterimi (Hamidi 2006)	10
Şekil 1.11. Sürtünmeli sarkaç izolatörün kesiti (Hamidi, 2006)	10
Şekil 1.12. Esnek sürtünmeli izolatörün kesiti (Baştuğ, 2004)	11
Şekil 1.13. Yapısal ve geoteknik sismik izolasyonun genel sınıflandırılması (Tsang 2012)	13
Şekil 1.14. Sallanan temelin genel bir şematik görünümü (Deng ve Kutter 2012)	14
Şekil 1.15. Farklı enerji yutan TSD sistemler için yük-deplasman histeresisleri a)elastik kolon, b)elasto-plastik kolon, c)rijit zemine oturan (radyasyon ve histeretik sönümü sıfır) sallanan temel, d)kontrollü sallanan yapı sistemi, e)Deng ve Kutter (2012) tarafından önerilen sallanan temel ($L_f/L_c=30.5$)	16
Şekil 1.16. Tipik bir histeresis eğrisi ve omurga eğrisi (Onur, 2015)	20
Şekil 1.17. Sönüm oranı ve kayma modülünün şekil değiştirme mertebesine bağlı değişimi (Onur, 2015)	21
Şekil 1.18. Deneý düzeneklerinin uygun olduğu şekilde değiştirme aralıkları (Das ve Ramana, 2011)	22
Şekil 1.19. Geoteknik Sismik İzolasyon (GSI) mekanizması (Tsang, 2008)	25
Şekil 1.20. Yao vd. (2014) tarafından tasarlanan asfalt-çelik kompozit izolatör	30

Şekil 1.21.	Fumiya ve Noriyuki (2001) tarafından önerilen temel sistemleri (a) Saf sönümleyici tabakalı (b) Metal çubuklu sönümleyici tabakalı (c) Metalik çubuklu izolatörün detayı	31
Şekil 2.1.	Deneyleerde kullanılan öğütölmüş araç lastiği ve kum	35
Şekil 2.2.	Kum ve öğütölmüş araç lastiğine ait granöloeteri eğrileri	35
Şekil 2.3.	Karışımları hazırlamak için kullanılan bitüm mikseri	38
Şekil 2.4.	Dinamik üç eksenli deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan çelik kalıp ve sıkıştırma elemanı	39
Şekil 2.5.	Kalıptan çıkarılmış bitümlü numuneler	40
Şekil 2.6.	Çevrimsel basit kesme numunesi ve kalıbı	40
Şekil 2.7.	Çevrimsel basit kesme deneyi numuneleri: a) Bitüm-karışımları b)Bitüm- öğütölmüş araç lastiği-kum karışımları	41
Şekil 2.8.	Gerilme kontrollü Geocomp marka dinamik üç eksenli deney aleti	42
Şekil 2.9.	Su banyosunda 20°C’de bekletilen numuneler	43
Şekil 2.10.	Numunelerin dinamik üç eksenli deney aletine yerleştirilmesi	43
Şekil 2.11.	Dinamik üç eksenli cihazın kontrolü için kullanılan cyclic5n programı (a) Numunenin künye bilgilerinin girildiği bilgi penceresi, (b) Numune boyutlarının girildiği bilgi penceresi	44
Şekil 2.12.	Efektif hücre ve düşey gerilmelerin girildiği bilgi penceresi	44
Şekil 2.13.	Çevrimsel yüklemeye ait girdi parametrelerinin girildiği bilgi penceresi	45
Şekil 2.14.	Bitümlü numunelere dinamik üç eksenli deneyde 1.0 CSR için uygulanan statik ve dinamik gerilmeler	46
Şekil 2.15.	Feizi-Khankandi (2008) tarafından önerilen yükleme tipleri	46
Şekil 2.16.	Numuneye uygulanan eksenel çevrimsel gerilme	47
Şekil 2.17.	cyclic5n yazılımından alınan çevrim sayısına bağlı eksenel yük	47
Şekil 2.18.	Geocomp marka çevrimsel basit kesme deney aleti	48
Şekil 2.19.	Teflon laminalar içerisine yerleştirilmiş bitümlü numune	49
Şekil 2.20.	Çevrimsel basit kesme hücresine yerleştirilmiş numune	49
Şekil 2.21.	Shear-cyclic programına girilen çevrimsel yükleme özellikleri	50
Şekil 2.22.	Çevrimsel basit kesme deneyinin şematik görünümü	51
Şekil 2.23	Çevrimsel basit kesme deneyleri için düşey deplasman-karekök zaman grafiği.....	51
Şekil 2.24.	Çevrimsel basit kesme deneyine ait shear-cyclic adlı yazılımdan alınan örnek bir deneye ait veriler	52
Şekil 2.25.	UU deneyleri sonucu bitümlü numunelere ait bir görüntü	53
Şekil 2.26.	Triaxial-report yazılımından alınan UU deney verileri	54

Şekil 2.27.	Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan 4 katlı yapının plan ve kesiti	55
Şekil 2.28.	Sayısal modellerde bitümlü geomateryalin yapının altına yerleştirilmesi a) Perspektif görünüşü b) Plan görünüşü	56
Şekil 2.29.	Shi vd. (2014) tarafından önerilen periyodik temel modeli	57
Şekil 2.30.	SOLID185 eleman tipi	57
Şekil 2.31.	Analizlerde göz önünde bulundurulmuş CR4 numunesine ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi	58
Şekil 2.32.	Kocaeli depremine ait ivme-zaman grafiği	59
Şekil 2.33.	Kobe depremine ait ivme-zaman grafiği	60
Şekil 2.34.	Farklı boyutlarda sonlu elemanlara sahip modeller (a) çizgiler 0.1m aralıkta bölünmüş (b) çizgiler 0.2m aralıkta bölünmüş	61
Şekil 2.35.	Farklı sonlu eleman sayılarına sahip modellerin ivme-zaman grafikleri	62
Şekil 3.1.	Simetrik histeresis eğrisi (Kramer, 1996)	63
Şekil 3.2.	Kumar vd. (2017) tarafından elde edilen histeresis eğrileri	65
Şekil 3.3.	Kumar v.d. (2017) tarafından önerilen asimetrik histeresis eğrisi yaklaşımı	66
Şekil 3.4.	Farklı oranlarda 160/220 bitüm içeren numunelere ait histeresis eğrileri	68
Şekil 3.5.	Bitüm penetrasyonu ve katkı oranının sönüm oranına etkisi	69
Şekil 3.6.	Dinamik kayma modülünün bitüm penetrasyonu ve oranına bağlı olarak değişimi	69
Şekil 3.7.	Farklı CSR değerleri için dinamik üç eksenli deneylerinden elde edilen 10. yük çevrimine ait histeresis eğrileri	70
Şekil 3.8.	%10 oranda 160/220 bitüm içeren numunelerin sönüm oranlarının CSR'ye bağlı değişimi	71
Şekil 3.9.	%10 oranda 160/220 bitüm içeren numunelerin kayma modüllerinin CSR'ye bağlı değişimi	71
Şekil 3.10.	Li vd. (2016) tarafından elde edilen kum zemin için kayma modülü ve sönüm oranı değerleri	72
Şekil 3.11.	Farklı CR içerikleri için 1.0 CSR de elde edilen histeresis eğrileri	73
Şekil 3.12.	CR4 karışımı için farklı CSR ye bağlı histeresis eğrileri	74
Şekil 3.13.	Farklı CR içerikleri ve CSR değerlerine bağlı sönüm oranının değişimi	74
Şekil 3.14.	Farklı CR içerikleri ve CSR değerlerine bağlı kayma modülünün değişimi	75
Şekil 3.15.	Madhusudhan v.d. (2017) tarafından verilen kauçuk içeriği ve kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak kayma modülünün değişimi	76
Şekil 3.16.	Madhusudhan v.d. (2017) tarafından verilen kauçuk içeriği ve kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak sönüm oranının değişimi	77
Şekil 3.17.	Yükleme periyoduna bağlı olarak elde edilen histeresis eğrileri	78

Şekil 3.18.	Yükleme frekansının aksenal şekil değiştirme yapabilme kapasitesi üzerindeki etkisi (Feizi-Khankandi vd., 2008)	78
Şekil 3.19.	Kum-Bitüm-Kauçuk karışımlarının sönüm oranlarının, kauçuk içeriği, yükleme periyodu ve CSR'ye bağlı değişimi	79
Şekil 3.20.	Kum-Bitüm-Kauçuk karışımlarının kayma modüllerinin, kauçuk içeriği, yükleme periyodu ve CSR'ye bağlı değişimi	79
Şekil 3.21.	Hücre basıncına bağlı olarak CR3 karışımları için histeresis eğrileri	80
Şekil 3.22.	Hücre basıncı, CSR ve kauçuk içeriğine bağlı kayma modüllerinin değişimi	81
Şekil 3.23.	Hücre basıncı, CSR ve kauçuk içeriğine bağlı sönüm oranlarının değişimi ..	81
Şekil 3.24.	Kayma şekil değiştirmesine bağlı kayma modülü ve sönüm oranının değişimi (Vucetic ve Dobry, 1991)	82
Şekil 3.25.	Farklı bitüm içeriğine sahip numunelere ait simetrik histeresis eğrileri	84
Şekil 3.26.	Farklı CSR değerleri için çevrimsel basit kesme deneylerinden elde edilen histeresis eğrileri	84
Şekil 3.27.	Farklı CSR değerleri için bitüm oranına bağlı kayma modülleri	85
Şekil 3.28.	Farklı CSR değerleri için bitüm oranına bağlı sönüm oranları	86
Şekil 3.29.	Nikitas vd. (2017) tarafından verilen kum zeminde kayma modülünün şekil değiştirme ve çevrim sayısına bağlı olarak değişimi	87
Şekil 3.30.	Nikitas vd. (2017) tarafından verilen kum zeminde kayma modülünün konsolidasyon basıncı ve çevrim sayısına bağlı olarak değişimi	88
Şekil 3.31.	Konsolidasyon basıncına göre elde edilen histeresis eğrileri	88
Şekil 3.32.	Farklı çevrimlerden elde edilen histeresis eğrileri	89
Şekil 3.33.	CR1 numunesinin çevrim sayısına bağlı kayma modülünün değişimi	90
Şekil 3.34.	CR1 numunesinin çevrim sayısına bağlı sönüm oranının değişimi	90
Şekil 3.35.	Kauçuk içeriği, konsolidasyon basıncı ve CSR'ye bağlı olarak sönüm oranının değişimi	91
Şekil 3.36.	Kauçuk içeriği, konsolidasyon basıncı ve CSR'ye bağlı olarak kayma modülünün değişimi	92
Şekil 3.37.	Üst yapıda ivme ve yer değiştirme değerlerinin alındığı A düğüm noktası ..	93
Şekil 3.38.	Farklı boyutlarda izolatör yerleştirilmiş modeller, (a) 8.7x3.7, (b) 1.0x1.0, (c) 0.7x0.7, (d) 0.5x0.5	95
Şekil 3.39.	Farklı boyutlarda izolasyon tabakalarının yapının zamana bağlı ivme değerlerine etkisi	96
Şekil 3.40.	İzolasyon boyutlarına göre azaltma faktörleri	97

Şekil 3.41.	Farklı boyutlarda izolasyon tabakalarının yapının zamana bağlı z doğrultusundaki yerdeğiştirmeleri	97
Şekil 3.42.	İzolasyon tabakası boyutlarına bağlı yer değiştirme genlikleri	98
Şekil 3.43.	Tabaka kalınlığına bağlı olarak yapının zamana bağlı ivme değerleri	99
Şekil 3.44.	Tabaka kalınlığına bağlı azaltma faktörleri	99
Şekil 3.45.	Tabaka kalınlığına bağlı olarak yapının zamana bağlı yer değiştirme değerleri.....	100
Şekil 3.46.	İzolasyon tabakası kalınlığına bağlı yer değiştirme genlikleri	100
Şekil 3.47.	2 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz modellere ait ivme-zaman grafiği	101
Şekil 3.48.	2 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz modellere ait yerdeğiştirme-zaman grafiği	102
Şekil 3.49.	6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz modellere ait ivme-zaman grafiği	102
Şekil 3.50.	6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz modellere ait yerdeğiştirme-zaman grafiği	103
Şekil 3.51.	Kat sayısına bağlı azaltma faktörleri	103
Şekil 3.52.	Döşemesiz ve Döşemeli 4 katlı modeller	104
Şekil 3.53.	Döşemesiz 4 katlı çerçevenin izolasyonlu ve izolasyonsuz modellerine ait ivme-zaman grafiği	105
Şekil 3.54.	2 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait ivme-zaman grafiği	106
Şekil 3.55.	2 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait yer değiştirme-zaman grafiği	106
Şekil 3.56.	4 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait ivme-zaman grafiği	107
Şekil 3.57.	4 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait yer değiştirme-zaman grafiği	107
Şekil 3.58.	6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait ivme-zaman grafiği	108
Şekil 3.59.	6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait yer değiştirme-zaman grafiği	108
Şekil 3.60.	Kat sayısına ve deprem ivmesine bağlı azaltma faktörleri	109
Şekil 3.61.	İzolasyon, kat adedi ve deprem kaydına göre yer değiştirme genlikleri	110

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Pasif Sönümlenme sistemlerinin genel bir özeti (Symans vd., 2008).....	6
Tablo 2.1. Deneylerde referans alınan ASTM standartları	33
Tablo 2.2. Kumun geoteknik özellikleri	34
Tablo 2.3. Deneylerde kullanılan bitümlerin karakteristik özellikleri (URL1, 2, 3 ve 4)	36
Tablo 2.4. Bitüm-kum karışımları için kullanılan notasyon	37
Tablo 2.5. Kum-Kauçuk-Bitüm karışımları için kullanılan notasyon	38
Tablo 2.6. Analizlerde malzeme girdi parametreleri.....	59
Tablo 3.1. Dinamik üç eksenli deneylerin genel özeti	67
Tablo 3.2. Feizi-Khankandi vd. (2008) tarafından verilen çeşitli malzemelere ait kayma modülü ve sönüm oranları	72
Tablo 3.3. Çevrimsel basit kesme deney programı	83
Tablo 3.4. Nikitas vd. (2017) tarafından yapılan çalışmaya ait deney programı	87
Tablo 3.5. Sayısal modellere ait modal frekanslar	94

SEMBOLLER DİZİNİ

A_c	:Kritik temas alanı
A_f	:Temel alanı
A_l	:Histeresis eğrisinin alanı
$a_{max,izolasyonlu}$:İzolasyonlu modelde maksimum ivme
$a_{max,izolasyonsuz}$:İzolasyonsuz modelde maksimum ivme
A_{Δ}	:Elastik şekil değiştirme enerjisi
β	:Deprem ivmesi azaltma faktörü
c	:Kohezyon
C_c	:Derecelenme katsayısı
CR	:Öğütülmüş araç lastiği
CSR	:Çevrimsel gerilme oranı
C_u	:Üniformluluk katsayısı
D	: Sönüm oranı
D_r	:Rölatif sıklık
D_{50r}	:Ortalama kauçuk boyutu
D_{50s}	:Ortalama kum boyutu
e	:Boşluk oranı
E	:Elastisite modülü
EPS	:Genleştirilmiş polistiren
ϵ_a	:Eksenel şekil değiştirme
ϵ_{max}	:Maksimum eksenel şekil değiştirme
ϵ_{min}	:Minimum eksenel şekil değiştirme
ϕ	:İçsel sürtünme açısı
G_a	:Ortalama kayma modülü
G_{max}	:Maksimum kayma modülü
G_s	:Özgül ağırlık
G_{sec}	:Sekant kayma modülü
GSI	:Geoteknik sismik izolasyon
G_0	:Başlangıç kayma modülü

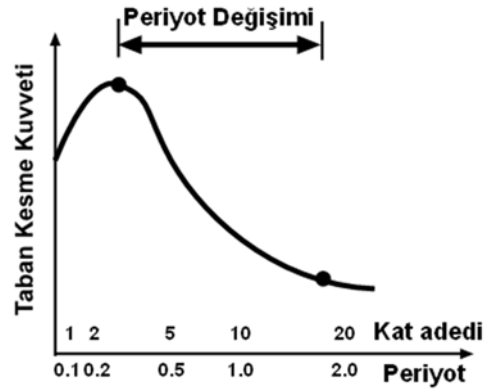
γ	:Kayma şekil değiştirmesi
γ_{max}	:Maksimum kayma gerilmesine karşılık gelen kayma şekil değiştirmesi
γ_{min}	:Minimum kayma gerilmesine karşılık gelen kayma şekil değiştirmesi
L_c	:Kritik temel genişliği
L_f	:Temel genişliği
LE	:Lineer Elastik
$MLKH$:Multi lineer kinematik hardening
ν	:Poisson oranı
PI	:Plastisite indisi
PU	:Poliüretan
R_0	:İçerisinde öğütölmüş araç lastiği içermeyen saf kum
R_{100}	:Saf öğütölmüş araç lastiği
ρ	:Yoğunluk
$\rho_{k,max}$:Maksimum kuru yoğunluk
$\rho_{k,min}$:Minimum kuru yoğunluk
SRM	:Kum-öğütölmüş araç lastiği karşımı
σ'_m	:Ortalama efektif asal gerilme
σ_v	:Düşey Konsolidasyon basıncı
σ_1	:Eksenel gerilme
σ_3	:Hücre basıncı
$\sigma_1 - \sigma_3$:Deviatörük gerilme
T	:Periyot
TSD	:Tek Serbestlik dereceli sistem
τ	:Kayma gerilmesi
τ_{max}	:Maksimum kayma gerilmesi
τ_{min}	:Minimum kayma gerilmesi
U	:Yer değiştirme genliği
u_{max}	:Maksimum yer değiştirme
u_{min}	:Minimum yer değiştirme
XPS	:Ekstürüde polistiren

1. GENEL BİLGİLER

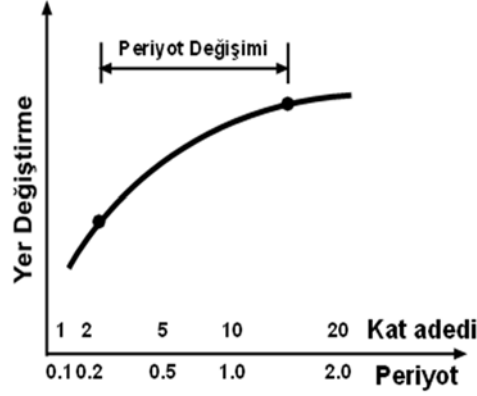
1.1. Giriş

Günümüzde artan nüfus, insanların deprem açısından riskli bölgelerde yaşaması zorunluluğunu doğurmuştur. Buna bağlı olarak geçmişte meydana gelen depremlerde büyük oranda can ve mal kayıpları ortaya çıkmıştır. Zaman içerisinde, söz konusu kayıpları en aza indirgeyebilmek için çok sayıda tasarım ve yapım metodu geliştirilmiştir. Örneğin, yapıların deprem etkisi altında elastik davranmalarına yönelik tasarlanması geliştirilmiştir. Ancak elastik tasarım konsepti oldukça büyük boyutlarda yapı elemanları gerektirdiğinden yüksek inşaat maliyetlerini de ortaya çıkarmıştır. Yapıların elastik olmayan tasarımı ve sünek davranış beklentisi inşaat maliyetlerini oldukça düşürse de şiddetli depremler sonrası taşıyıcı olan ve olmayan yapı elemanlarında oldukça büyük hasarlar gözlemlenmiştir. Yukarıda sıralanan unsurların bir sonucu olarak geçtiğimiz yüzyıl içerisinde sismik izolasyon fikri ortaya çıkmıştır.

En genel ifadeyle, yapılarda küçük ve orta ölçekli depremlerde oluşabilecek hasarların önlenmesi, büyük ölçekli depremlerde ise hasarların en aza indirgenmesi amacıyla uygulanan sistemlere sismik izolasyon sistemleri adı verilmektedir. Sismik izolasyonun esası, yapının ve deprem ivmesi özelliklerinin dikkate alınarak yapının rijitliğini azaltmak, periyodunu ve sönümü artırarak yapıya tesir eden deprem kuvvetlerini azaltmaktır (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2).



Şekil 1.1. Ankastre mesnetli yapıda taban kesme kuvveti-periyot ilişkisi (Naeim, 2001)



Şekil 1.2. Ankastr mesnetli yapıda yerdeğiştirme-periyot ilişkisi (Naeim, 2001)

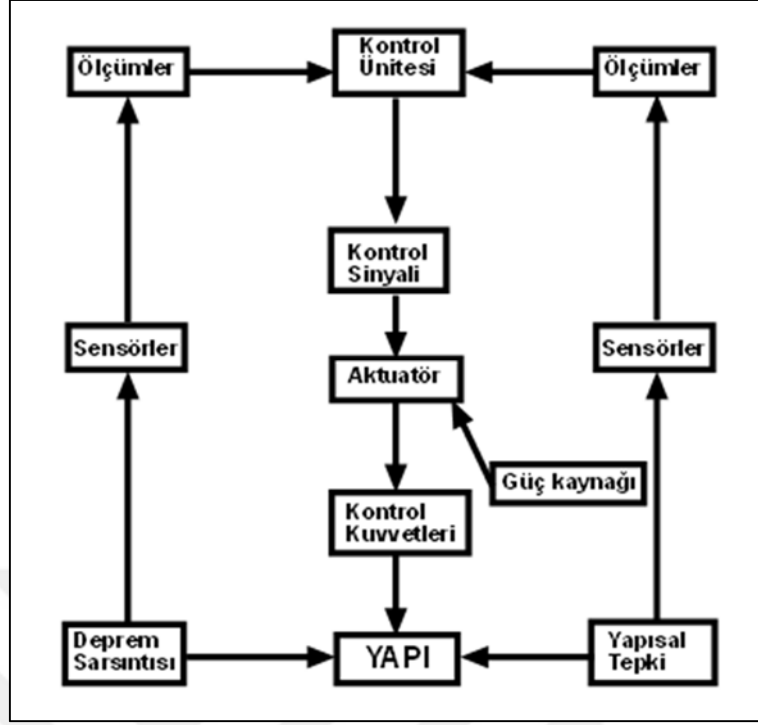
Son yıllarda depreme dayanıklı yapı konusunda oldukça popüler bir araştırma konusu haline gelen sismik izolasyona dair günümüzde kabul gören yapısal yöntemler:

- aktif kontrol sistemleri,
- hibrit kontrol sistemleri,
- pasif kontrol sistemleri şeklinde sıralanabilir.

1.2. Aktif Kontrol Sistemleri

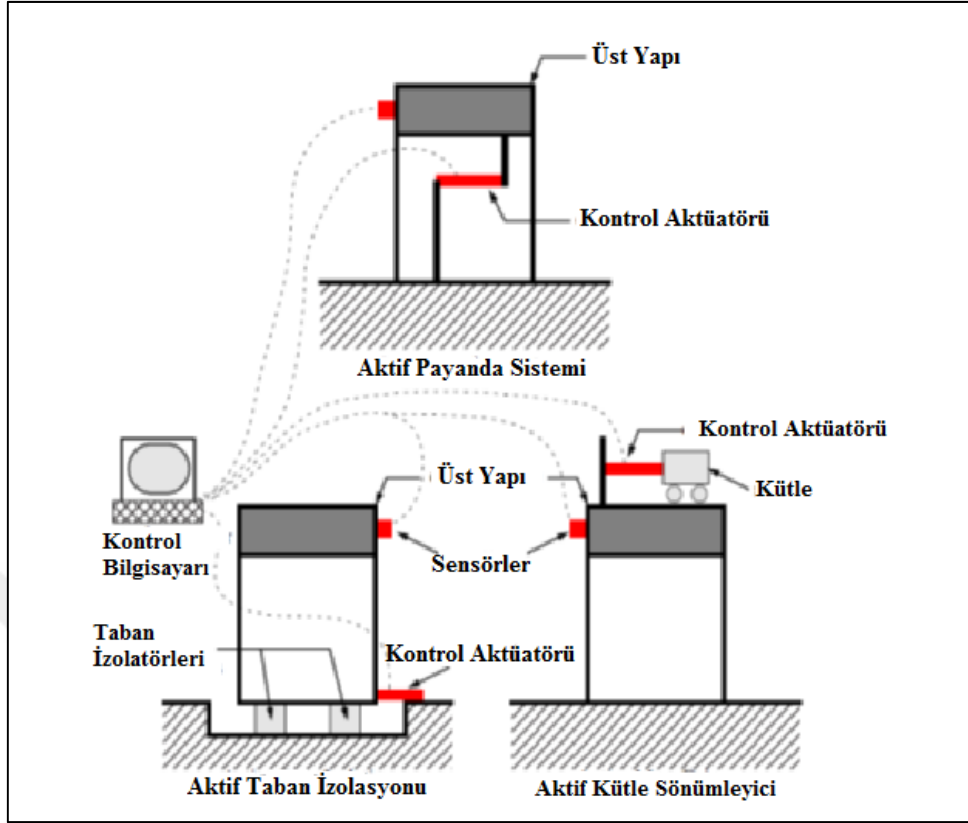
Yapılara etkiyen trafik, rüzgar ve deprem gibi doğal veya yapay kaynaklı dinamik yüklemelerin olumsuz etkilerini bertaraf etmek için özel ekipmanlarla kontrol kuvvetlerinin oluşturulduğu sistemlere aktif kontrol sistemleri adı verilmektedir (Jiang 1998). Bu sistemler, sensörler, aktüatörler ve kontrol ünitesi olmak üzere 3 ana ünitelerden oluşmaktadır.

Bir aktif kontrol sisteminde, sensörler genellikle sarsıntıyı ölçmek için yapıya ve kontrol ünitesine yerleştirilen LVDT, yük hücresi ve ivmeölçerlerden oluşmaktadır. Aktüatör ise kontrol ünitesinden gelen sinyale göre sarsıntının etkisini azaltacak kontrol kuvvetlerini oluşturacak bir dış güç kaynağına bağlı elektrohidrolik araçlardır. Kontrol ünitesi bu sistemlerde anahtar rol üstlenmektedir. Sensörlerden gelen bilgileri kontrol algoritması ile analiz edip kontrol kuvvetlerini oluşturmak için aktüatörlere gerekli sinyali göndermektedir. Şekil 1.3'te yapısal aktif kontrol sistemlerinin çalışma prensibi görülmektedir.

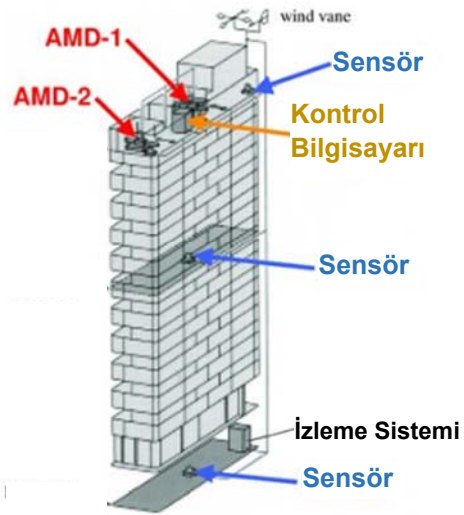


Şekil 1.3. Aktif yapısal kontrol sisteminin çalışma diagramı (Jiang, 1998)

Kullanılan ekipmanların da kapasitesine bağlı olarak oldukça geniş bir kontrol kapasitesine sahip olmaları, her türlü arazi koşulunda ve yer hareketinde uygulanabilir olmaları, kontrol amacına göre (yapı güvenliği, insan konforu) seçilebilir olmaları ve farklı kaynaklardan oluşan titreşimlere yönelik uygulanabilir olmaları bu sistemin en önemli avantajlarıdır. Ancak oldukça karmaşık sinyal işleme sürecine sahip olmaları, sistemin gerektirdiği kontrol kuvvetlerini oluşturmak için büyük ölçekli ekipmanların gereksinimi ve herhangi bir güç kesintisi veya arıza anında bu ekipmanların devre dışı kalmaları bu sistemlerin en önemli dezavantajlarıdır (Chang 2011). En yaygın aktif kontrol uygulamaları aktif taban izolatörü, aktif payandalar (bracing) ve aktif kütleli sönümleyicilerdir. Şekil 1.4'te aktif kontrol sistemlerin genel olarak bir şeması, Şekil 1.5'te ise aktif kütleli bir sistemin ilk kez uygulandığı Kyobashi Seiwa (Tokyo, Japonya) binası görülmektedir.



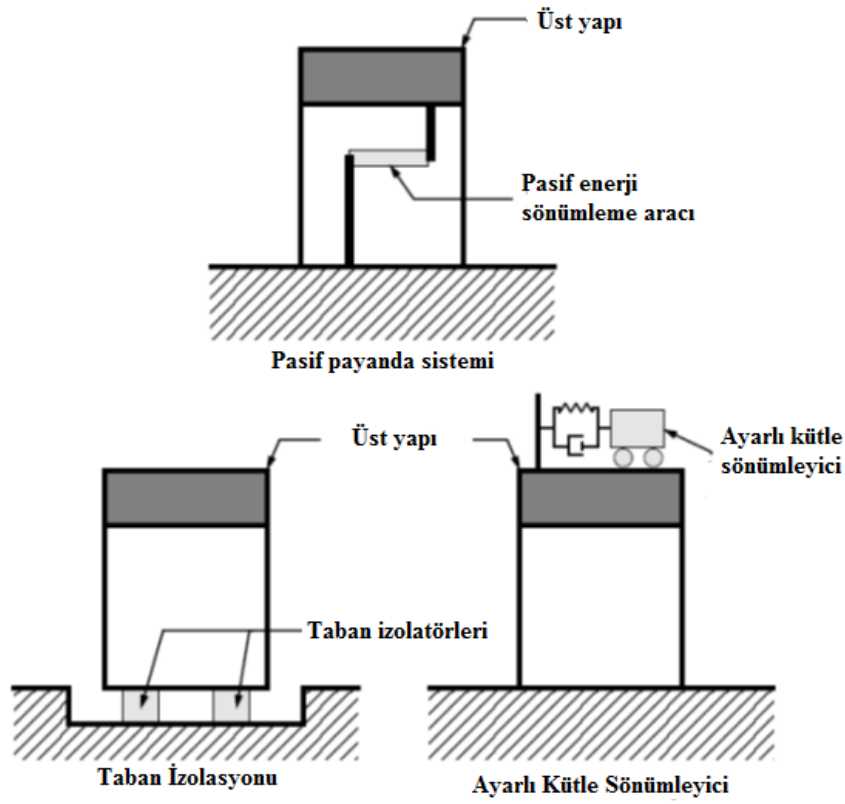
Şekil 1.4. Aktif kontrol sistemlerine örnekler (Christenson, 2001)



Şekil 1.5. Aktif kontrollü Kyobashi Seiwa binası (Tokyo, Japonya)

1.3. Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol sistemlerinin ana fonksiyonu, üstyapının özel olarak tasarlanmış bölgelerindeki histeretik davranışı korumak ve yapının taşıyıcı sistemindeki elastik olmayan enerji talebini azaltmaktır. Pasif kontrol sistemleri sönümleyici payanda elemanlar, taban izolasyonu ve ayarlı kütle sönümleyicileri olmak üzere 3 ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 1.6).

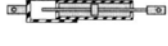

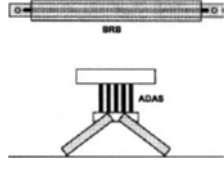
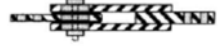
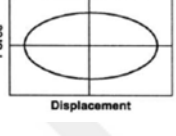
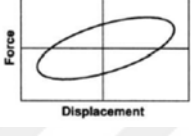

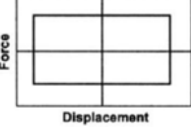
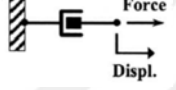

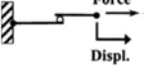


Şekil 1.6. Pasif kontrol uygulama örnekleri (Christenson, 2001)

1.3.1. Pasif Destek İzolatörler

Pasif destek izolatörlerin çalışma ilkesi, çevrimsel yük altında metalik sönümleyicilerin akmaya uğraması ile enerjinin yutulmasına dayanmaktadır. Bu sayede yapıya etkiyen kesme kuvveti, yapının ivmesi ve katlar arasındaki dönme miktarı azalmaktadır. Tablo 1'de en yaygın olan pasif sönümleyicilerin genel bir incelenmesi görülmektedir.

Tablo 1.1. Pasif sönümleme sistemlerinin genel bir özeti (Symans vd., 2008)

	Viskoz Akışkan Sönümleyici	Viskoelastik Katı Sönümleyiciler	Sürtünme Sönümleyiciler	Metalik Sönümleyiciler
Temel Yapıları				
İdealize edilmiş histeretik davranışları				
İdealize edilmiş fiziksel modelleri			İdealize Modeli Mevcut değil	
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> -Düşük deplasmanlarda aktif oluyor -Doğrusal olanların modellenmesi basittir. -Özellikleri frekans ve sıcaklığa bağlı değildir. -Askeri uygulamalarda performansı kanıtlanmıştır. 	<ul style="list-style-type: none"> -Düşük deplasmanlarda aktif oluyor -Merkezlenme kuvvetleri oluşturuyor. -Doğrusal davrandığı için modellemesi kolay. 	<ul style="list-style-type: none"> -Stabil bir histeretik davranışa sahip. -Kullanım ömrü uzun. -Ortam sıcaklığından bağımsız. -Malzeme ve davranışı uygulayıcı mühendise aşına. 	<ul style="list-style-type: none"> -Her bir çevriminde büyük miktarda enerji sönümlüyor. -Ortam sıcaklığından bağımsız.
Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> -Sönümleyici içerisindeki viskoz sıvının sızıntı yapma riski mevcuttur. 	<ul style="list-style-type: none"> -Deformasyon kapasiteleri sınırlı -Özellikleri sıcaklık ve frekansa bağlı. -Malzemelerin ayrışması ve yırtılması ihtimali var. 	<ul style="list-style-type: none"> -Büyük depremlerden sonra yenilenmeleri gerekir. -Doğrusal davranmadıkları için doğrusal olmayan yöntemlerle analiz edilmesi gerekir. 	<ul style="list-style-type: none"> -Kayma ara yüzeyleri zamanla değişebiliyor. -İleri derecede doğrusal olmayan davranışa sahip. -Merkezlenme kuvvetlerinin oluşmaması durumunda kalıcı deplasmanlar.

Bu tip izolatörün performansı, kullanılan metalin gerilme-şekil değiştirme özelliği ve izolatörün geometrisi ile doğrudan ilişkilidir. Pasif destek izolatörlerinin avantajları:

- Diğer pasif izolatörlere kıyasla ucuz olması,
- Çevrimsel yük altında kararlı bir davranışlarının olması,
- Düşük genlikli çevrimsel yüklemelerde yorulma performanslarının yüksek olması,
- Uzun ömürlü olmaları,
- Performanslarının çevre koşulları ve sıcaklıktan etkilenmemesi şeklinde sıralanabilir (Constantinou v.d., 1998)

Pasif destek izolatörler belirli bir dinamik yüklemeye göre optimum şekilde tasarlandıklarında oldukça etkili bir izolasyon etkisi gösterirken, farklı yükleme senaryolarında izolasyon etkisi oldukça düşmektedir (Christenson, 2001). Bu durum bu sistemlerin en büyük dezavantajıdır.

1.3.2. Pasif Taban İzolasyonu

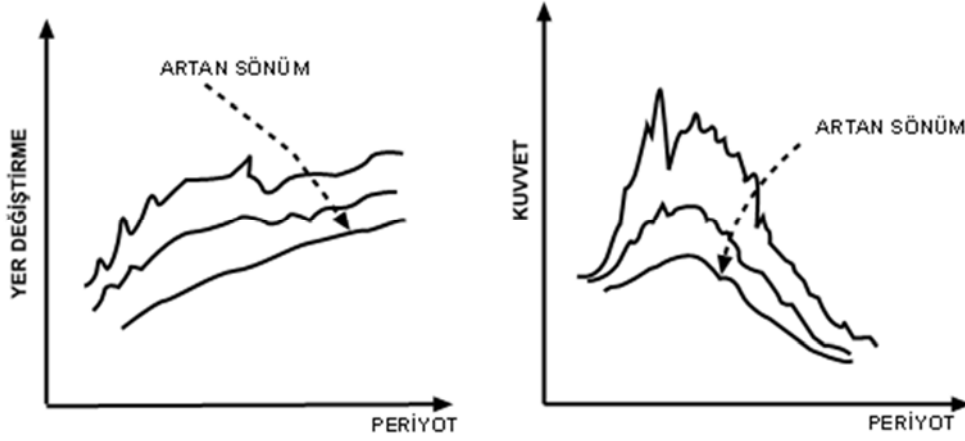
Taban izolasyonu; üst yapının düşey taşıyıcı elemanları ile temel arasına yerleştirilen esnek veya kayıcı ara yüzey elemanı ile üst yapı ve zeminin hareketinin birbirinden ayrılması vasıtasıyla deprem zararlarını azaltmayı amaçlayan sistemler olarak tanımlanmaktadır (Dolce ve Cardone, 2003). Pasif kontrol sistemleri arasında en yaygın ve etkili olan yöntemdir. Taban izolasyonunun ana öğeleri izolatör ve yardımcı araçlardır. İzolatörün düşey rijitliği yüksekken yatay rijitliği düşüktür. Yardımcı araçlar ise yapıyı yatay olarak sınırlayan, enerjiyi sönmleyen ve deprem sonrası yapıyı eski konumuna getirmeye çalışan elemanlardır. Genel olarak pasif taban izolatörleri, sönmleyici tipte ve kayıcı tipte olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilirler.

1.3.2.1. Sönmleyici Tipte Pasif Taban İzolatörleri

Ankastre mesnetli bir yapıda, kat adedi arttıkça yapının periyodu artmakta ve buna bağlı olarak taban kesme kuvveti de azalmaktadır (Şekil 1.1 ve 1.2). Aynı zamanda periyot artışı yapıda daha yüksek yerdeğiştirmeler meydana getirmektedir (Şekil 1.7). Meydana gelen bu büyük yer değiştirmeler taşıyıcı elemanlarda hasarlara neden olabilir.

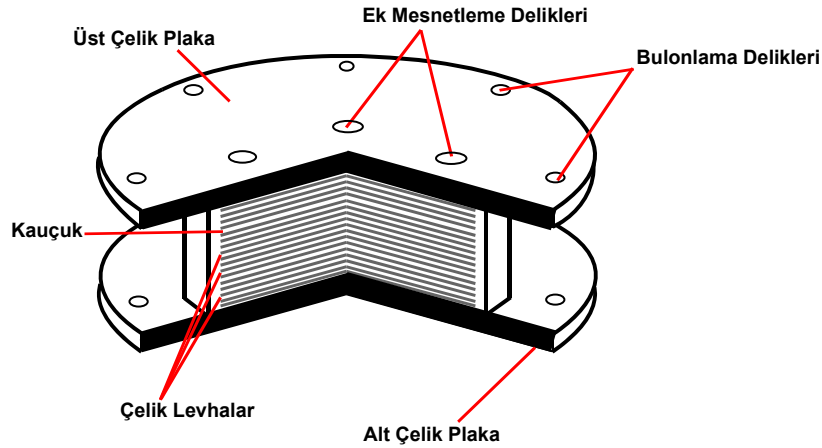
Kat kesme kuvvetleri ve yer değiştirmeleri azaltmak için bir diğer yaklaşım yapının sönmünü arttırmaktır (Şekil 1.7). Yapının kendi sönmü hakkında kesin bir bilgi olmadığı için ankastre mesnetli yapılar tasarlanırken yönetmelikte %5 sönm oranına sahip oldukları varsayımı yapılmaktadır. Bu nedenle gerekli sönm, ilave sönmleyici tipte yapı

elemanları ile sağlanmaktadır. Bu ilişkileri dikkate alarak yapının periyodunu artıracak ve oluşacak büyük yer değiştirmeleri yapı tabanında karşılayabilmek için sönümleyici tipte taban izolatörleri geliştirilmiştir.

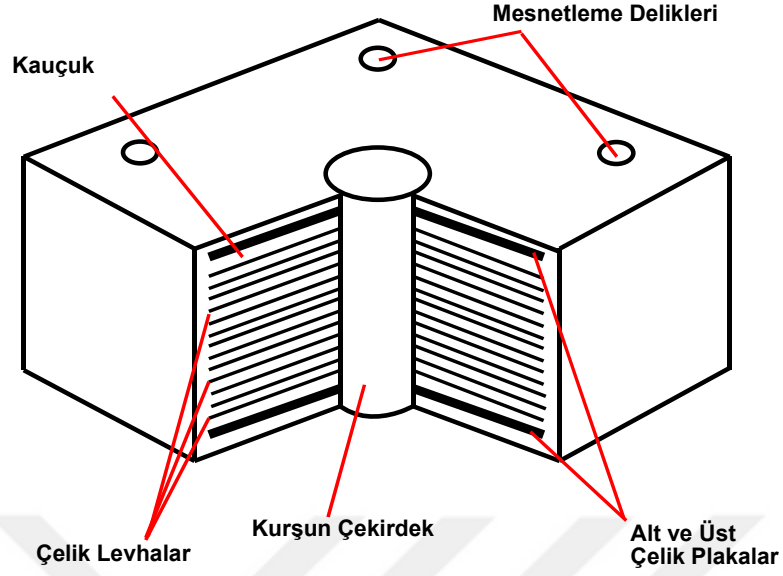


Şekil 1.7. Sönüm oranına bağlı olarak yerdeğiştirme ve kuvvet spektrumları (Naeim, 2001)

Bu tip izolatörler iki kalın çelik levha arasına kauçuk ve ince çelik levhaların birbirine yapıştırılmasından oluşan ve üretimleri nispeten kolay olan kompozit mesnetlerdir. Kauçuk bileşenler ile üst yapıya gerekli yatay esneklik sağlanırken çelik levhalar da gerekli düşey rijitliği sağlamaktadır. Laminar kauçuk mesnetler ile kurşun çekirdekli laminar kauçuk mesnetler en genel tipleridir (Şekil 1.8 ve 1.9).



Şekil 1.8. Laminar kauçuk mesnetin kesiti ve bileşenleri (Baştuğ, 2004)



Şekil 1.9. Kurşun çekirdekli laminar kauçuk mesnetin kesiti ve bileşenleri (Baştuğ 2004)

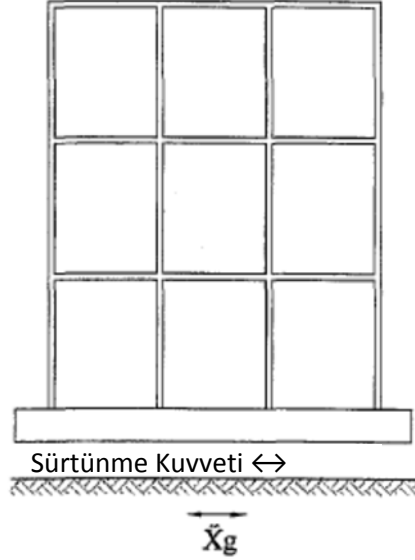
Laminar kauçuk mesnetler özellikle yüksek sönümlenme kapasiteli kauçukların kullanımıyla ilave sönümleyici elemanlara ihtiyaç duymadan etkili bir izolasyon sağlasa da mesnetin içinde de büyük ölçekli deplasmanların oluşmasına yol açmıştır. Bu nedenle izolatörün içinde mekanik bir enerji sönümleyici gereksinimi duyulmuştur. Bu problem mesnetin merkezine kurşun bir çekirdek yerleştirilmesi ile çözülmüştür. Bu noktada kurşunun tercih edilmesinin nedenleri, düşük kayma gerilmelerinde kurşunun akması, gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin neredeyse ideal elastoplastik olmasıdır. Ayrıca kurşunun zamanla mekanik özelliklerinin değişmemesi ve yorulma direncinin de yüksek olması tercih nedenleri arasında gösterilebilir (Hamidi, 2006).

1.3.2.2. Kayıcı Tipte Pasif Taban İzolatörleri

Kayıcı izolasyon sistemleri, bilinen en eski ve en basit taban izolasyon yöntemidir. Sistemin esası deprem esnasına yapı tabanında oluşacak sürtünme kuvvetleri vasıtasıyla üst yapıya iletilecek kuvvetlerin azaltılması esasına dayanmaktadır. Saf sürtünmeli, sürtünmeli sarkaç ve esnek sürtünmeli tipinde olanları vardır.

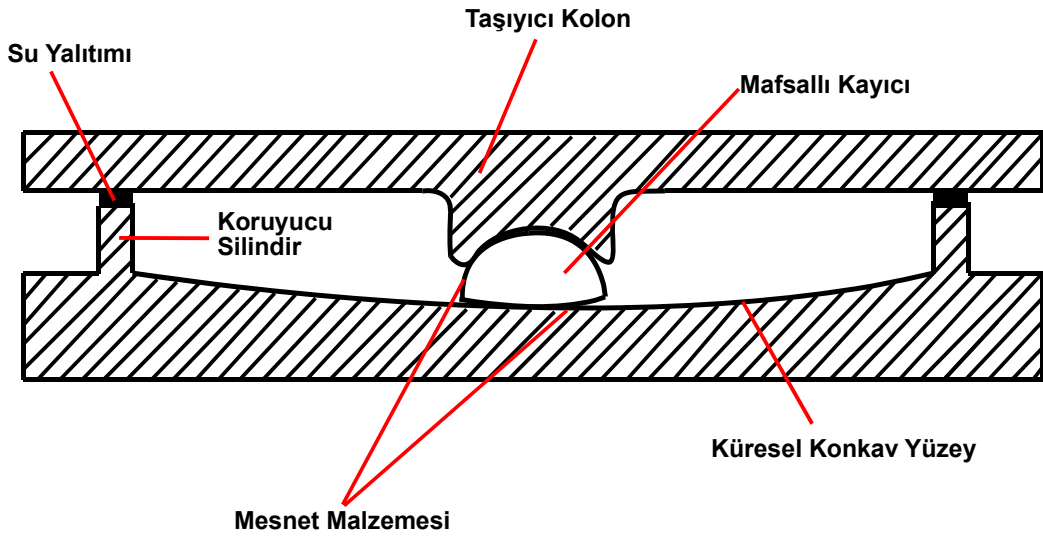
Saf sürtünmeli sistemler genelde gelişmekte olan ülkelerde düşük maliyetli yapıların tabanında kullanılan ve oldukça olumlu sonuçlar veren bir yöntemdir (Şekil 1.10). Ancak

kayma yüzeyleri arasında oluşabilecek plastik deformasyonlar özellikle yüksek frekanslı titreşimlerde yapıya zarar verebilmektedir (Hamidi 2006).



Şekil 1.10. Saf sürtülmeli sistemin şematik gösterimi (Hamidi 2006)

Sürtülmeli sarkaç tipi sistemler, yüksek dayanımlı paslanmaz çelikten veya son yıllarda kullanılmaya başlanan teflon küresel şekilli kayma yüzeyi ve kayıcı mafsallardan ibarettir (Şekil 1.11).

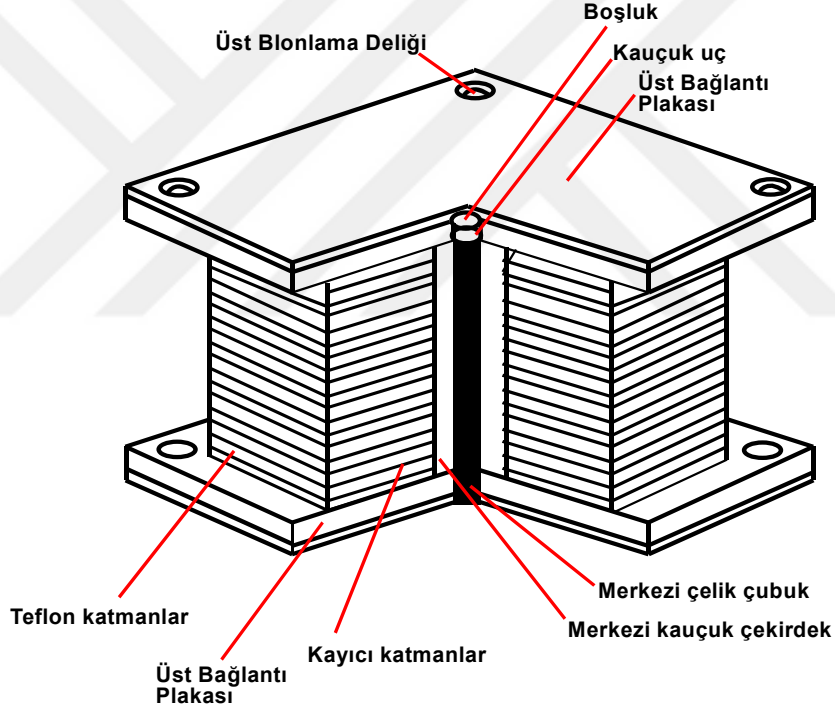


Şekil 1.11. Sürtülmeli sarkaç izolatorün kesiti (Hamidi, 2006)

Çelik veya teflon yüzeylerle mafsallı kayıcının dış yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvvetleri ile deprem enerjisi sönümlerken kayma yüzeyinin küresel olması sayesinde deprem sonrası yapının eski konumuna dönmesi için gerekli olan geri çağırım kuvvetleri oluşmaktadır.

En büyük avantajları sistemin periyodunun bina kütesinden bağımsız olması, esneklik ile sönümün birbiriyle ilişkili olmaması, rüzgar yükü ve küçük depremlerde sistemin rijitliğini koruması şeklinde sıralanabilir.

Esnek sürtülmeli izolatörler ise Mostaghel (1983) tarafından önerilmiştir. Bu sönümleyiciler iki kalın çelik plakanın merkezinde kauçuk ve etrafında birbirine temas eden teflon dairelerden meydana gelmektedir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Esnek sürtülmeli izolatörün kesiti (Baştuğ, 2004)

Tasarım ivme spektrumuna göre, yapının periyodu uzadığında ivme tepkisi önemli oranda azalmakta dolayısıyla da yatay deplasmanlar artmaktadır. Meydana gelecek bu deplasmanların ara yüzey elemanları ile karşılanması ve üst yapıda meydana gelebilecek deplasmanların azaltılması pasif taban izolasyonunun temel fikridir. Bu tasarım yönteminde genellikle zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmamaktadır. Bir başka deyişle sismik izolatörlerin yapı davranışı üzerindeki etkisi sabit mesnetlendirme koşulları ile

belirlenir. Ancak yapılan çalışmalar zemin-yapı etkileşiminin izolasyonlu yapının dinamik karakteristikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Mahmoud vd. (2012) yapmış oldukları nümerik çözümlerde, zemin-yapı etkileşiminin özellikle doğal periyodun yüksek olduğu izolasyonlu yapılarda ve yüksek değerlerde maksimum yer ivmesinin olduğu depremlerde oldukça önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Haiyang vd. (2014) zemin-yapı etkileşiminin taban izolasyonunun etkinliğini azalttığını, maksimum yer ivmesinin değeri büyüdükçe bu olumsuz etkinin daha da belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Luco (2014) zemin-yapı etkileşiminin taban izolasyon sistemi ve üst yapının rezonans tepkisinde artışlara neden olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte, tüm pasif taban izolasyon sistemlerinin teknik olarak uygulamasındaki zorluklar, maliyetlerinin yüksek olması, mevcut sistemlerin birkaç önemli yapıda uygulanmış olması, düşey doğrultudaki titreşimlere karşı zayıf kalması pasif taban izolasyon sistemlerinin diğer dezavantajlarıdır (Xiong W. ve Li Y., 2013).

1.4. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

Yarı aktif kontrol sistemleri pasif izolatörlü bir sisteme düşük kapasiteli ve ucuz bir kontrol mekanizmasının eklenmiş halidir. Bu sistemlerde pasif izolatörlü bir yapının hareketine bağlı olarak bir kontrol ünitesi ve yardımcı araçlar vasıtasıyla kontrol kuvvetleri oluşturulmaktadır. Kontrol ünitesi oldukça düşük miktarda dış enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Ancak kontrol mekanizması pasif kontrol araçlarının kapasitesinin üzerine çıktığı durumlarda devreye girdiğinden kontrol kapasiteleri oldukça sınırlıdır. Bu sınırlamalar çok daha efektif bir izolasyon sistemi olan aktif kontrol sistemlerinin doğmasına yol açmıştır.

1.5. Hibrit Kontrol Sistemleri

Aktif ve pasif kontrol sistemlerinin sınırlayıcılarının da büyük oranda bertaraf edilerek beraber kullanıldığı oldukça yeni bir kontrol sistemidir. Aktif kontrol sistemleri ile karşılaştırıldığında dış güç kaynaklarına bağımlılıkları oldukça düşüktür (Jiang, 1998).

Aktif ve hibrit kontrol sistemlerinde oldukça önemli gelişmeler elde edilse de halen daha yaşanan en büyük sıkıntılar şu şekilde sıralanabilir:

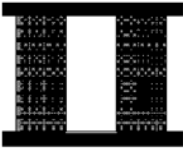
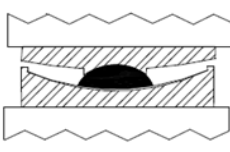
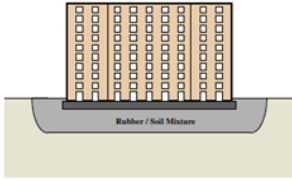
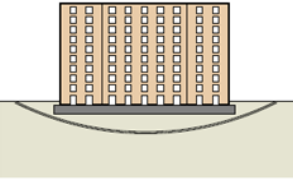
- Sistemin tamamının matematiksel modelinin çıkarılması

- Kontrol edilecek yapılar oldukça yüksek mertebeden serbestlik derecesine sahip olduklarından kontrol mekanizmasının karmaşık olması
- Yapıdan güvenilebilir ölçümlerin alınması
- Aktüatörlerin yük üretebilme kapasitesi.

1.6. Geoteknik Sismik İzolasyon

Yukarıda sıralanan izolasyon sistemlerinden oldukça başarılı sonuçlar elde edilse de her birinin ayrı ayrı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle uygulamalarının güçlüğü ve maliyetleri bu sistemlerin yaygın bir şekilde kullanılmasının önündeki en büyük engeldir. Bu nedenle araştırmacılar zaman içerisinde yapısal sismik izolatörlere alternatif olabilecek daha ekonomik ve basit bir yöntem olan geoteknik sismik izolasyon fikrini ortaya sürmüşlerdir. Bu izolasyon yöntemi esasında deprem dalgalarının üst yapıda atalet etkileşimi oluşturmadan önce mümkün olduğunca bertaraf edilmesine dayanmaktadır.

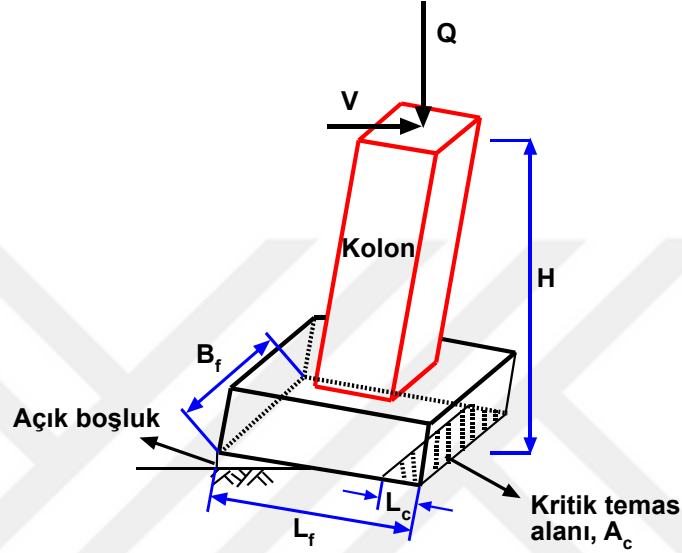
Geoteknik sismik izolasyon için genel bir sınıflandırma yapılacak olursa; temelin sallanması (foundation rocking isolation), sönümleyici temel zeminleri ve sürtünme esaslı olmak üzere 3 ana kategoriye ayrılabilir. Bu yöntemler arasında temelin sallanması izolasyonu depreme dayanıklı yapı tasarımı kapsamında değerlendirilmektedir. Bu nedenle Tsang (2012) geoteknik sismik izolasyonu Şekil 1.13’de görüldüğü gibi sınıflandırmıştır.

	Rijitlik/Sönümleme	Kayıcı/Sürtünme
Geleneksel "Yapısal"	<p>Elastomerik mesnet</p> 	<p>Küresel kayıcı mesnet</p> 
Yeni "Geoteknik"	<p>Kauçuk-Granüler Zemin Karışımı</p>  <p>Rubber / Soil Mixture</p>	<p>Geosentetik Gömlek</p> 

Şekil 1.13. Yapısal ve geoteknik sismik izolasyonun genel sınıflandırılması (Tsang 2012)

1.6.1. Temelin Sallanması (Rocking) İzolasyonu

Deprem esnasında temeldeki yatay deplasman, kendisini çevreleyen zemindeki yatay deplasmana eşit olmayacağından temel tabanında sallanma (rocking) hareketi meydana gelmektedir (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Sallanan temelin genel bir şematik görünümü (Deng ve Kutter 2012)

Deprem anında temel zeminin kayma hareketi ve temelin sallanma hareketi sırasında meydana gelecek sürtünmeler ile sismik enerjinin önemli bir bölümü sönmelenmektedir. Ayrıca zeminler granüler malzemeler olduklarından beton ve çeliğe göre çok daha fazla sünek davranış gösterirler bu durum yapının süneklik talebini azaltmaktadır (Gajan ve Saravanathiiban, 2011). Performansa dayalı yapı tasarımı düşüncesi çerçevesinde, özellikle sığ temelli yapıların kendilerini çevreleyen zeminde sallanma hareketi yapabilecek şekilde tasarlanması dolaylı bir izolasyon sistemi fikri ortaya çıkmıştır. Bu dolaylı izolasyon sistemlerine temel sallanması izolasyonu adı verilmektedir. Sallanan sığ temellerin yapıyı deprem esnasında koruması ve maliyeti düşürmesi açısından birçok önemli faydası vardır.

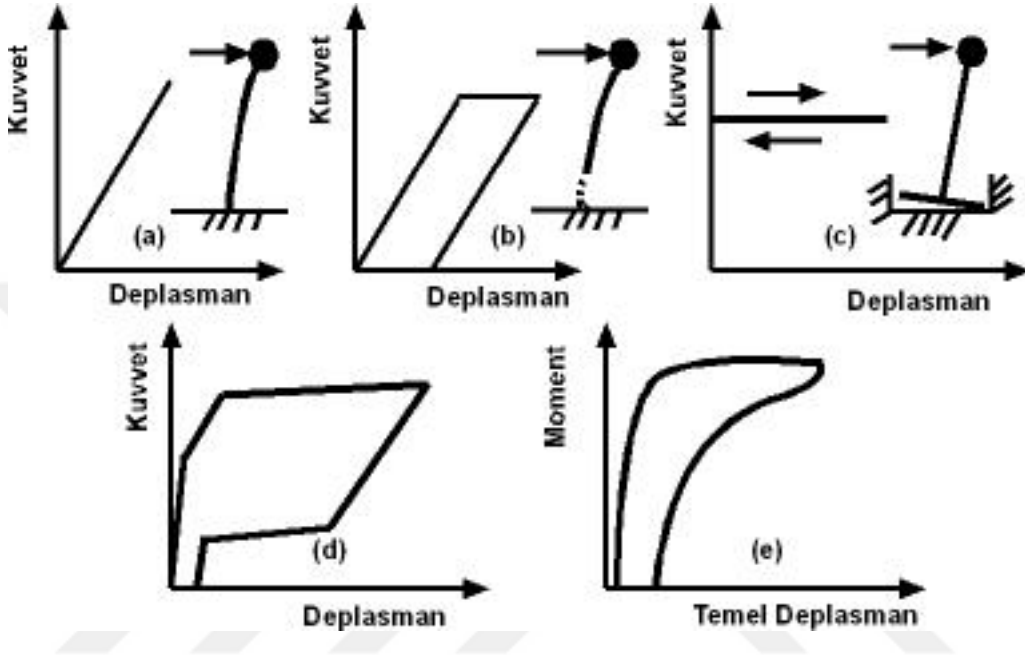
İdeal bir yapısal sistemden dinamik yükleme sonrasında hem yüksek miktarda enerjiyi sönmlemesi hem de yeniden merkezlenmesi beklenmektedir. Ancak beklenen bu iki unsur birbirine oldukça zıt kavramlardır. Şekil 1.15'te beş farklı tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin idealize edilmiş yük-deplasman ilişkisi görülmektedir. Şekil 1.15 (a)'da elastik bir kolon oldukça iyi yeniden merkezlenirse de enerji yutma kapasitesi sıfırdır. Şekil

1.15 (b)'de ise elastik-tam plastik bir TSD sistem görülmektedir. Bu sistemin enerji yutma kapasitesi oldukça yüksek olsa da oldukça yüksek kalıcı deformasyonlar oluştuğundan yeniden merkezlenme problemi doğmuştur. Şekil 1.15 (c)'de radyasyon sönümü ve histeretik sönümü sıfır olan bir başka deyişle zemin-yapı etkileşiminin olmadığı rijit bir zemine oturan sallanan temel hareketi görülmektedir. Yine bu sistemde yeniden merkezlenme sağlansa da herhangi bir enerji yutma söz konusu değildir. Şekil 1.15 (d)'de ise Eatherton ve Hajjar (2011) tarafından önerilen kontrollü sallanan yapı sistemine ait bayrak şekilli histeresis eğrisi görülmektedir. Bu sistemde akmadan sonra meydana gelen yerdeğiştirmeler ne kadar büyükse sistem o kadar fazla enerji yutmaktadır ancak yüksek şekil değıştirmelerde yapının yeniden merkezlenmesi imkansızdır. Deng ve Kutter (2012) farklı rölatif sıklıklarda kuma oturan ve çeşitli temel genişliği (L_f)/kritik temas genişliği (L_c) oranlarındaki sığ temel rijit kayma duvarı birleşimi kombinasyonlarında dinamik santrifüj deneyleri yapmıştır. Yapılan bu çalışmaya ait $L_f/L_c=30.5$ için idealize histeresis eğrisi Şekil 1.15 (e)'de görülmektedir. Araştırmanın sonucunda L_f/L_c oranı azaldıkça sistemin enerji yutma kapasitesinin arttığı ancak yeniden merkezlenmesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yumuşak zeminlerde sönümlemenin daha fazla iken sert zeminlerde ise yeniden merkezlenmenin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle zayıf zeminlerde sallanan temellerin köşelerine yapılacak zemin iyileştirilmesi ile oldukça etkin bir izolasyonun elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Gajan ve Kutter (2008) yaptıkları bir dizi santrifüj deneylerinde temel alanının kritik kontrol oranı olarak belirledikleri A/A_c (temel taban alanı/kritik temas alanı) parametresinin enerji sönümleme, oturma ve temelin kalkması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. A/A_c oranının azalması sistemin enerji sönümleme kapasitesini artırırken, bu oran 10 dan 2 ye düştüğünde temel altında oluşacak kalıcı oturmaların %70-80 oranında arttığını belirlemişlerdir.

Loli vd. (2014) orta sıkı kuma oturan 1:50 ölçekte hazırlanmış kare temelli betonarme köprü ayaklarını geleneksel ve sallanma izolasyonuna izin verecek şekilde tasarladıktan sonra farklı deprem senaryolarında santrifüj deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre sallanan temellerde, zemin-temel arayüzeyinin doğrusal olmayan davranışı oldukça büyük oranda sismik enerjiyi sönümlediğini, süneklilik talebini azalttığını belirlemişlerdir. Geleneksel yöntemle göre tasarlanmış köprü ayağı modellerinde göçme gözlenirken sallanma izolasyonuna göre tasarlanmış temelin ayakta kaldığını gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonunda sallanma izolasyonundaki en büyük dezavantajın

deprem sonrası meydana gelecek oturmaların olduğu özellikle düşük taşıma gücü güvenlik sayısına göre tasarlanan temelerde bu durumun daha belirgin olduğunu belirlemişlerdir. Söz konusu oturma probleminin, temel altındaki granüler zemini daha sıkı hale getirecek bir zemin iyileştirme ile çözülebileceğini ifade etmişlerdir.



Şekil 1.15. Farklı enerji yutan TSD sistemler için yük-deplasman histeresisleri a)elastik kolon, b)elasto-plastik kolon, c)rijit zemine oturan (radyasyon ve histeretik sönümü sıfır) sallanan temel, d)kontrollü sallanan yapı sistemi, e)Deng ve Kutter (2012) tarafından önerilen sallanan temel ($L_f/L_c=30.5$)

Yapılan bir çok benzer çalışmalara göre kontrollü bir sallanma hareketi ve taşıma gücünün mobilizasyonuna (temelin yukarı kalkması ve zemindeki elastik olmayan deformasyonlar) göre tasarlanan sığ temellerin süneklilik, sismik izolasyon, enerji sönümlenme ve kendi kendine merkezlenme gibi bir çok arzulanan özelliğe sahip olacağı belirlenmiştir (Gajan ve Kutter, 2008, Drosos vd. 2012, Anastasopoulos vd. 2015, Masaeli vd. 2015, Antonellis vd. 2015, Kim vd. 2014).

Tüm bu avantajlarına rağmen temelin altında meydana gelebilecek deformasyonlara yönelik kaygılar, temelin yük ve moment kapasitesi hakkındaki belirsizlik vb. nedenlerle sallanma izolasyonunun mevcut yönetmeliklere etkili bir izolasyon yöntemi olarak girmesine mani olmuştur.

1.6.2. Sürtünme Esaslı Geoteknik Sismik İzolasyon

Zemin-temel arayüzeyinde meydana gelecek sürtünme kuvvetlerini artırarak üst yapıya etki edecek sismik kuvvetleri azaltmayı amaçlayan sistemlere sürtünme esaslı geoteknik sismik izolasyon denilmektedir. Bu sistemlerde zemin-temel arayüzeyinde genellikle yüksek sürtünme katsayısına sahip geosentetik malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca arayüzeyde bir miktar kayma hareketine izin verilerek sürtünme kuvvetlerinin oluşması sağlanmaktadır. Bu tip sönümleme sistemi ilk olarak Yegian ve Lahlaf (1992) tarafından önerilmiştir. Yegian ve Lahlaf (1992) geotekstil-geomembran arayüzeyinin dinamik kayma mukavemetini belirleyebilmek için bir dizi sarsma tablası deneyleri yapmışlardır. Deneysel veriler ışığında statik ile dinamik sürtünme açısı arasında önemli bir fark olmadığını gözlemlemişlerdir. Öte yandan çalışmalarda, oldukça sınırlı mertebede kayma gerilmesinin geomembrandan geotekstil malzemeye aktarıldığını gözlemlemişlerdir.

Yegian ve Kadakal (2004) model tek katlı yapının altına yerleştirdikleri farklı sürtünme karakteristiklerine sahip sentetik materyaller arasında ideal sismik temel izolasyon malzemesini belirlemek için sarsma tablası deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak, yüksek moleküler ağırlığa sahip polietilen (geotekstil) malzemenin söz konusu malzemeler arasında en ideal olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca temel tabanı ile geosentetik gömlek arasındaki sürtünme açısının kayma hızı ve normal gerilmelerden bağımsız olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmanın sonrasında Yegian ve Catan (2004) aynı malzemeyi temel tabanına belirli bir düşey mesafede silindirik ve tekne biçiminde olacak şekilde yerleştirmişlerdir ve bu yöntemle zemin izolasyonu adını vermişlerdir. Söz konusu yöntemin üstün tarafları, deprem sırasında üstyapıdaki ivmelerde önemli oranlarda azalma sağlaması, kayma deplasmanlarının geosentetik gömleği çevresi boyunca meydana gelmesi ve izole zeminin ağırlığından dolayı oluşan dengeleyici kuvvetler ile kalıcı kayma deplasmanlarının minimum düzeyde tutulmasıdır.

Kalpakçı v.d. (2018) yapı temelinin altına geotekstil/geomembran arayüzeyi yerleştirilmesi ile elde edilen sürtünme esaslı taban izolasyon sisteminin, çeşitli yüksekliklerdeki model yapılarda farklı deprem senaryolarında nasıl bir sismik davranış göstereceğini sarsma tablası deneyleri ile incelemiştir. Araştırmanın sonucuna göre söz konusu izolasyon sisteminin orta ve yüksek mertebedeki sarsıntılarda daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca depremin hakim frekansı ile model yapının ilk moduna ait doğal

frekans değerleri birbirine yaklařtıķça sistemin daha etkili olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, her ne kadar izole olan model yapının üst seviyesinden aldıkları değerlerinin izole edilmemiş yapılarla göre %65'e varan mertebelerde azalmaları gözlemlense de deprem sonucu meydana gelen yüksek kayma deplasmanlarının sistemin en önemli eksikliği olduğunu ifade etmişlerdir.

Mevcut sınırlı sayıdaki çalışmalar incelendiğinde oldukça başarılı sonuçlar alınsa da deprem sonrası oluşacak kayma deplasmanları bu sistemlerin kullanılabilirliği karşısında en büyük engeldir.

1.6.3. Sönümleme Esaslı Geoteknik Sismik İzolasyon

Zemin ortamının geometrik, mekanik ve dinamik özelliklerinin üst yapıya aktarılan deprem dalgalarında çok etkili olduğu aşıkârdır, buna karşılık üst yapının geometrik, mekanik ve dinamik özellikleri de üst yapıdan zemine geri yansıyan dalgaları etkileyerek taban kayasından gelen deprem dalgalarını değişikliğe uğratırlar. İşte zemin tepkisinin yapı hareketini, yapı tepkisinin de zemin hareketini karşılıklı olarak etkilediği bu dinamik olaya zemin-yapı etkileşimi denir. Zemin-yapı etkileşimi temel tabanı ile serbest saha hareketi arasındaki farklılıkları gösterir. Yapı sistemlerinin çözümlenmesinde genellikle yapının temeller vasıtasıyla rijit bir zemine ankastre olduğu kabulü yapılmaktadır. Bu yaklaşım kaya türü çok rijit zeminlere oturan yapılarda iyi sonuçlar verirken ayrışmış kayaç, kil gibi yumuşak zeminlere oturan yapılarda üst yapının özelliklerine de bağlı olarak geçerliliğini yitirmektedir (akır, 2010). Çünkü deprem esnasında zemin ve yapının farklı şekilde hareket etmesi birbirlerinin davranışlarını etkilemesine neden olacaktır dolayısıyla zemin-yapı etkileşimi, eylemsizlik etkileşimi ile kinematik etkileşiminin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Zemin ile yapı arasında dikkate alınan etkileşim yapının periyot ve sönümünde artışlara neden olmaktadır, bu durum ankastre kabule göre çözümlenen yapılarda elde edilen doğal titreşim periyotları ile zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı çözümlenmelerden elde edilen periyotları arasında iki kata varan farklılıkların çıkmasına neden olmaktadır (Mylonakis ve Gazetas, 2000).

Deprem sonrası meydana gelen yapısal hasarlarla ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde, genellikle ağır hasarların en önemli sebebinin kötü zeminlerin (yumuşak, alüvyonal vb.) olduğu görülmektedir. Bu yorumların temel sebebi ise yumuşak zemine giren sismik dalgaların zemin tarafından doğrusal olarak büyütüldüğü varsayımdır. Bu

yaklaşım küçük genlikli hareketlerde (zeminde düşük deformasyonlar olması durumunda) kesinlikle doğrudur ancak genlik arttığında yüzeysel zeminler doğrusal olmayan davranış gösterirler. Bir başka deyişle büyük genlikli depremlerde yumuşak zeminler büyük oranlarda plastik deplasmanlara uğrayarak sismik enerjinin önemli bir bölümünü sönümlerler (Trifunac, 2003, Trifunac ve Todorovska, 1998, Giçev ve Trifunac, 2012). Bu duruma en iyi örnek 1999 Kocaeli depreminden sonra Adapazarı'nda yumuşak zeminlerde meydana gelen plastik deformasyonların yapısal hasarlara engel olmasıdır (Anastasopoulos vd., 2010). Ambrosini (2006) zemin ortamının histeretik ve radyasyon sönümünün yapıların sismik davranışına etkisini belirlemek için nümerik bir çalışma yapmıştır. %35 sönüm oranına sahip bir zeminin üst yapıda oluşacak deplasmanları önemli oranda azalttığını ayrıca zeminlerin histeretik sönümünün deprem sonrası yapıda oluşan titreşimlerin daha hızlı sönümlendiğini belirlemiştir.

Tüm bu deneysel ve vaka analizlerine rağmen zeminlerin plastik deformasyonları sayesinde enerji sönümleyici bir sistem olarak kullanılması güvenilmeyen veya kanıtlanmamış bir olgudur. Bu durumun en önemli sebebi, zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışına çevrim sayısı, deviatorik gerilme, deformasyon mertebesi, zemin cinsi, doygunluk durumu gibi birçok parametrenin önemli derecede etki etmesidir. Bu nedenle, geoteknik sismik izolasyon kavramına geçilmeden önce zeminlerin dinamik özelliklerinin tanımlanması gerekir.

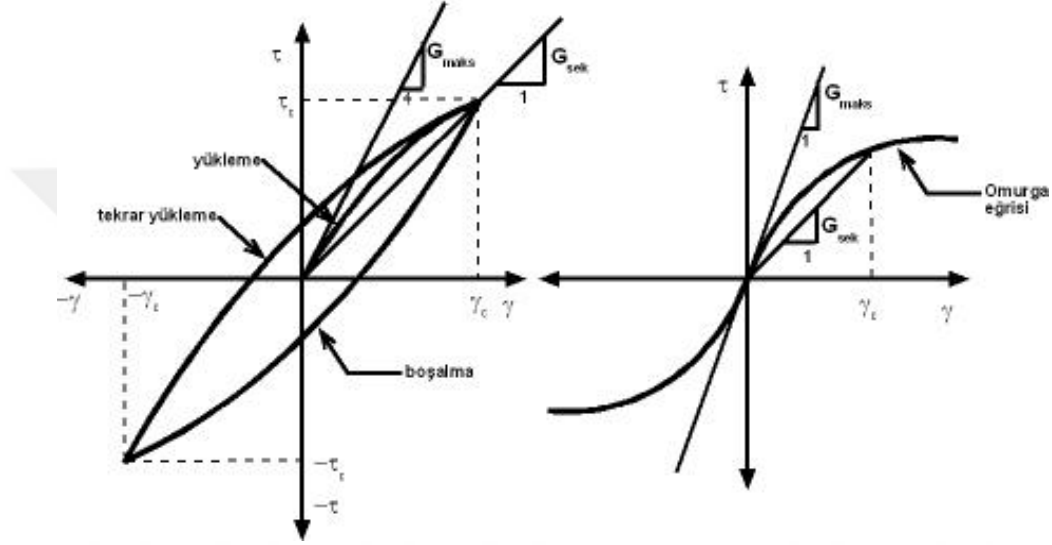
1.6.3.1. Zeminlerin Dinamik Yükler Altında Davranışı

Zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışı birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Literatür incelendiğinde dinamik etkiye karşı zeminin mukavemetini ve oluşacak deplasmanları tanımlayabilmek için birçok parametre ortaya konulmuştur. Bu parametreler önemlileri; kayma modülü (G), sönüm oranı (D), dinamik kayma şekil değiştirme mertebesi (γ) olarak sıralanabilir (Kramer, 2003).

1.6.3.1.1. Kayma Modülü

Sönümleme özelliğine sahip malzemelerin çevrimsel yükler altında gerimle-şekilde değiştirme davranışını gösteren eğriye histeresis eğrisi adı verilmektedir (Şekil 1.16). Bu eğrinin eğimi ise kayma modülü olarak tanımlanmaktadır. Literatür incelendiğinde

başlangıç kayma modülü (G_0), maksimum kayma modülü (G_{max}) ve sekant kayma modülü (G_{sec}) gibi terimlerle karşılaşılmaktadır. Şekil 1.16'da görüldüğü gibi histeresis eğrisinde gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin maksimum ve minimum değerlerinin birleştiren eğriye omurga eğrisi denilmektedir. Omurga eğrisinin eğimine sekant modülü, histeresis eğrisine başlangıçta teğet olan doğrunun eğimine ise maksimum kayma modülü denilmektedir.



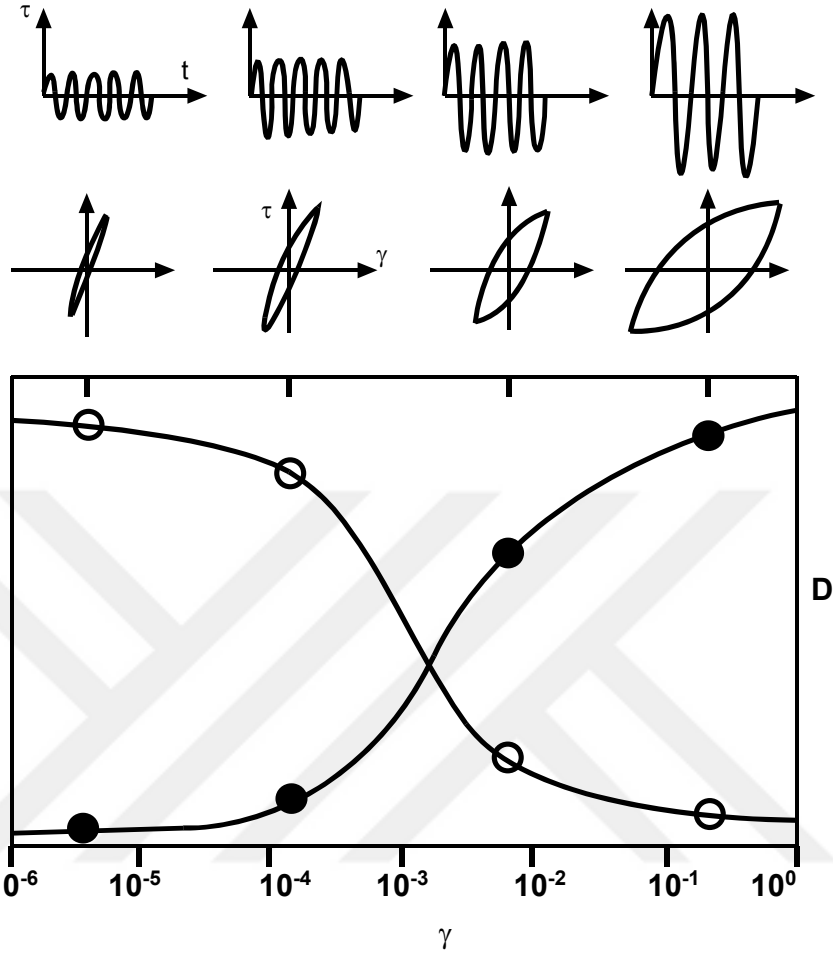
Şekil 1.16. Tipik bir histeresis eğrisi ve omurga eğrisi (Onur, 2015)

1.6.3.1.2. Sönüm Oranı

Zeminlere uygulanan dinamik yükün oluşturacağı enerjinin, zemin taneleri tarafından yutulmasına sönümleme denilmektedir. Yutulmuş enerji büyüklüğü ise sönüm oranı adı verilen bir parametre ile ifade edilmektedir. Sönüm oranı aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

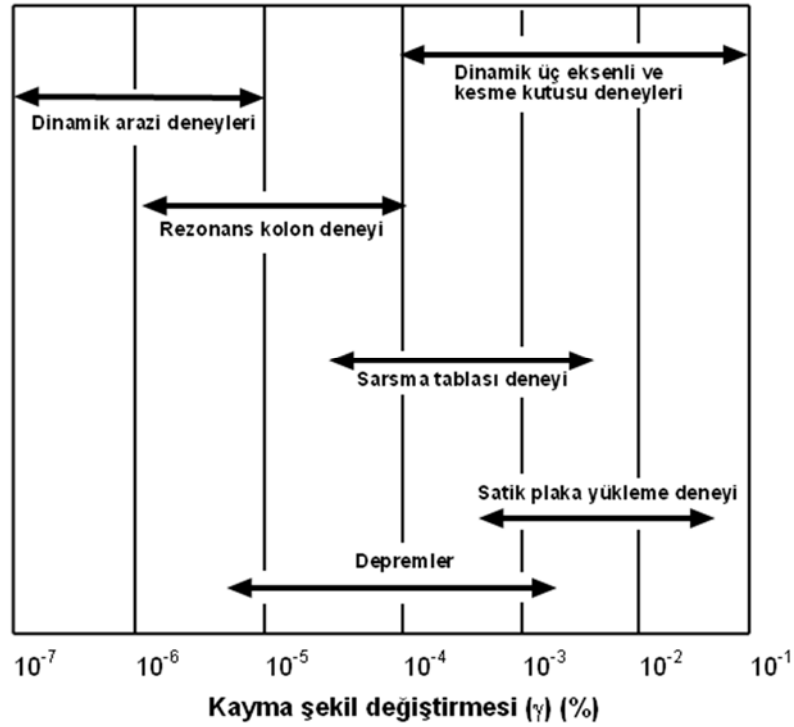
$$D = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{A_{eğri}}{A_{üçgen}} \right) \quad (1.1)$$

Burada $A_{eğri}$ histeresis eğrisinin içinde kalan alanı, $A_{üçgen}$ ise eğrinin altında kalan üçgenin alanını bir başka ifadeyle elastik şekil değiştirme enerjisini göstermektedir (Şekil 1.17). Genel olarak şekil değiştirme mertebesi arttıkça kayma modülü azalırken, sönüm oranı artmaktadır.



Şekil 1.17. Sönüm oranı ve kayma modülünün şekil değiştirme mertebesine bağlı değişimi (Onur, 2015)

Zeminlerin dinamik özelliklerini (kayma modülü, sönüm oranı, sıvılaşma direnci, v.s.) belirlemek için çeşitli laboratuvar ve arazi deneyleri geliştirilmiştir. Zeminlerin dinamik özelliklerini doğrudan kayma şekil değiştirme mertebesi ile ilişkili olduğundan tasarım yapılacak probleme uygun deney sisteminin seçilmesi çok önemlidir. Çeşitli deney yöntemlerinin, efektif çalışabilecekleri şekil değiştirme aralıkları Şekil 1.18'de verilmiştir.



Şekil 1.18. Deney düzeneklerinin uygun olduğu şekilde değiştirme aralıkları (Das ve Ramana, 2011)

Kayma modülü ve sönüm oranına etki eden parametreler birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir:

Seed ve Idriss (1971), Kokusho (1980) düşük kayma şekil değişimi mertebelerinde ($\gamma < 10^{-5}$) kayma modülünün (G) temel olarak ortalama efektif asal gerilmelere (σ'_m), boşluk oranına (e) ve kohezyonlu zeminler için aşırı konsolidasyon oranına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Vucetic ve Dobry (1991) 16 yayından aldıkları deneysel çalışmalara göre farklı aşırı konsolidasyondaki killer ve kumlar için kayma şekil değişimi mertebelerine bağlı olarak kayma modülü oranı (G/G_{max}) ve sönüm oranlarındaki (D) değişimini gösteren tablolar oluşturmuşlardır. Bu çalışmanın sonucunda PI değeri arttıkça G/G_{max} değerinin arttığını sönüm oranının azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca yüksek plastisiteli kil zeminlerin düşük kayma şekil değişimi mertebelerinde daha lineer bir çevrimsel davranış gösterdiğini belirlemişlerdir.

Wang ve Kuwano (1999), killi kum numunelerin, kayma modülü ve sönüm oranlarının şekil değiştirmeye bağlılığının modellenmesi öte yandan çevrimsel yüklemde oluşacak aşırı boşluk suyu basınçlarının kayma modülü üzerindeki etkisini

araştırmak için bir dizi drenajsız çevrimsel 3 eksenli deneyler yapmışlardır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ışığında; başlangıç kayma modülünü (G_0) ortalama asal gerilmelere, zeminin boşluk oranına bağlı olarak formülize edilmiş, G/G_0 oranını şekil değiştirmelere bağlı bir fonksiyon olarak sunulmuş, özellikle yüksek şekil değiştirme mertebelerinde çevrimsel yükleme sayısının artmasına bağlı olarak oluşan aşırı boşluk suyu basınçlarının sonucu olarak kayma modülünün azaldığını belirlemişlerdir.

Zhou ve Chen (2005) yükleme geçmişinin zeminlerin çevrimsel davranışı üzerinde etkisini belirleyebilmek için bir dizi üç eksenli deney yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda çevrimsel yükleme geçmişi olan zeminlerin olmayanlara göre daha düşük kayma modülüne sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Wang v.d. (2012) başlangıç deviatörük gerilme oranının lős zeminlerin dinamik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için torsiyonal üç eksenli çevrimsel deneyler yapmışlardır. Deneysel verilere göre yüksek deviatörük gerilme oranında numunelerin kayma modüllerinin azaldığını, sönüm oranlarının arttığını belirlemişlerdir.

Jafarzadeh ve Sadeghi (2012) modifiye edilmiş çevrimsel basit kesme deney aletiyle doyunluk derecesi, çevrim sayısı, düşey konsolidasyon basıncı, rölatif sıkılık gibi parametrelerin kumların dinamik özelliklerine olan etkisini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Deneysel veriler ışığında doyunluk derecesinin %25-75 arasında önemli bir etkisinin olmadığını ancak tam doyun hale geldiğinde kayma modülünün önemli derecede azaldığını gözlemlenmiştir. Ayrıca doyun olmayan numunelerde çevrim sayısı arttıkça kayma modülünün arttığını, doyun numunelerde ise tam tersi bir durum olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan rölatif sıkılık ve düşey konsolidasyon basıncı arttıkça numunelerin kayma modülünün arttığı, sönüm oranının ise azaldığı belirlenmiştir.

Çeşitli zeminlerin dinamik parametreleri hakkında tecrübe arttıkça araştırmacılar, farklı yöntemlerle dinamik özellikleri iyileştirilmiş zemin karışımlarının kayma modülü ve sönüm oranlarını belirlemeye yönelmişlerdir. Bu bağlamda, Pantazopoulos ve Atmatzidis (2012), düşük deformasyon mertebelerinde mikro incelikte enjeksiyon uygulanmış kum numunelerinin dinamik parametrelerine (G ve D) etki eden en önemli unsurun su/çimento oranının olduğunu ancak çimento boyutunun da ihmal edilemeyecek derecede etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Sadeghi ve Beighi (2014), fiber katkılı kil numunelerde yapmış oldukları çevrimsel üç eksenli deneyler ile farklı koşullar için optimum fiber içeriğini belirlemişlerdir. Aynı çalışmadan elde ettikleri verilerle yapmış oldukları doğrusal regresyon analizleri ile kayma modülünün değişimini fiber içerik, hücre basıncı, deviatörük

gerilme oranı ve yükleme tekrarına bağlı bir fonksiyon olarak belirlemişlerdir. Senetakis vd. (2012), farklı katkı oranlarında hazırlanmış geri dönüştürülmüş lastik ve granüler malzeme karışımlarının dinamik parametrelerini kuru durumda iken, yüksek genlikli rezonans kolon deneyi ile belirlemişlerdir. Sonuç olarak kauçuk içeriği arttıkça daha düşük kayma modülü ile daha yüksek sönüm oranlarını gözlemlemişlerdir. Bununla beraber hücre basıncı artışının tam tersi bir etkiye sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Kauçuk içeriği %35'ten daha fazla olduğu karışımlarda ise hücre basıncının numunelerin dinamik parametreleri üzerindeki etkisini kaybettiğini belirlemişlerdir.

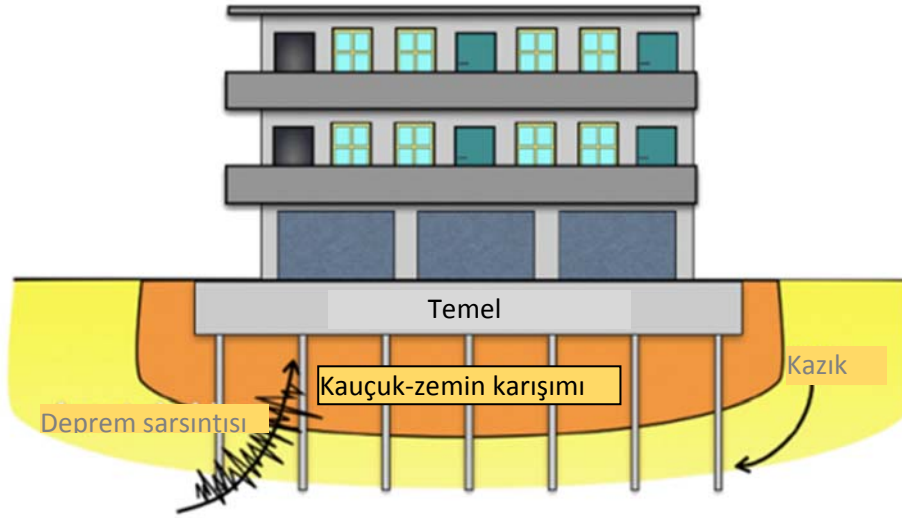
Nakhaei v.d. (2012) büyük ölçekli dinamik üç eksenli deney aleti ile (150 mm çaplı ve 300 mm yüksekliğindeki numuneleri test edebilen) farklı oranlarda öğütülmüş araç lastiği içeren granüler zeminler üzerinde bir dizi deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucunda hücre basıncından bağımsız olarak kauçuk ilavesinin kayma modülünü azalttığını belirlemişlerdir. Öte yandan düşük hücre basınçlarında (50 kPa ve 100 kPa) kauçuk ilavesi karışımın sönüm oranını azalttığını ancak yüksek hücre basınçlarda (200-300kPa) tam tersi bir durumun oluştuğunu belirlemişlerdir.

Ehsani v.d. (2015) farklı oranlarda ve ortalama dane boyutlarında öğütülmüş araç lastiği içeren kumlu zeminler için oldukça geniş bir şekil değiştirme aralığında ($4,7 \cdot 10^{-4}$ ile 2.7) torsiyonel rezonans kolon ve dinamik üç eksenli deneyler yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre kauçuk ilavesinin karışımın kayma modülünü azalttığını, sönüm oranını da artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca ortalama kauçuk boyutunun ortalama kum tanelerinin boyutuna oranı (D_{50r}/D_{50s}) azaldıkça karışımın daha çok kauçuk benzeri bir dinamik davranış sergilediğini ifade etmişlerdir.

Anvari v.d. (2017) farklı rölatif sıklıktaki ince taneli kumlara granüle kauçuk ilavesinin kayma mukavemeti üzerindeki etkisini incelemek için kapsamlı bir direkt kesme deney prosedürünü uygulamıştır. Çalışmanın sonucunda düşük normal gerilme altında orta sıkı kumlara granüle kauçuk ilavesinin içsel sürtünme açısını artırdığı, ancak yüksek rölatif sıklıktaki kumlarda tam tersi bir etki gösterdiğini belirlemişlerdir. Çalışmada, kauçuk ilavesinin karışımı daha sünek (akma şekil değiştirme mertebesini artırıp, başlangıç tanjant modülünü düşürdüğü) yaptığını belirlemişlerdir. Ayrıca kauçuk içeriği arttıkça maksimum dilatasyon açısının da azaldığı da gözlemlenmiştir.

SRM geomateryalinin sismik izolasyon mekanizması olarak kullanılması ilk olarak Tsang (2008) tarafından önerilmiştir. Önerilen yöntemde, yapı altına serilen kauçuk ve zemin karışımının meydana getirdiği tabaka izolasyon sisteminin esasını oluşturmaktadır.

Bu yöntemde, yapıda deprem kaynaklı yanal sarsıntı şiddetinin azaltılmasının yanı sıra düşey sarsıntı şiddetinin de azaltılması sistemin en büyük avantajıdır. Sistemin diğer avantajları ise, kauçuk malzeme yerine öğütülmüş araç lastiği kullanılarak hem maliyet düşürülmekte hem de her yıl doğaya bırakılan kullanılmış yüz binlerce araç lastiğinin geri dönüşümü sağlanmaktadır. Tsang tarafından önerilen bu sistem Geoteknik Sismik İzolasyon (GSİ) sistemi olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.19).



Şekil 1.19. Geoteknik Sismik İzolasyon (GSİ) mekanizması (Tsang, 2008)

Xiong ve Li (2013) bu yeni izolasyon sisteminin etkinliği üzerindeki en önemli parametrelerin üst yapının ağırlığı ve tabaka kalınlığı olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca karışımdaki hacimce kauçuk içeriğinin %35 olmasının yeterli bir izolasyon sağlayacağını, karışımda daha fazla kauçuk kullanılmasının ise üst yapıda stabilite bozukluklarına yol açabileceğini belirtmişlerdir. Tsang vd. (2012) yapmış oldukları nümerik çalışmada GSİ sistemi uygulanmış küçük ve orta yükseklikteki binalarda katlar arası dönmelerin ve yatay ivmelerin önemli bir oranda azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca GSİ sisteminin tabaka kalınlığının yapının sismik davranışında en önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir. İlerleyen dönemlerde sistemin etkinliği ise birçok araştırmacı tarafından vurgulanmış olup sistemin etkisi maksimum yer ivmesinin 0.2-0.25g mertebelerinde iken belirginleştiği ifade edilmiştir (Pitilakis vd., 2015; Bandyopadhyay vd., 2015; Brunet vd., 2016).

Nanda vd. 2018(b) SRM karışımları ile elde edilen GSİ sisteminin etkinliğini belirleyebilmek için sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizler yapmıştır. Analizlerde

parametre olarak üst yapının kat adedi, tabaka kalınlığı ve farklı deprem senaryoları esas alınmıştır. Sonuç olarak kat adedi ve SRM tabakasının kalınlığı arttıkça sistemin etkisinin daha da arttığı, tabaka kalınlığının 2m olması durumunda ise kat adedinin önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Yapıların sismik performansını iyileştirmek için yenilikçi çözümler ve yöntemlerin geliştirilmesi yoğun olarak çalışılan bir araştırma konusudur. Bu amaca yönelik olarak geliştirilen ve en yaygın yöntem; yapının sıkışabilir malzemelerle izole edilip doğal veya yapay titreşimlerin bu arayüzey malzemesi ile sönmelenmesidir. Yukarıda bahsedilen kum-öğütülmüş malzeme haricinde geliştirilen ikinci geomateryal geofomdur. Süper hafif malzeme de kabul edilen geofomlar'ın yoğunluğu normal bir zeminin %1 mertebelerine kadar düşebilmektedir (Horvath, 1994). Yol alttemel malzemesi, dolgu istinat duvarı, şev stabilitesi, temellerin taşıma gücünü artırmak gibi birçok geoteknik mühendisliği alanında başarıyla kullanılmaktadır (Padade ve Mandal, 2016; Beinbrech ve Hillmann, 1997; Duskov, 1997; Özer vd., 2014). Zaman içerisinde geofomların üretim teknikleri genişletilmiş olup genel manada geliştirilmiş (EPS) ve ekstrüde polistiren (XPS) ile poliüretanlar (PU) olmak üzere 3 ana gruba ayrılabilir (Kilar vd., 2014; Golpazir vd., 2016). Üretim yöntemleri ise hem blok şekilde prefabrike olarak üretilen veya önceden geliştirilmiş veya ekstüre edilmiş granül polistirenlerin granüler zeminlerle karıştırılması şeklinde olabilmektedir (Horvath, 1994; Horvath, 1997; Duskov, 1997; Liu vd., 2006). EPS geofom malzeme özellikle geoteknik mühendisliği projelerinde kendisine yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Bu duruma paralel olarak, araştırmacılar saf bu malzeme veya farklı oranlarda bu malzemedeki içeren granüler zemin karışımlarının mühendislik özelliklerini belirlemeye ve alternatif uygulama alanları bulmaya yönelmişlerdir.

Chenari v.d. (2016) 4 farklı oranda kürecik halinde geofom içeren kumlu zeminlerin çeşitli geoteknik özelliklerini kendilerinin geliştirdikleri büyük ölçekli konsolidasyon deney aleti ile belirlemişlerdir. Söz konusu deney düzeneği ile zeminlerin elastisite modülü, permeabilite katsayısı, sükünetteki toprak katsayısı, hacimsel sıkışma indisi gibi birçok özellik belirlenebilmektedir. Deneysel çalışmalar sonunda, artan geofom içeriğinin içsel sürtünme açısı, permeabilite, elastisite modülü değerlerinde azalmaya sebep olurken hacimsel sıkışma indisi ve sükünetteki toprak basıncı katsayılarında artırıcı yönde etki ettiği belirlenmiştir.

Bu çalışmanın akabinde El-Sherbiny v.d. (2018) kum zemine karışım ağırlığının en fazla %2,5'i olacak şekilde farklı oranlarda EPS kürecikleri ilave ederek elde ettikleri

karişimların dinamik kayma modülü ve sönüm oranlarını rezonans kolon ve dinamik üç eksenli deneylerle belirlemişlerdir. Şekil değiştirme mertebesinden bağımsız olarak EPS kürecik ilavesinin kayma modülünü azalttığını belirlemişlerdir. Sönüm oranı açısından sonuçlar incelendiğinde ise düşük şekil değiştirme mertebelerinde artan EPS kürecik oranının önemli bir etkisinin olmadığı, yüksek şekil değiştirmelerinde ise artırdığı görülmüştür.

Ossa ve Romo (2011) EPS geoköpük malzemenin dinamik özelliklerini belirlemek için rezonans kolon ve dinamik üç eksenli deney aletleriyle deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, EPS'nin yoğunluğu, uygulanan şekil değiştirmesinin genliği, dinamik yüklemenin çevrim sayısı ve hücre basıncı araştırma parametreleri olarak seçilmiştir. Deneysel bulgulara göre, EPS yoğunluğu ve hücre basıncının sönüm oranı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ancak bu parametrelerin değerlerinin artmasının dinamik kayma modülünü artırdığını belirlemişlerdir. Diğer yandan sabit hücre basıncında uygulanan dinamik yükün çevrim sayısındaki artışın malzemeyi güçsüzleştirip neredeyse akma sınırına ulaştığını, bir başka deyişle düşük yorulma direncine sahip olduğu şeklinde değerlendirmişlerdir.

Athanasopoulos-Zekkos v.d. (2012) akan (yielding) istinat duvarların arkasına yerleştirilen EPS'nin sıkışabilir özelliğinden ötürü sismik izolasyon etkisini belirleyebilmek için sonlu elemanlar yöntemiyle iki boyutlu modeller üzerinde nümerik analizler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre EPS malzemenin yerleştirilmesiyle duvara etkileyen sismik toprak basınçlarının önemli oranda azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca izolasyon etkisinin EPS tabakasının kalınlığı, duvarın yüksekliği, dinamik yüklemenin genliği ve frekansına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Anıl vd. (2015) boru hatlarında darbe yüklerinden oluşacak hasarlarının azaltılmasına yönelik olarak geofom ve kumdan oluşan titreşim sönümleyici tabakanın etkinliğini yaptıkları nümerik ve deneysel çalışma ile belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda 50 mm kalınlığında geoköpükle güçlendirilmiş kum tabakasının en iyi enerji absorbe kapasitesine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca deneylerde 30 mm kalınlığındaki geoköpük tabakasının da yeterli düzeyde koruma sağlayacağını ifade etmişlerdir.

Xu v.d. (2016) ölçekli bir şekilde hazırlanmış model dağ tüneli hattının sismik performansını üç boyutlu sarsma tablası ile belirlemişlerdir. Model deney düzeneği ankrajlarla güçlendirilmiş ve tünel hattını çevreleyen kaya tabakası, tünel hattı boyunca

hattın esnekliğini artırmak için çelik hatlarla yapılmış ağ ve bu iki tabaka arasına tünel hattı boyunca sismik izolasyon amaçlı yerleştirilen EPS geoköpükten oluşmaktadır. Deneysel sonuçlar, EPS geofom'un tünelin enkesitine etki eden sismik toprak basınçlarını %70-90 arasında azalttığını göstermiştir.

Golpazir v.d. (2016) saf poliüretan köpük ve sıvı poliüretanın farklı oranlarda kumlu zemine enjekte edilmesiyle hazırlanmış numunelerin dinamik özelliklerini dinamik üç eksenli deneyle belirlemişlerdir. Çalışmada; köpük içeriği, başlangıç deviatörük gerilme, statik hücre basıncı ve şekil değiştirmenin mertebesinin etkisi detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Sonuç olarak %5 veya daha fazla poliüretan köpük içeren numunelerin kayma modülünün köpük içeriğine bağlı olarak azaldığı sönüm oranlarının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca dinamik kayma modülünün başlangıç hücre basıncı ile doğrudan ilişkili olduğunu, granüler zeminlerin hücre basıncına bağlı dinamik davranışının tam aksine hücre basıncı arttıkça köpük içeren numunelerin sönüm oranının arttığını belirlemişlerdir.

Ekanayake vd. (2014) inşaat faaliyetlerinden kaynaklı yer titreşimlerinin sönümlenmesi için açılan hendeklerin boş olması ve bu hendeklerin beton, su ve geoköpük ile doldurulması ile elde edilen dalga bariyerlerinin etkinliğini 3 boyutlu sonlu elemanlar analizleriyle belirlemişlerdir. Modellemelerden elde edilen sonuçlara göre en etkili dolgu malzemesinin EPS geoköpük olduğu, su ve geoköpük ile dolu hendeklerde hendeğin derinliği arttıkça izolasyon etkisinin de arttığını ifade etmişlerdir.

Liyanapathirane ve Ekanayake (2016) kent içi inşaat faaliyetleri sırasında oluşacak suni titreşimlerin mevcut yapılara zarar vermesini engellemek üzere yapılan dalga bariyerlerinde dolgu malzemesi olarak EPS geofom malzemenin kullanılabilirliğini araştırmak için nümerik bir çalışma yapmıştır. Modellerde kazık çakımından oluşacak titreşimin yakınlarda bulunan mevcut bir kazıkta oluşturacağı eğilme momentlerindeki değişim esas alınmıştır. Öte yandan EPS nin davranışını modelleyebilmek için laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilere göre pekleşen plastik malzeme modeli kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen verilere göre kazık çakılan zeminin özelliği, EPS tabakasının geometrisi ve mevcut kazığın çakılan kazığa olan mesafesine bağlı olarak eğilme momentlerinde ciddi bir azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir.

GSİ uygulamalarında sıkıştırılabilir yalıtım genellikle yapı ile onu çevreleyen doğal zemin arasına yerleştirilmektedir. Bu durumun en önemli nedeni yatay veya düşey doğrultuda meydana gelebilecek yer hareketlerini karşılamaya diğer yapısal sistemlerden

daha hazır olmalarıdır. Ancak yapılardan beklenen düşey ve yatay stabilite değerleri SRM veya Geoköpük gibi malzemelerin sönüm oranlarının oldukça yüksek olmasına rağmen düşük rijitliklerinden ötürü çeşitli uygulamalarda (örneğin alternatif bir sismik taban izolasyon malzemesi olarak) kullanılabilirliklerini sınırlamaktadır.

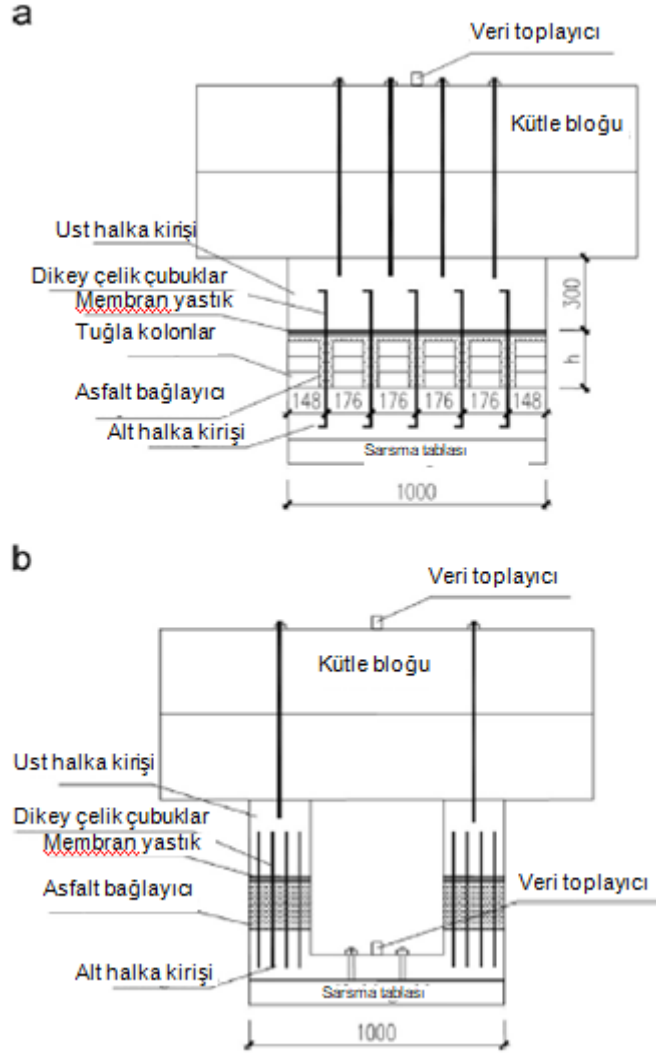
Bilindiği üzere bitümlü bağlayıcılar farklı tip ve özelliklerde karayolu mühendisliğinde esnek üst yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bitümün viskoelastoplastik bir davranışta olması yol kaplamasına belirli bir mertebede esneklik katmakta, ayrıca granüler zeminlerin geçirimsizliğini sağladığı için yüzey sularının temel ve alttemele ulaşarak yola zarar vermesine engel olmaktadır.

Bitümlerin öne çıkan bu özelliklerinden ötürü bitümlü sıcak karışımlar (asfalt betonu), 1950'li yıllardan sonra dolgu baraj gövdesinde sızdırmazlığı sağlayıcı geçirimsizlik perdesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Öte yandan bu tip barajların, merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlara göre özellikle soğuk bölgelerde inşasının daha kolay olduğu belirtilmiştir (Hoeg vd., 2007; ICOLD, 1992).

Asfalt betonlu dolgu barajların sismik performansı hakkında yapılan nümerik çalışmalar incelendiğinde deprem sonrası plastik deformasyonların oldukça az olduğu ve bu barajların sismik performansının oldukça iyi olduğu ifade edilmiştir (Feizi-Khankandi, 2009; Ghanooni ve Mahin-roosta, 2002; Valstad vd., 1991).

Bu sonuçlardan ötürü asfalt betonunun dinamik davranışı üzerine araştırmalar yoğunlaşmış olup, genel olarak bitümlü bağlayıcıların granüler zeminlerin hem kayma modüllerini hem de sönüm oranlarını artırdığı, oldukça yüksek sayıda çevrimsel yüklemekten sonra yapılan monotonik yüklemelerde ise asfaltın etkinliğini koruduğu görülmüştür (Feizi-Khankandi vd., 2008; Wang ve Hoeg, 2011; Hoeg vd., 2007). Asfaltın titreşim sönümleyici bir geomateryal olarak kullanılabilirliği hakkında Sako vd. (2007) tarafından yapılan çalışmalara göre asfaltın şekil değiştirme mertebelerinin elastik bölgede olmasına rağmen sönüm oranının %18-%24 arasında olduğu ifade edilmiştir. Aynı çalışma kapsamında arazide açtıkları bir hendekte dolgu malzemesi olarak kullanılan saf bitüm ve bitüm emülsiyonlarından hazırlanan asfalt betonunun uygulanan titreşimin frekansına bağlı olarak önemli bir titreşim sönümleyici olduğu görülmüştür (Sako vd., 2007). Tüm bu gelişmeler üzerine Yao vd. (2014) Şekil 1.20'de görüldüğü gibi çelik ve asfalttan oluşan kompozit bir sismik izolatörü tasarlamış ve sistemin performansını sarsma tablası deneyleri ile belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda uygulanan depremin maksimum yer ivmesi

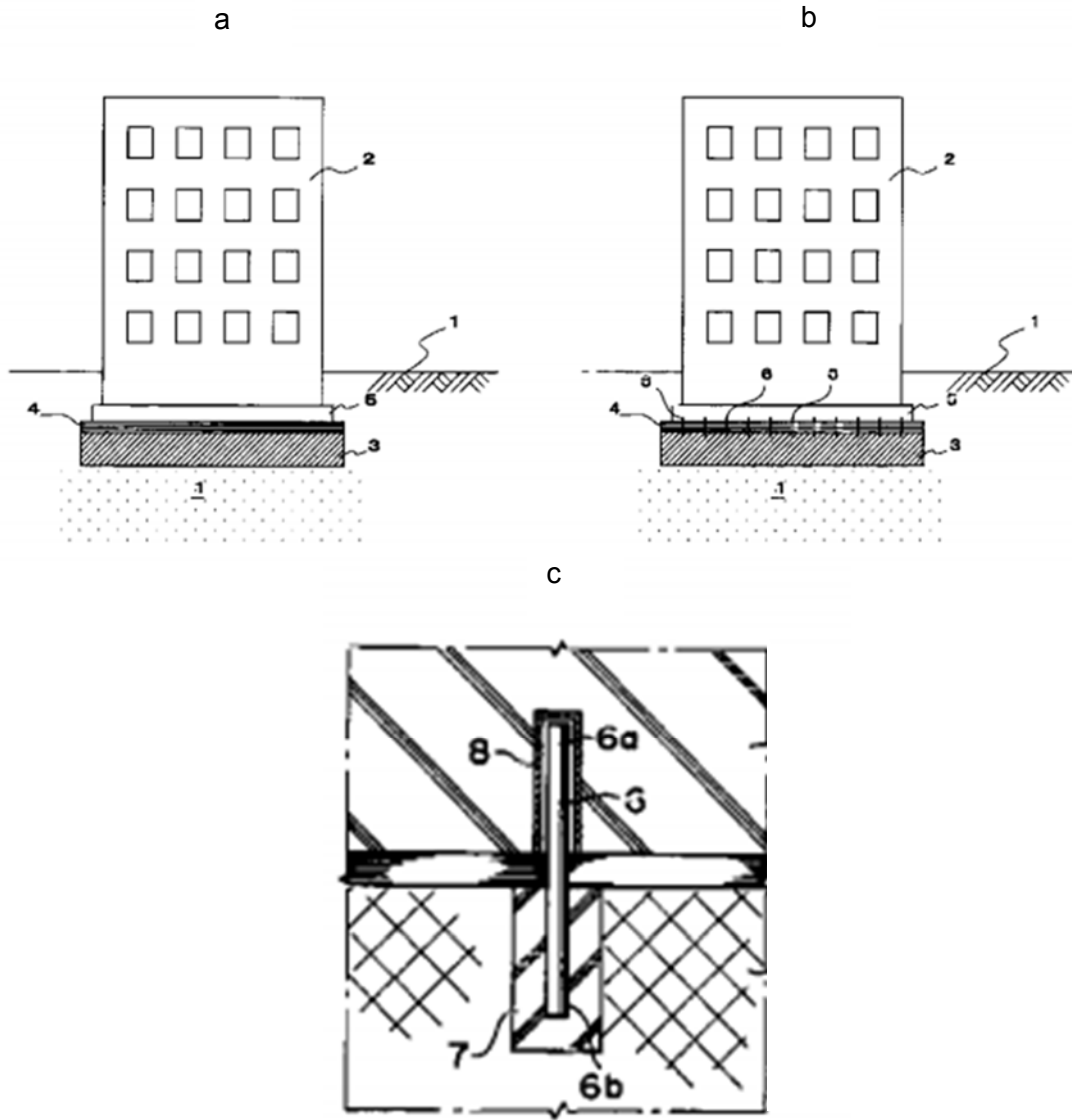
arttıkça, sistemin daha etkili olduğunu belirlemişlerdir. Düşük maksimum yer ivmesine ait deneylerde ise izolasyonun sadece asfalt tarafından sağlandığını belirlenmiştir.



Şekil 1.20. Yao vd. (2014) tarafından tasarlanan asfalt-çelik kompozit izolatör

Tüm bu deneysel ve nümerik araştırmalar incelendiğinde ‘Bitüm esaslı ve dinamik özellikleri iyileştirilmiş bir geomateryal doğal veya yapay titreşimleri sönmüleyebilecek alternatif bir malzeme olabilir mi?’ ifadesi bu tezin araştırma sorusunu oluşturmaktadır. Buna yönelik olarak çeşitli araştırmacılar patentler de almışlardır. Örneğin Toshihiro ve Norio (1998) üst yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerinin azaltılması için temelin altına kum ve kauçuktan oluşan granül karışıma bağlayıcı olarak asfalt ilave edilmiş bir tabakanın sismik izolasyon tabakası olacağına yönelik patent almışlardır.

Fumiya ve Noriyuki (2001) düşük maliyetli sismik izolasyonlu temel sistemleri için iki farklı çözüm önerisinin patentini almıştır (Şekil 1.21). Şekil 1.21a'da görüleceği üzere üst yapı temeli ile iyileştirilmiş zemin tabakası (derin karıştırma veya enjeksiyon uygulanmış) arasına izolasyon tabakası konulmuştur. İzolasyon tabakasının ise yüksek viskoziteye sahip asfalt-kum karışımından olacağını ifade etmişlerdir. Şekil 1.21b'de ise ilave olarak temel ile iyileştirilmiş zemin birbirine metalik düşey bir elemanla bağlanmıştır (buradaki metalin kurşun seçilmesinin izolasyona ekstra bir katkı sağlayacağını da vurgulamışlardır). Bu bağlantıya dair detay çizimi Şekil 1.21 (c)'da görülmektedir.



Şekil 1.21. Fumiya ve Noriyuki (2001) tarafından önerilen temel sistemleri (a) Saf sönümleyici tabakalı (b) Metal çubuklu sönümleyici tabakalı (c) Metalik çubuklu izolatörün detayı

1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

20. yüzyılın ortalarından itibaren yapıların sismik performansını artırmak için oldukça farklı sismik izolasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlere ait detaylı bilgi genel bilgiler kısmında verilmiştir. Geliştirilen bu yöntemlerin sahip oldukları bazı olumsuzluklar ve özellikle yüksek maliyetleri araştırmacıları geoteknik sismik izolasyon (GSI) adı verilen yeni bir yönetime yönlendirmiştir. Bu yöntemde sismik etkinin, yapıda atalet etkileşimi oluşturmadan sönümleyici bir tabaka ile hafifletilmesi amaçlanmaktadır. Ancak sönümleyici tabaka olarak granüler zemin-öğütülmüş araç lastiği kullanılması ve bu karışımın sahip olduğu düşük rijitlik üst yapıda stabilite bozukluğu oluşturacağı endişesini ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmanın amacı deprem dalgalarını üst yapıya tesir etmeden sönümleyecek aynı zamanda sahip olduğu rijitlik ile üst yapıda stabilite problemi doğurmayacak sönümleyici bir geomateryalin geliştirilmesi ve uygulamaya yönelik performansının incelenmesidir. Bu amaca yönelik olarak, karayolu mühendisliğinde uzun yıllardır esnek kaplama malzemesi üretiminde kullanılan farklı bitümlü bağlayıcılarla saf kum veya kum-öğütülmüş araç lastikleri ile hazırlanan numunelerin çevrimsel yük altındaki performansları incelenmiştir. Çalışmanın diğer aşamasında söz konusu sönümleyici bitümlü geomateryalin izolatör olarak kullandığı yapının sismik performansı sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu modellerde farklı deprem ivmeleri kayıtları için belirlenmiştir. 3. bölümde deneysel ve nümerik modellerden elde edilen bulgular irdelenmiş ve 4. Bölümde sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Doktora çalışması kapsamında yapılan çalışmalar, nümerik ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmıştır.

Deneysel çalışmalar bölümünde, kullanılan materyallerin (bitüm, kum, kauçuk) geoteknik özellikleri, numunelerin hazırlanması ve isimlendirilmesi, numuneler üzerinde yapılan deneyler ve bu deneylere ait standartlar verilmiştir.

Nümerik çalışmalar kapsamında ise ANSYS (14.5) sonlu elemanlar programında üç boyutlu yapı modellerinin oluşturulması deneysel bulgular ışığında bu model yapı altına optimum bitüm içerikli geomateryalin farklı boyutlarda yapının altına yerleştirilmesi ve son olarak yapının sismik performansını belirlemek amacıyla göz önünde bulundurulmuş deprem kayıtlarından bahsedilmiştir.

2.1. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar kapsamında yapılan tüm deneyler, ilgili ASTM standardına göre yapılmıştır. Tablo 2.1’de yapılan deneyler ve ilgili ASTM standartları verilmiştir.

Tablo 2.1. Deneylerde referans alınan ASTM standartları

Deney Adı	Standart
Özgül ağırlık deneyi	ASTM D 854 (2010)
Elek analizi	ASTM D 422 (2007)
Standart Proktor deneyi	ASTM D 698 (2007)
Maksimum kuru yoğunluk deneyi	ASTM D4253-16 (2016)
Minimum kuru yoğunluk deneyi	ASTM D4254-00 (2000)
Konsolidasyonsuz-Drenajsız üç eksenli deney (UU)	ASTM D 4767
Yük kontrollü çevrimsel üç eksenli deney	ASTM D5311 / D5311M-13 (2013)
Yük kontrollü çevrimsel direkt kesme deney	ASTM D6528, ASTM D2435/T216

2.2. Materyaller

2.2.1. Granüler Materyaller

Tez kapsamında incelenen sönümleyici esaslı geomateryalin bileşenleri iki ana kategoriye ayrılmıştır. Bu bağlamda kum ve öğütülmüş araç lastiği karışımın granüler kısmını, bitüm ise bağlayıcı kısmını oluşturmaktadır.

Doktora çalışmasında kullanılmak üzere Şekil 2.1’de görülen kumdan, Trabzon Merkez ilçesine bağlı ocaktan kafi miktarda alınarak Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik ve Ulaştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Getirilen malzeme 200 No’lu elek üzerinde yıkanıp etüvde kurutulmuş sonrasında 4 No’lu elekten geçirilerek standart bir yıkanmış temiz kum karışımı elde edilmiştir.

Kumun geoteknik özellikleri zemin mekaniği deneyleri yapılarak Tablo 2.2’de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Kumun geoteknik özellikleri

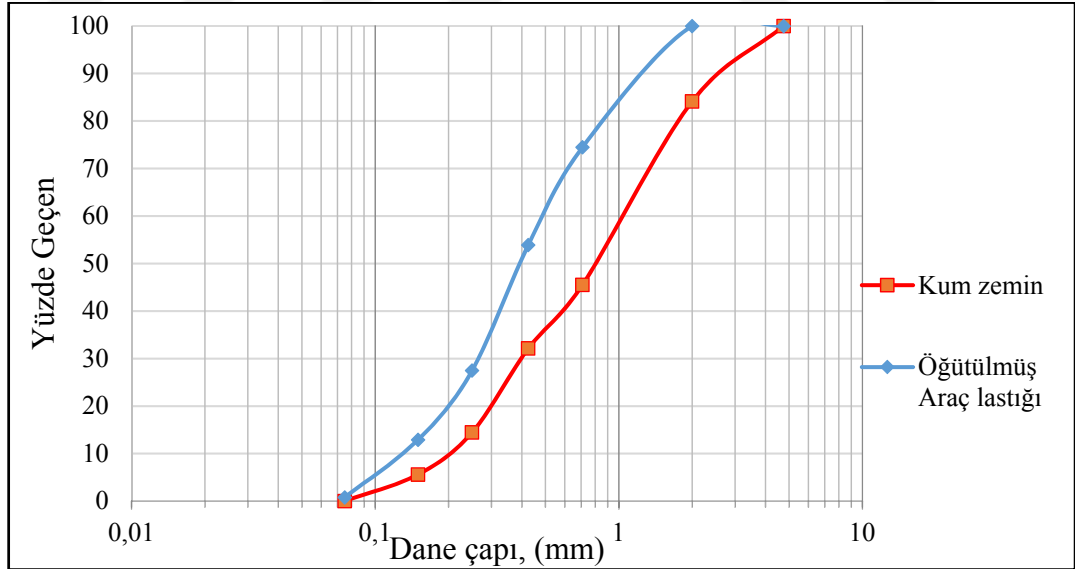
Mühendislik Parametreleri	
Renk	Sarımtırak
Özgül ağırlık, G_s	2.59
Maksimum kuru yoğunluk, $\rho_{k,max}$ (Mg/m^3)	1.75
Minimum kuru yoğunluk, $\rho_{k,min}$ (Mg/m^3)	1.25
Üniformluluk Katsayısı (C_u)	5.14
Derecelenme Katsayısı (C_c)	0.723
Ortalama dane çapı (D_{50}) (mm)	0.8
Zemin Sınıfı (USCS)	SP
Konsolidasyonsuz-Drenajsız üç eksenli deney (UU) (%65 rölatif sıklıkta hazırlanan numuneler için)	-
Kohezyon (c) (kPa)	7.69
İçsel sürtünme açısı (ϕ) ($^\circ$)	41.7

Deneysel çalışmalarda sönümleme kapasitesini artırmak için öğütülmüş araç lastiği kullanılmıştır. Öğütülmüş araç lastiği, Samsun Organize Sanayisinde bulunan Emek Lastik firmasından temin edilmiştir. Numunelerin granüler kısmını oluşturan kum ve öğütülmüş araç lastiği Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Deneilerde kullanılan öğütülmüş araç lastiği ve kum

Kum ve öğütülmüş araç lastiğinin tane boyutu dağılımı (granülometri) eğrisini belirlemek için elek analizi deneyleri yapılmıştır. Her iki granüler malzemeye ait granülometri eğrileri Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Kum ve öğütülmüş araç lastiğine ait granülometri eğrileri

2.2.2. Bağlayıcı Materyaller

Bitüm, “doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok defa bunların katı, yarı katı, sıvı ve gaz olabilen, metal-dışı türevleri ile bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbon disülfürde tamamen çözünen madde” olarak tanımlanır (Orhan, 2012). Bitümlü malzemelerin sertlik ve kıvam özelliklerini belirlemek için penetrasyon deneyi yapılmaktadır. Bu deneyde standart bir iğnenin belirli bir yük (100g) altında belirli bir süre (5sn) bitümlü bağlayıcının içine dikey olarak battığı mesafe 0,1mm cinsinden bulunur. İğnenin penetrasyonu yükseldikçe daha bitüm yumuşar.

Tez çalışmaları kapsamında 50/70, 70/100, 100/150 ve 160/220 olmak üzere 4 farklı penetrasyona sahip bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitümler Türkiye Petrol Rafineleri Anonim Şirketinin (TÜPRAŞ) İzmit rafinerisinden temin edilmiştir. Kullanılan bitümlerin özellikleri, üretici firma tarafından temin edilmiş olup ilgili deney standartlarıyla birlikte Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.3. Deneilerde kullanılan bitümlerin karakteristik özellikleri (URL1, 2, 3 ve 4)

Bitüm Penetrasyonu (x0.1 mm) (TS EN 1426)	Yumuşama Noktası (TS EN 1427)	Sertleşmeye karşı direnç			Parlama Noktası (°C) (TS EN ISO 2592)	Çözünürlük (% ağırlık) (TS EN 12592)	Yumuşama noktası yükselmesi (°C) (TS EN 1427)
		Kütle değişimi (ısıtmadaki kayıp) (%) (TS EN 12607-1 veya 2)	Kalıcı penetrasyon (%) (TS EN 1426)	Sertleşmeden sonra yumuşama noktası (°C) (TS EN 1427)			
50/70	46-54	0.5	50	48	230	99	9
70/100	43-51	0.8	46	45	230	99	9
100/150	39-47	0.8	43	41	230	99	10
160/220	35-43	1.0	37	37	220	99	11

2.2.3. Numunelerin Hazırlanması

Tez kapsamında bitüm ve öğütülmüş araç lastiğinin kum zemine ilavesi ile elde edilen karışımların dinamik özellikleri, iki farklı dinamik yükleme yapabilen deney aleti (dinamik üç eksenli ve çevrimsel basit kesme) ile belirlenmiştir. Bu nedenle her bir deney düzeneği için farklı boyutlarda numuneler hazırlanmıştır.

2.2.3.1. Dinamik Üç eksenli Deney Numunelerinin Hazırlanması

Dinamik üç eksenli deneyler kapsamında bitüm penetrasyonu ve içeriğinin etkisinin belirlenmesi amacıyla kuma, 4 farklı penetrasyona sahip bitüm (50/70, 70/100, 100/150 ve 160/220) 3 farklı içerikte (kum kuru ağırlığının %6, 8 ve %10'u) karıştırılarak bitümlü kum numuneleri hazırlanmıştır. İkinci aşamada ise bitüm ve kauçuk içeren numuneler hazırlanmıştır. Her iki aşamada katkı içerikleri ve türlerine göre üretilen numuneler ve isimlendirmeler Tablo 2.4 ve 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Bitüm-kum karışımları için kullanılan notasyon

Bitüm Türü	Bitüm Oranı			Notasyon
	%6	%8	%10	
50/70	X			506
50/70		X		508
50/70			X	510
70/100	X			706
70/100		X		708
70/100			X	710
100/150	X			1506
100/150		X		1508
100/150			X	1510
160/220	X			1606
160/220		X		1608
160/220			X	1610

Tablo 2.5. Kum-Kauçuk-Bitüm karışımları için kullanılan notasyon

Bitüm türü	Bitüm İçeriği	Kauçuk Oranı	Notasyon
160/220	%10	1	CR1
160/220	%10	2	CR2
160/220	%10	3	CR3
160/220	%10	4	CR4

Bitümlü kum numuneleri hazırlanması için önceden belirlenmiş miktardaki kum 160°C'de etüvde 6 saat, bitüm ve karışımın sıkıştırılacağı çelik kalıplar ise 120°C'de 1,5 saat bekletilmiştir. Bitüm-kum karışımı yaklaşık olarak 2 dk bitümlü karışım mikseri ile karıştırılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Karışımları hazırlamak için kullanılan bitüm mikseri

Sonrasında 140°C'deki karışım, 3 tabaka halinde Şekil 2.4'te görüldüğü gibi 50 mm çapında çelik kalıplara 3 tabaka halinde standart Proctor sıkıştırma enerjisi uygulanarak sıkıştırılmıştır. Çalışmanın amacı yüksek sönümlenme kapasitesine sahip bitümlü geomateryal üretmek olduğu için ve sıkıştırma enerjisi arttıkça numunelerin rijitliğindeki artışa paralel olarak sönüm oranı düşeceğinden sıkıştırma enerjisi olarak standart Proctor enerjisi ile sıkıştırılmıştır. Numunelerin kalıplardan rahat çıkarılabilmesi için karışım

kalıplara konulmadan önce ince makine yağı ile kalıpların iç yüzeyleri yağlanmıştır. Standart Proktor enerjisini uygulayabilecek vuruş sayısını belirlemek için, aynı karışımın standart Proktor deney prosedürü izlenerek sıkıştırılmış birim ağırlık belirlendikten sonra aynı birim ağırlık 50 mm'lik kalıplara Şekil 2.4' te gösterilen aparat ve standart Proktor tokmağı ile yakalanmaya çalışılmıştır. Sonuçta 50 mm'lik kalıplarda her bir tabakaya 7 kez Proktor tokmağı ile vuruşun yaklaşık olarak Proktor sıklığını verdiği tespit edilmiştir. Öğütülmüş araç lastiği içeren numuneler hazırlanırken de benzer bir süreç izlenmiştir. Öğütülmüş araç lastiği, kum ağırlığının %1, 2, 3 ve 4 oranında etüvde ısıtılmış kuma eklenip iyice karıştırıldıktan sonra 160/200 penetrasyonu bitümden kum ağırlığının %10'u eklenerek kauçuklu numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 2.4. Dinamik üç eksenli deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan çelik kalıp ve sıkıştırma elemanı

Çelik kalıplara yerleştirilen numuneler oda sıcaklığında 6 saat bekletilip iyice soğuduktan sonra hidrolik kriko ile kalıptan çıkarılmıştır (Şekil 2.5). Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra alt ve üst yüzeyleri, yükleme esnasında eksantrisite oluşturmayacak şekilde düzgün bir şekilde kesilerek 100 mm boyutuna getirilmiştir.



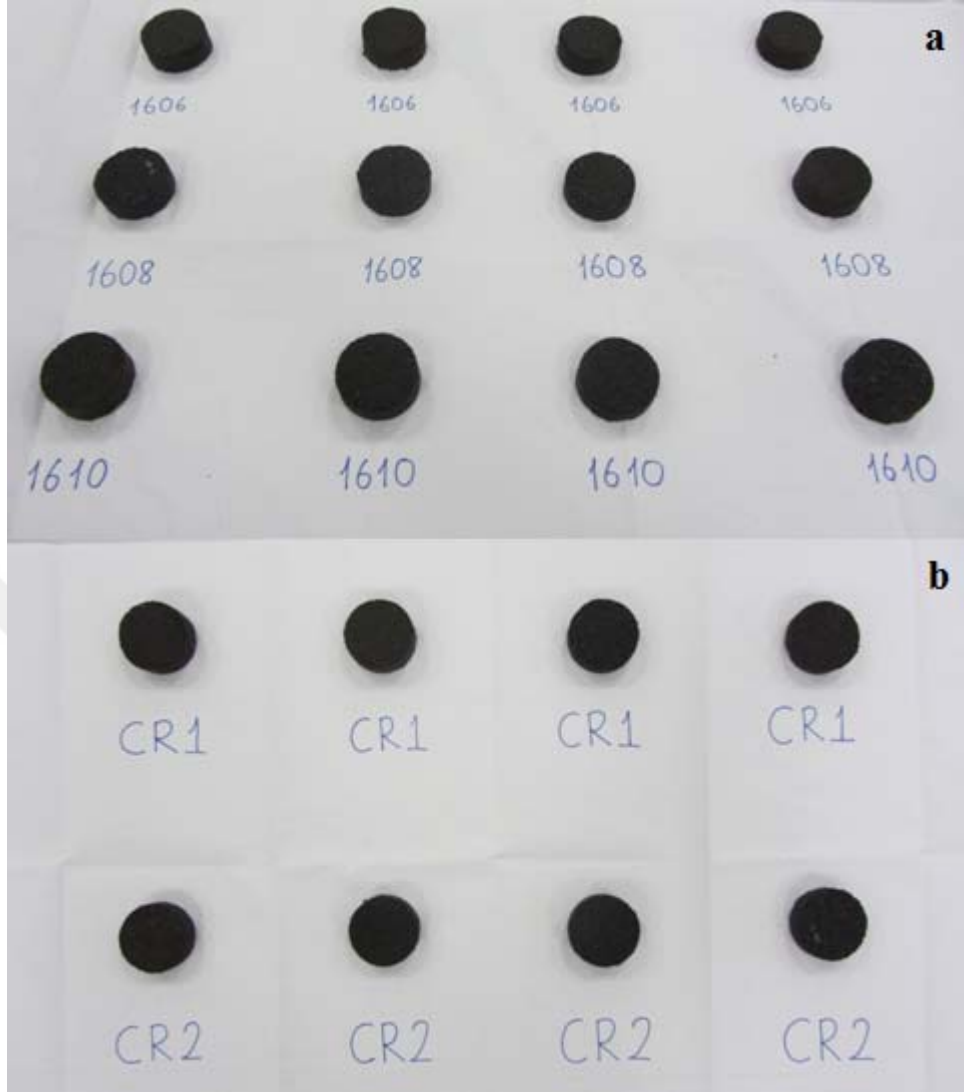
Şekil 2.5. Kalıptan çıkarılmış bitümlü numuneler

2.2.3.2. Çevrimsel Basit Kesme Deneyi Numunelerinin Hazırlanması

Çevrimsel basit kesme deney numuneleri hazırlanırken Şekil 2.6’da görülen 63,5 mm çapında ve 35 mm yüksekliğindeki kalıp ve sıkıştırma elemanı kullanılmıştır. Karışım hazırlanırken genel olarak dinamik üç eksenli numunelerindeki işlem takip edilmiştir. Ancak karışım kalıplara tek tabaka halinde yerleştirilmiş ve standart Proktor tokmağı ile 7 vuruş yapılmıştır. Çevrimsel basit kesme deneylerinde bağlayıcı malzeme olarak yalnız 160/220 penetrasyonlu bitüm kullanılmış olup bu numunelerin isimlendirilmelerinde Tablo 2.4 ve 2.5 esas alınmıştır. Şekil 2.7’de çevrimsel basit kesme deneyi için hazırlanan bazı numunelere ait görseller verilmiştir.



Şekil 2.6. Çevrimsel basit kesme numunesi ve kalıbı



Şekil 2.7. Çevrimsel basit kesme deneyi numuneleri: a) Bitüm-karışımları
b) Bitüm- öğütülmüş araç lastiği-kum karışımları

2.2.4. Dinamik Üç Eksenli Deneylerin Yapılması

Hazırlanan 50 mm çaplı numunelerle, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma-Geliştirme Daire Başkanlığı Zemin Mekaniği Laboratuvarı bünyesinde bulunan ve Şekil 2.8’de gösterilen Geocomp marka gerilme kontrollü cihazla dinamik üç eksenli deneyler yapılmıştır.



Şekil 2.8. Gerilme kontrollü Geocomp marka dinamik üç eksenli deney aleti

Deney düzeneğini oluşturan temel unsurlar:

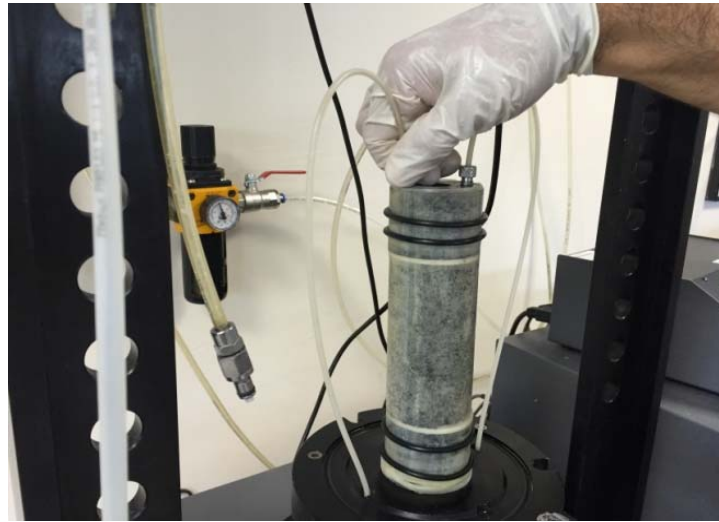
- Fiberglastan üretilmiş hücre,
- Yükleme çerçevesi,
- Statik yükleme yapmak için kullanılan bilgisayar kontrollü alt baskı levhası,
- Geri ve hücre basıncını kontrol eden bilgisayar kontrollü iki adet akış pompası,
- 10 Hz frekansa ve maksimum 4.51 kN sinüsoidal yük uygulayabilen servo kontrollü yüksek performanslı doğrusal aktüatör,
- Eksenel deformasyonları ölçmek için 10^{-4} mm hassasiyette ölçüm yapabilen LVDT
- Deneylerden elde edilen verileri işlemek için kullanılan veri toplama ünitesi
- Deney sonuçlarını düzenleyip rapor etmek için kullanılan cyclic5n programı ve bilgisayar şeklinde sıralanabilir.

Deneylere başlamadan önce numuneler Şekil 2.9’da görüldüğü gibi 6 saat sabit 20°C sıcaklıkta su banyosunda bekletilmiştir. Böylece numunelerin hep aynı sıcaklıkta deneye tabi tutulması için yaklaşık bir standart tutturulmaya çalışılmıştır.



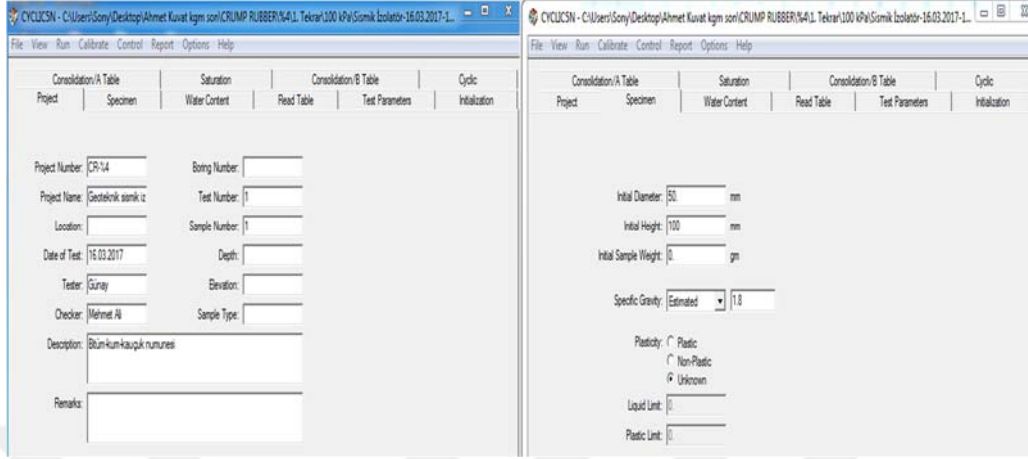
Şekil 2.9. Su banyosunda 20°C’de bekletilen numuneler

6 saat su banyosunda bekletilen numunelerin dışına membran geçirildikten sonra Şekil 2.10’da görüldüğü gibi alt ve üst tablada çift sıra kauçuk bilezik kullanılarak cihaza yerleştirilmiş sonrasında hücre havasız su ile doldurulmuştur.



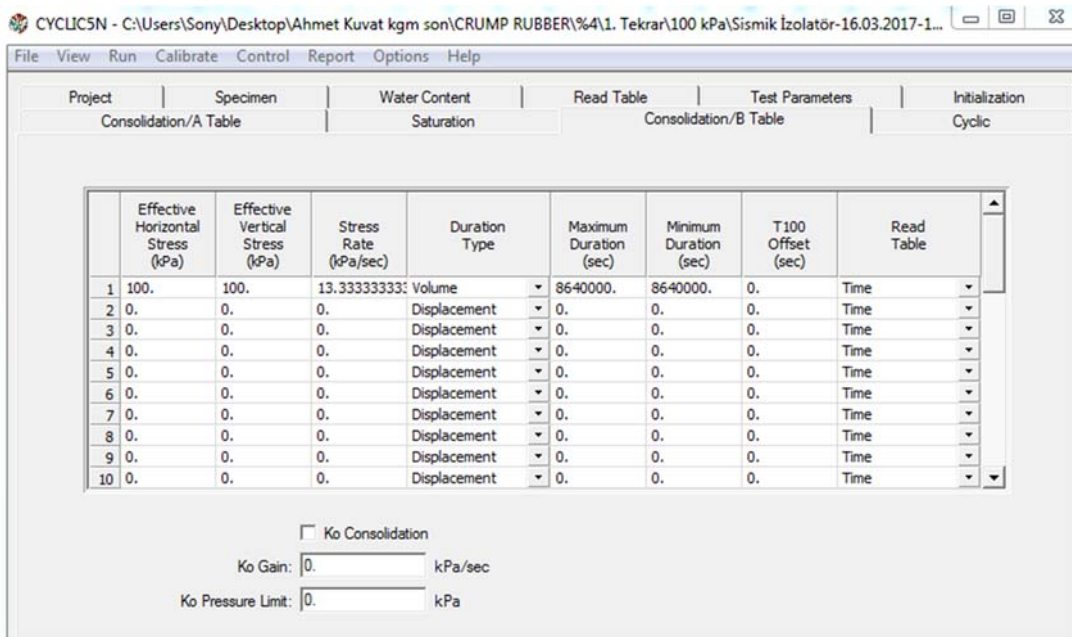
Şekil 2.10. Numunelerin dinamik üç eksenli deney aletine yerleştirilmesi

Hücre dolduktan sonra CYCLIC5N yazılımı açılarak öncelikle ilgili numuneye ait künye bilgileri ile numunenin boyutları girilmiştir (Şekil 2.11a ve b).



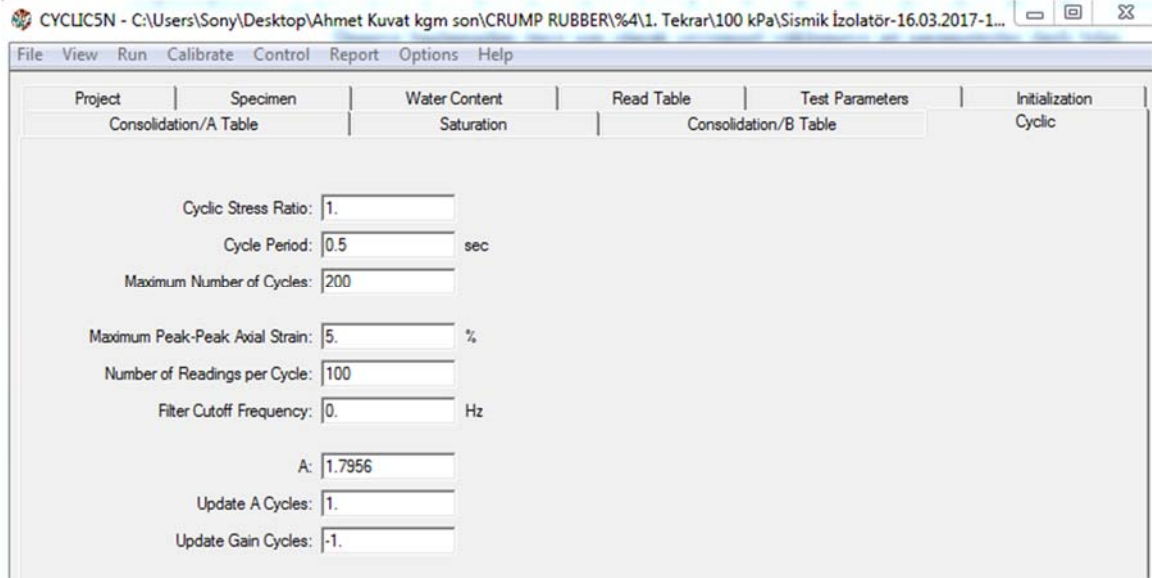
Şekil 2.11. Dinamik üç eksenli cihazın kontrolü için kullanılan cyclic5n programı (a) Numunenin künye bilgilerinin girildiği bilgi penceresi, (b) Numune boyutlarının girildiği bilgi penceresi

Sonrasında uygulanacak efektif hücre basıncı (hücre basıncı-numune basıncı) ve efektif düşey gerilmeleri Şekil 2.12’de görüldüğü gibi girilmiştir. Deneylerde efektif hücre basıncı ve düşey basınç eşit girilerek numunenin izotropik yükleme koşullarında çevrimsel yüklemeye maruz bırakılması sağlanmıştır.



Şekil 2.12. Efektif hücre ve düşey gerilmelerin girildiği bilgi penceresi

Deneye başlamadan önce son olarak çevrimsel yüklemeye ait parametreler ilgili bilgi penceresine girilmiştir (Şekil 2.13). Bu bilgi penceresinde çevrimsel gerilme oranı (CSR), çevrim periyodu (sn) uygulanacak çevrim sayısı, maksimum aksel şekil değiştirme ve her bir çevrimde kaç kez data okunacağına dair bilgiler girilmiştir.

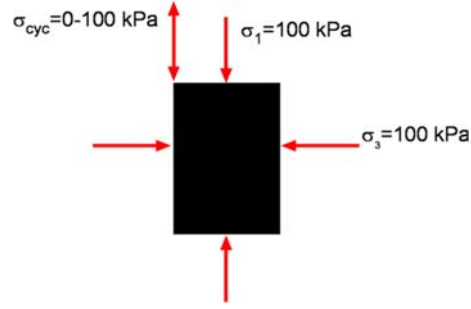


Şek 2.13. Çevrimsel yüklemeye ait girdi parametrelerinin girildiği bilgi penceresi

Eşitlik 2.1’de görüldüğü gibi çevrimsel olarak uygulanacak aksel deviatörük gerilmenin hücre basıncına oranı, CSR olarak tanımlanmıştır. Örneğin, 100 kPa hücre basıncı ve 1.0 CSR için numuneye uygulanan tipik statik ve çevrimsel gerilmeler Şekil 2.14’te görülmektedir.

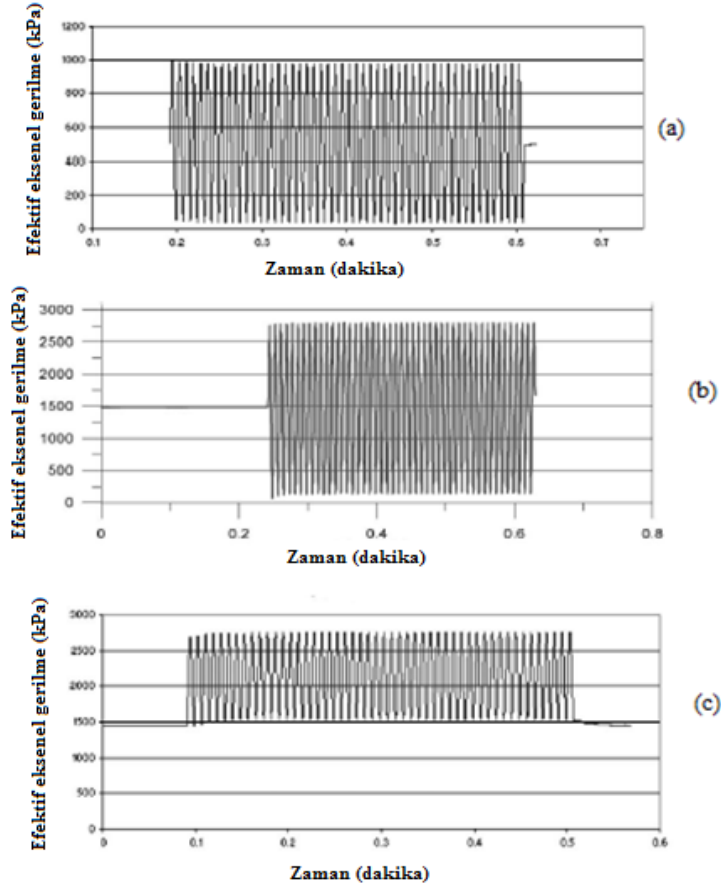
$$CSR = \frac{\sigma_n - \sigma_3}{\sigma_3} \quad (2.1)$$

$$\sigma_n = \sigma_1 + \sigma_{cyc} \quad (2.2)$$



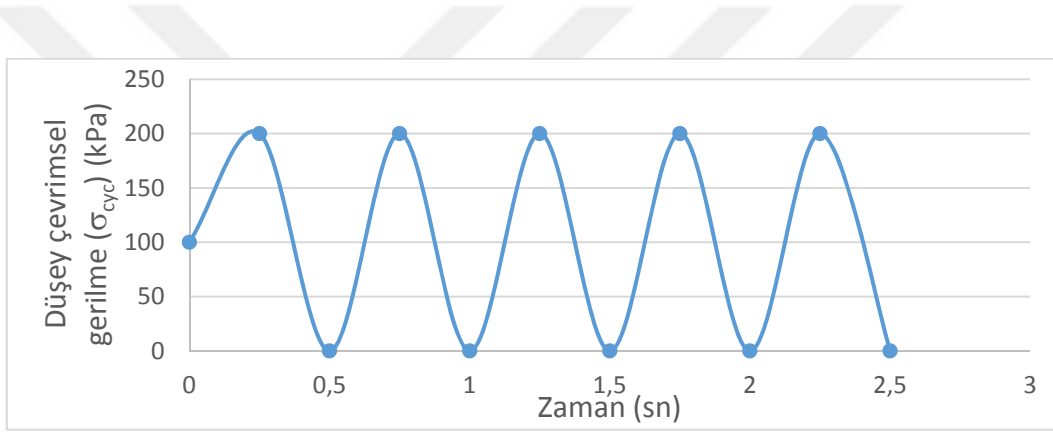
Şekil 2.14. Bitümlü numunelere dinamik üç eksenli deneyde 1.0 CSR için uygulanan statik ve dinamik gerilmeler

Dinamik üç eksenli deneylerde numuneye çekme gerilmesi uygulanmadığı için numunelere uygulanacak eksenel çevrimsel gerilmeler farklı tipte sinüsoidal dalgalar şeklinde uygulanmaktadır. Literatür incelendiğinde Feizi-Khankandi vd. (2008) bu yükleme tiplerini A, B ve C tipi olmak üzere üç ana kategoriye ayırmıştır (Şekil 2.15a, b, c).

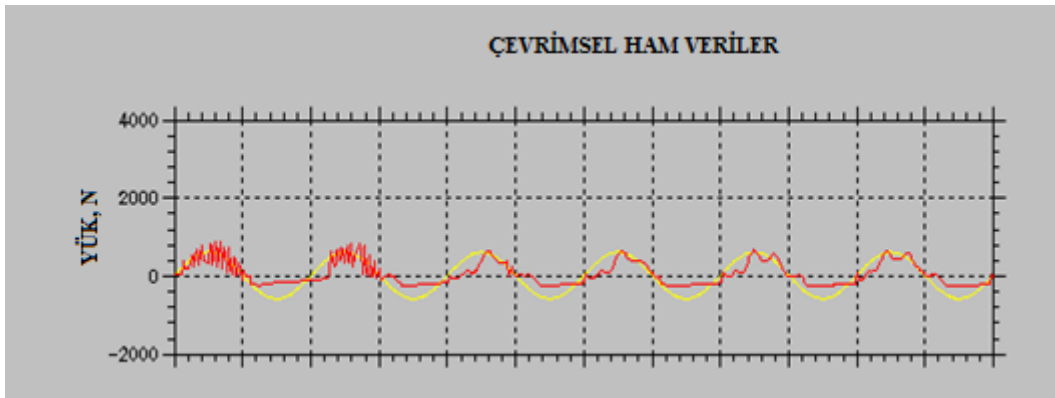


Şekil 2.15. Feizi-Khankandi (2008) tarafından önerilen yükleme tipleri

Şekil 2.15a incelendiğinde 500 kPa hücre basıncı uygulanmış ve izotropik konsolidasyon altında numunede efektif eksenel gerilme 500 kPa'dan başlayıp 1000 kPa'a kadar yükselmiş sonrasında yaklaşık olarak 0 kPa'ya düşmüştür. Dolayısıyla toplamda uygulanan çevrimsel yük ± 500 kPa'dır. Bu yükleme yöntemi A-tipi yükleme olarak isimlendirilmiştir. Tez çalışmasında yapılan üç eksenli deneylerde de bu yükleme yöntemi esas alınmıştır. Şekil 2.16'da ise numuneye uygulanan 0.5s periyotlu A-tipi yüklemenin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 2.17'de ise cyclic5n programından alınan ve 100 kPa hücre basıncında 1.0 CSR için deney esnasında numuneye uygulanan çevrimsel eksenel yük görülmektedir (sarı çizgi ideal sinüsoidal yüklemeyi, kırmızı çizgi uygulanan yüklemeyi göstermektedir).



Şekil 2.16. Numuneye uygulanan eksenel çevrimsel gerilme



Şekil 2.17. cyclic5n yazılımından alınan çevrim sayısına bağlı eksenel yük

Deney tamamlandıktan sonra CYCLIC5N programından her bir çevrim için eksenel deviatörük gerilme ($\sigma_n - \sigma_3$) ve eksenel şekil değiştirme değerleri elde edilmektedir. 1610

numunesi ile 0.5 CSR yükleme genliği ve 100 kPa hücre basıncında 200 çevrimine ait histeresis eğrisi Ek-1'de verilmiştir. Dinamik üç eksenli deneylerde numunenin kayma modülü hesaplanırken histeresis eğrisinin üst kısmı (yükleme durumu) dikkate alınmaktadır. Kayma modülünü hesaplayabilmek için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$\tau = \frac{\sigma_n - \sigma_3}{2} \quad (2.2)$$

$$E = \frac{\tau}{2\varepsilon_a} \quad (2.3)$$

$$\gamma = (1 + \nu)\varepsilon_a \quad (2.4)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.5)$$

Burada τ kayma gerilmesini, σ_n eksenel toplam gerilmeyi (statik+dinamik), σ_3 hücre basıncını, ε_a eksenel şekil değiştirmeyi, ν Poisson oranını, E dinamik elastisite modülünü ve G ise dinamik kayma modülüdür.

2.2.5. Çevrimsel Basit Kesme Deneylerinin Yapılması

Hazırlanan 63,5 mm çaplı numunelerle, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma-Geliştirme Daire Başkanlığı Zemin Mekaniği Laboratuvarı bünyesinde bulunan ve Şekil 2.18'de gösterilen Geocomp marka gerilme kontrollü cihazla çevrimsel direkt kesme deneyleri yapılmıştır.



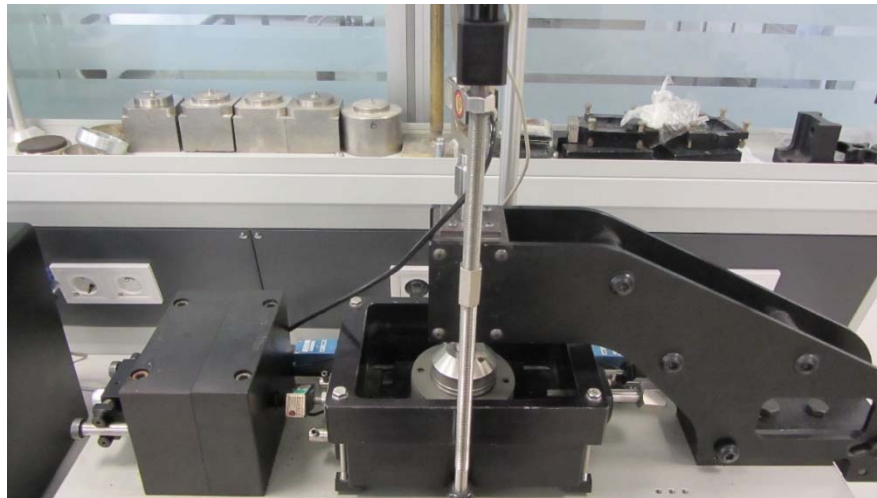
Şekil 2.18. Geocomp marka çevrimsel basit kesme deney aleti

Deney d zenegini numuneye düşey ve yatay yükü uygulayan 2 adet mikro adımlı bilgisayar kontrollü motordan ve konsolidasyon sırasında eksenel Şekil değiştirmeyi ölçmek için kullanılan 10^{-4} mm hassasiyette ölüm yapabilen LVDT'den oluşmaktadır. Cihaz numuneye farklı frekanslarda çevrimsel yükleme yapmaktadır.

Deneylere başlamadan önce numuneler dinamik üç eksenli deneylerde izlenen prosedüre benzer olarak 6 saat 20°C sabit sıcaklıkta su banyosunda bekletilmiştir. 6 saat su banyosunda bekletilen numune, Şekil 2.19'da görüldüğü gibi paslanmaz teflondan üretilmiş laminaların içerisine konulmuŐ ve yükleme hücresine yerleştirilmiştir. Laminaların,  st tablanın da bir miktar üstüne gelmesine dikkat edilmiştir (Şekil 2.20).



Şekil 2.19. Teflon laminalar içerisine yerleştirilmiş bitümlü numune



Şekil 2.20. Çevrimsel basit kesme hücresine yerleştirilmiş numune

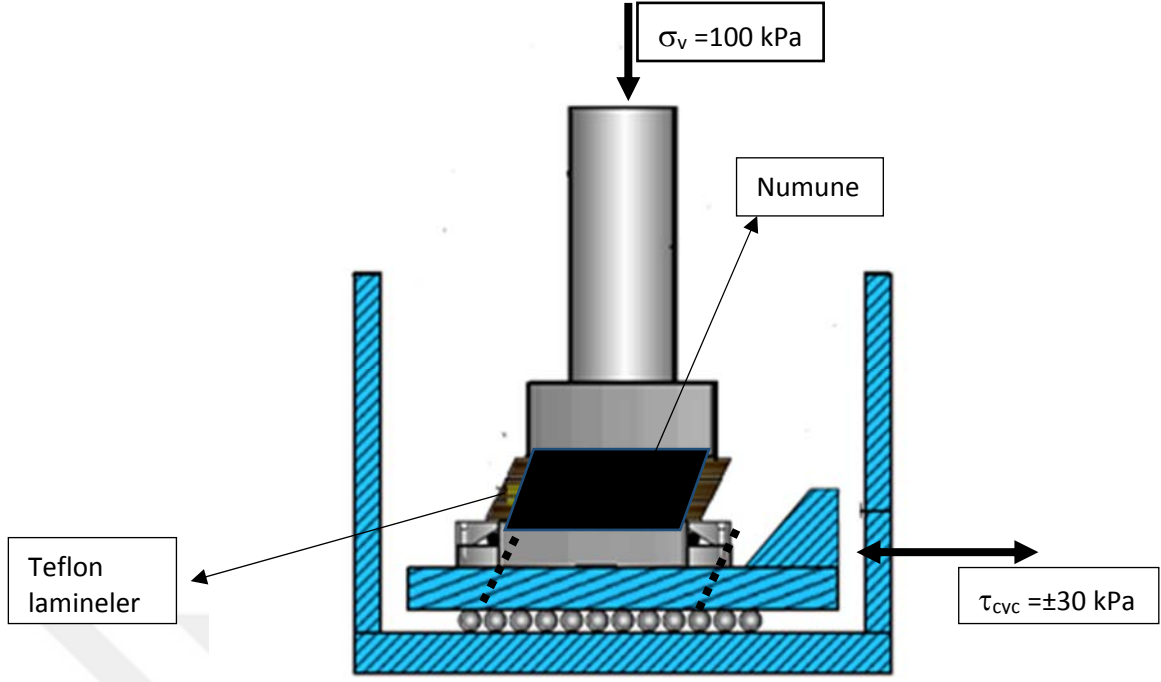
Numune cihaza yerleştirildikten sonra shear-cyclic adlı yazılıma numuneye ait künye bilgileri, numune boyutları ve uygulanacak normal gerilme girildikten sonra Şekil 2.21’de görüldüğü gibi numuneye uygulanacak çevrimsel yüklemeye ait özellikler ilgili bilgi penceresine girilmiştir.

	Stress Ratio Amplitude	Maximum Peak-Peak Strain (%)	Cycle Period (min)	Maximum Number of Cycles	Number of Readings per Cycle
1	0.6	10.	1.66e-002	300	100
2	0.	0.	0.	0	0
3	0.	0.	0.	0	0
4	0.	0.	0.	0	0
5	0.	0.	0.	0	0
6	0.	0.	0.	0	0
7	0.	0.	0.	0	0
8	0.	0.	0.	0	0
9	0.	0.	0.	0	0
10	0.	0.	0.	0	0

Şekil 2.21. Shear-cyclic programına girilen çevrimsel yükleme özellikleri

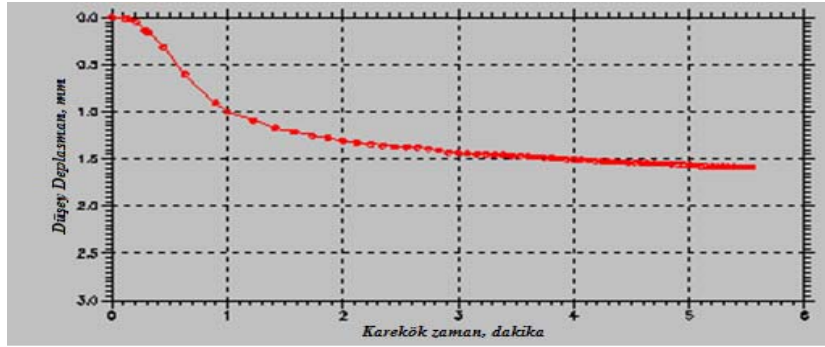
Bu bilgi penceresinde çevrimsel gerilme oranı (CSR), çevrim periyodu (sn) uygulanacak çevrim sayısı, maksimum kayma şekil değiştirmesi ve her bir çevrimde kaç kez data okunacağına dair bilgiler girilmiştir. Burada çevrimsel gerilme oranı, eşitlik 2.6’da görüldüğü gibi (CSR) çevrimsel olarak uygulanacak kayma gerilmesinin konsolidasyon basıncına oranı olarak tanımlanmıştır. Orta ve yüksek ölçekli depremlerin eşdeğer periyodik yüklemesine ait CSR oranı yaklaşık 0.3 olarak kabul edilmektedir. Hem bu sebepten ötürü hem de malzemenin yüksek şekil değiştirmelerinde de performansını belirleyebilmek adına deneylerde de CSR değerleri 0.2 ile 0.8 arasında değişen mertebelerde kabul edilmiştir. 100 kPa konsolidasyon basıncında 0.6 CSR için numuneye uygulanan tipik statik ve çevrimsel gerilmeler Şekil 2.22’de görülmektedir.

$$CSR = \frac{\sum \tau_{cyc}}{\sigma_v} \quad (2.6)$$



Şekil 2.22. Çevrimsel basit kesme deneyinin şematik görünümü

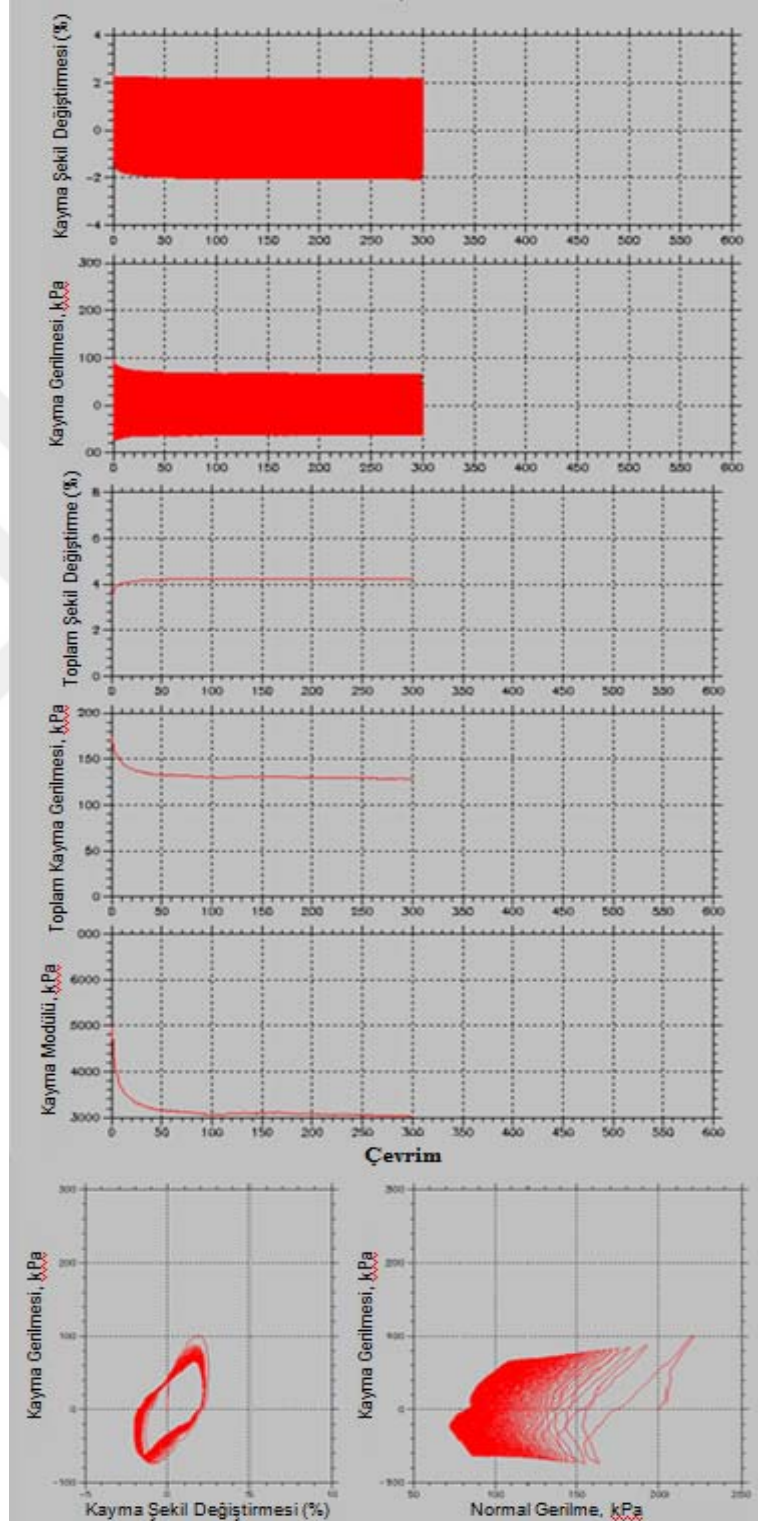
Çevrimsel yüklemeye başlanılmadan önce numuneler uygulanacak konsolidasyon basıncının (100 veya 200 kPa) altında düşey deplasmanlar asimptota yaklaşınca en az yarım saat konsolidasyona maruz bırakılmıştır (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Çevrimsel basit kesme deneyleri için düşey deplasman-karekök zaman grafiği

Çevrimsel yükleme deneyinden sonra shear-cyclic adlı yazılım, çevrim sayısına bağlı olarak kayma gerilmelerinin, kayma şekil değiştirmelerinin, kayma modülünün, histeresis eğrilerinin, ve normal gerilme-kayma gerilme değişimini grafik olarak vermiştir. 200 kPa normal gerilme altında 0.8 CSR de 300 çevrim uygulanmış bir numuneye ait

veriler Şekil 2.24'te görülmektedir. CR4 numunesi ile 200 kPa konsolidasyon basıncında 0.8 CSR yüklenme genliğinde 200 çevrime ait histeresis eğrileri Ek-2'de verilmiştir



Şekil 2.24. Çevrimsel basit kesme deneyine ait shear-cyclic adlı yazılımdan alınan örnek bir deneye ait veriler

2.2.6. Monotonik Üç Eksenli (UU) Deneylerinin Yapılması

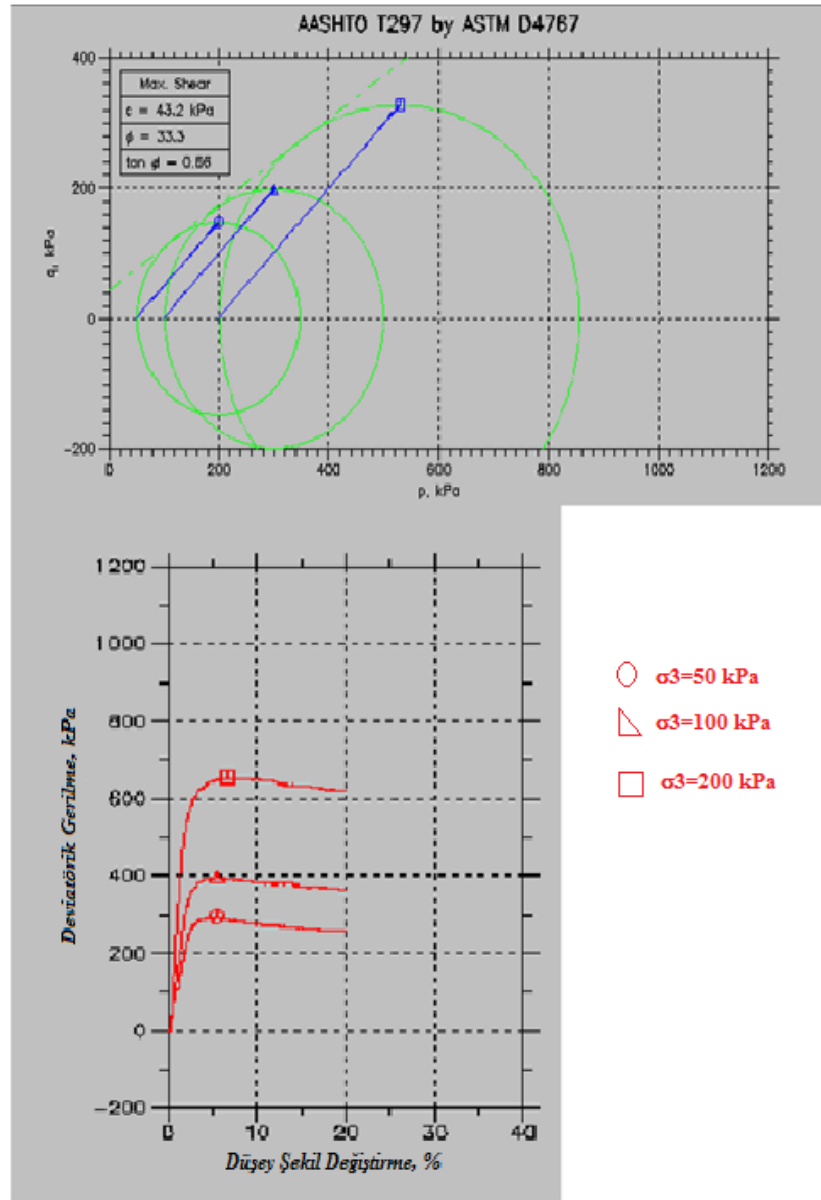
Bitüm içerikli numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet parametrelerini belirlemek için konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli deneyler yapılmıştır. UU deneyleri yapılmadan önce dinamik üç eksenli deneylerde olduğu gibi numuneler 6 saat süreyle 20°C'de su banyosunda bekletilmiştir. Tüm deneyler şekil değiştirme kontrollü üç eksenli basınç sistemiyle yapılmıştır. Yükleme hızı sabit olarak saatte %2 aksenal şekil değiştirme yapacak şekilde seçilmiş olup oldukça yüksek mertebelere kadar (%20) devam edilmiştir. Üç eksenli basınç deneyleri, 160/220 bitüm bağlayıcılı numunelere 50, 100 ve 200 kPa'lık üç farklı hücre basıncı uygulanarak yapılmıştır. Yükleme sonrası numunelere ait bir görüntü Şekil 2.25'te verilmiştir.



Şekil 2.25. UU deneyleri sonucu bitümlü numunelere ait bir görüntü

Şekil 2.25'te görüldüğü gibi deney sonrası numuneler fiç benzeri bir form almış olup sünek kırılma yapmıştır. %20 gibi oldukça yüksek bir aksenal şekil değiştirme mertebesinde bile numunelerde herhangi bir kopma veya dağılma gözlenmemiştir.

Deney sonrası Triaxial-report yazılımından Şekil 2.26'da görüldüğü gibi Mohr daireleri, mukavemet parametreleri, aksenal gerilme-şekil değiştirme ilişkisi elde edilmiştir.



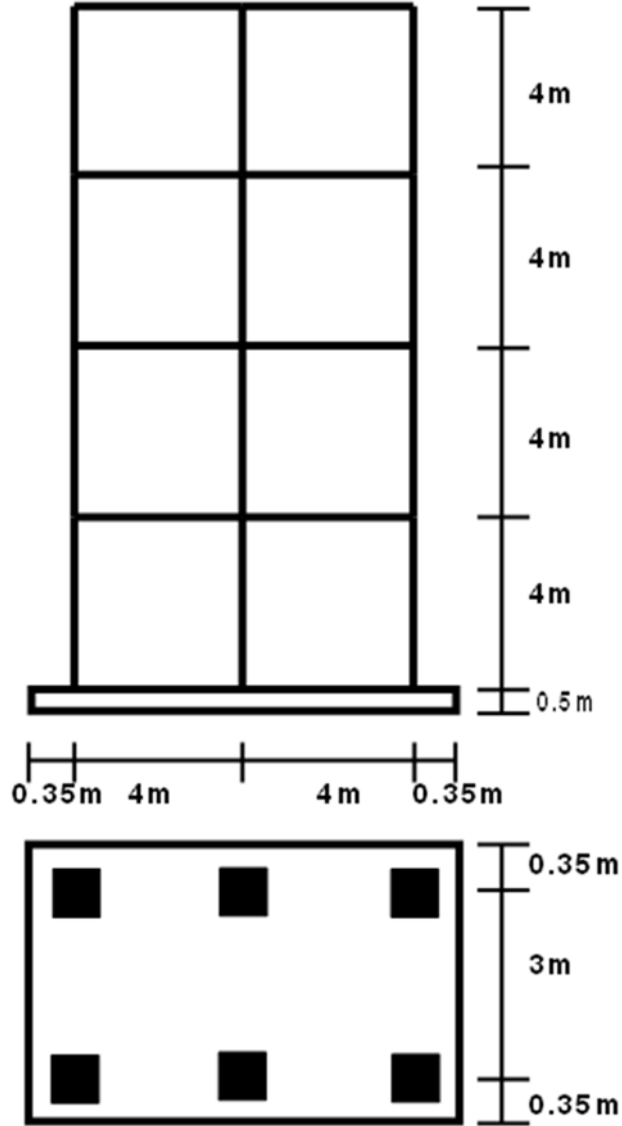
Şekil 2.26. Triaxial-report yazılımından alınan UU deney verileri

2.3. Sayısal Modelleme Çalışmaları

2.3.1. Üç Boyutlu Modellerin Oluşturulması, Eleman Tipi ve Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

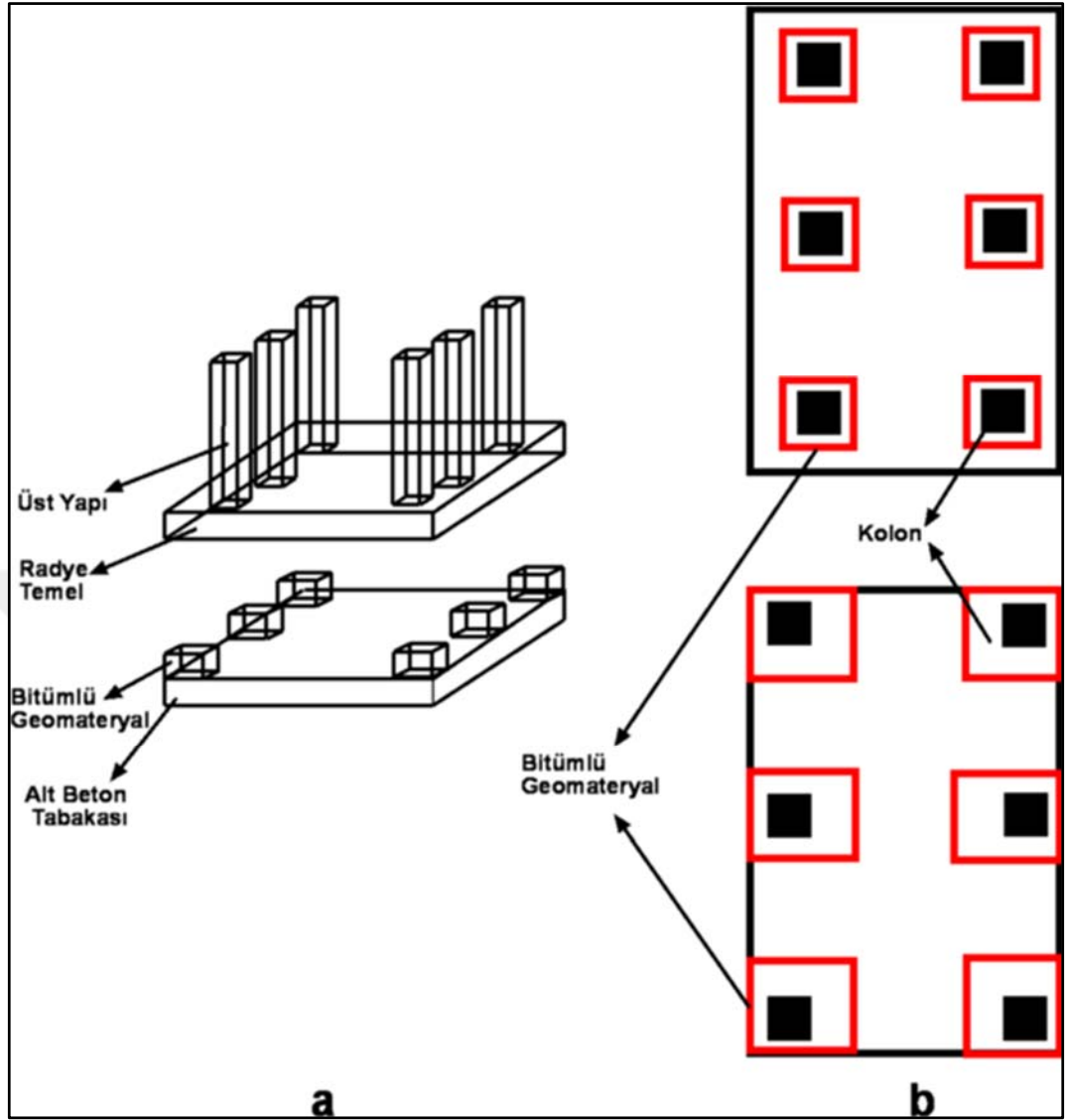
Bitümlü malzemenin sismik izolasyon etkisini sayısal modellerde inceleyebilmek için farklı kat adetlerine sahip çerçeve sistem üç boyutlu hacimsel elemanlarla modellenmiştir. Üst yapıda kiriş ve kolon boyutları 0.3x0.3m, döşeme kalınlığı 0.1m ve

radye kalınlığı 0.5 m olarak alınmıştır. Şekil 2.27’de dört katlı modele ait plan ve kesiti görülmektedir.



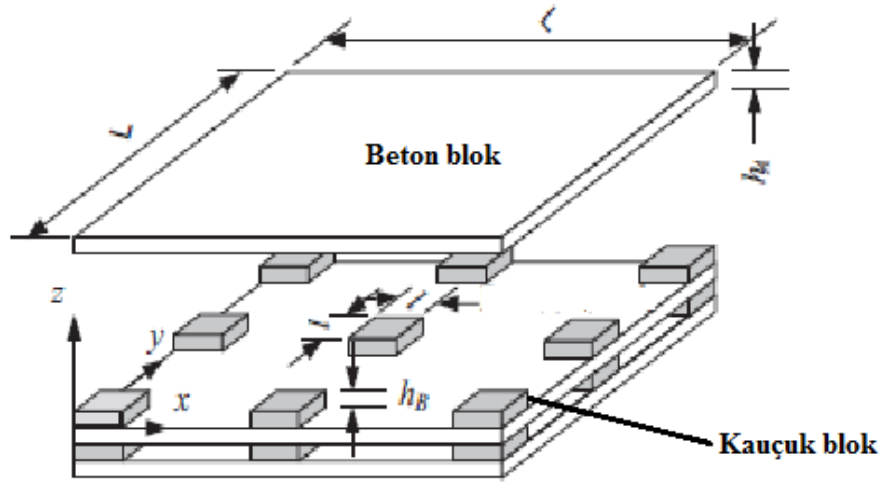
Şekil 2.27. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan 4 katlı yapının plan ve kesiti

Çeşitli boyutlardaki bitümlü geomateryali temsil edecek hacimsel elemanlar tanımlanmadan önce üst yapının temeli ile aynı boyuta sahip bir hacimsel tabaka geomateryalin altına gelecek şekilde oluşturulmuştur (Şekil 2.28). Sonrasında bitümlü geomateryali temsil eden hacimsel elemanlar, belirli kalınlıklarda Şekil 2.28b’deki yerleşim düzenine benzer şekilde yerleştirilmiştir. Temel ve izolasyon sistem elemanlarının ara yüzlerinde yeterli aderansın oluştuğu kabulü ile; radye temel, bitümlü geomateryal ve alt beton tabakası VGLUE komutu ile birbirine yapıştırılmıştır.



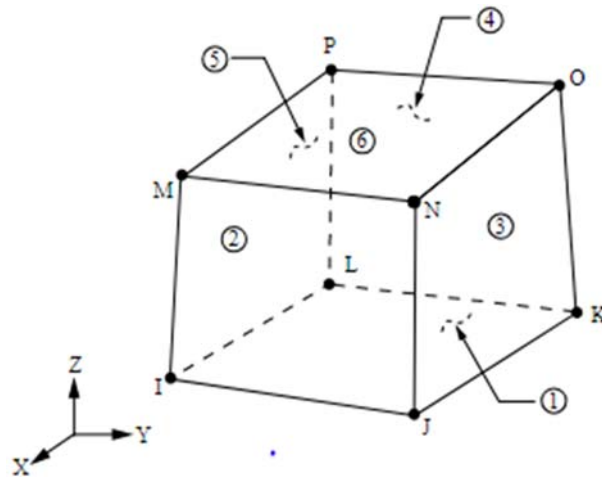
Şekil 2.28. Sayısal modellerde bitümlü geomateryalin yapının altına yerleştirilmesi
a) Perspektif görünüşü b) Plan görünüşü

Alt beton tabakanın tanımlanmasının nedeni bir önceki bölümde Şekil 1.21’de görüldüğü gibi Fumiya ve Nuriyuki (2001)’in önerdiği gibi bitümlü izolasyon tabakasının altında yapılacak zemin iyileştirmesini temsil etmektir. Böylece bitümlü geomateryalin iki rijit beton blok arasında sünek bir davranış göstermesiyle, üst yapıda oluşacak sismik etkinin azaltılması amaçlanmıştır. Sistem bu haliyle, Shi vd. (2014)’in önerdiği sisteme benzer tek hücreli bir periyodik temel (Şekil 2.29) gibi değerlendirilebilir.



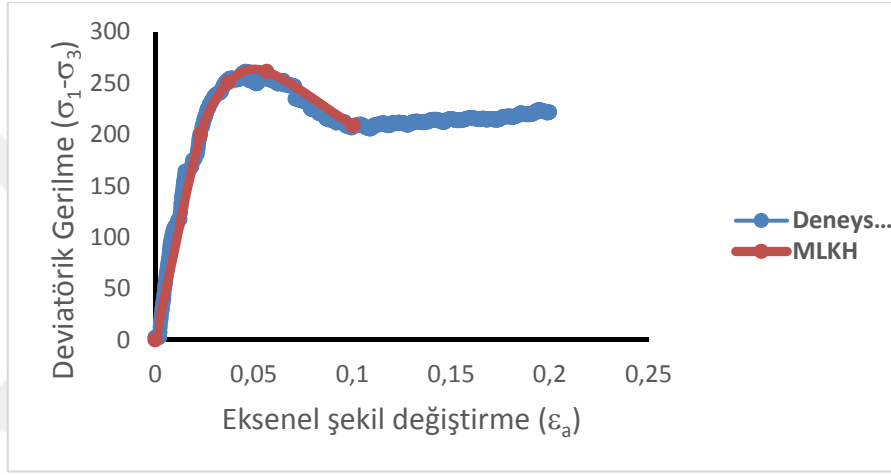
Şekil 2.29. Shi vd. (2014) tarafından önerilen periyodik temel modeli

Bitüm içerikli geomateryallerin yapıların sismik davranışına olan etkisini gözlemleyebilmek için ANSYS (14.5) sonlu elemanlar programı ile üç boyutlu elastik olamayan analizler yapılmıştır. Üç boyutlu modeller oluşturulurken programın kütüphanesinde bulunan 8 düğüm noktalı SOLID185 eleman tipi kullanılmıştır (Şekil 2.30). Bu eleman tipi yüksek yer değiştirme ve deplasman yapması beklenen üç boyutlu katı cisimlerin modellenmesinde kullanılmakta olup, her bir düğüm noktasında üç serbestlik derecesine sahiptir.



Şekil 2.30. SOLID185 eleman tipi

Sayısal modelleme sonuçlarının mantıklı olabilmesi için seçilecek malzeme modeli çok önemlidir. Üç boyutlu modellerde bitümlü malzemenin etkisi incelendiğinden, modellerde bitüm dışındaki tüm elemanlar için Lineer-Elastik (LE) malzeme modeli seçilmiştir. Bitümlü malzeme için, malzemenin şekil değiştirme mertebesine bağlı olarak pekleşmesini yansıtmak için multi-linear kinematik pekleşme (MKİN) modeli kullanılmıştır. Model girdi parametrelerinin belirlenmesinde CR4 numuneleri üzerinde 50kPa hücre basıncında yapılan UU deneylerinden elde edilen aksenal gerilme-şekil değiştirme grafiği kullanılmıştır (Şekil 2.31).



Şekil 2.31. Analizlerde göz önünde bulundurulanan CR4 numunesine ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi

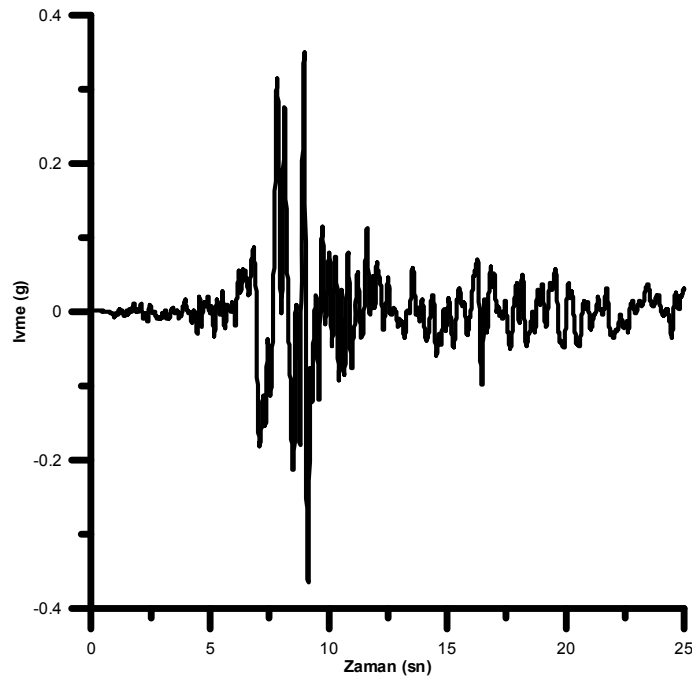
Analizlerde tanımlanan malzeme modelleri için girdi parametreleri Tablo 2.5'te verilmiştir. Bitümlü malzemede başlangıç rijitliği Feizi-Khankandi vd. 2008 tarafından önerildiği gibi aksenal olarak %1 şekil değiştirme mertebesinden elde edilen gerilme değerine göre belirlenmiştir.

Tablo 2.6. Analizlerde malzeme girdi parametreleri

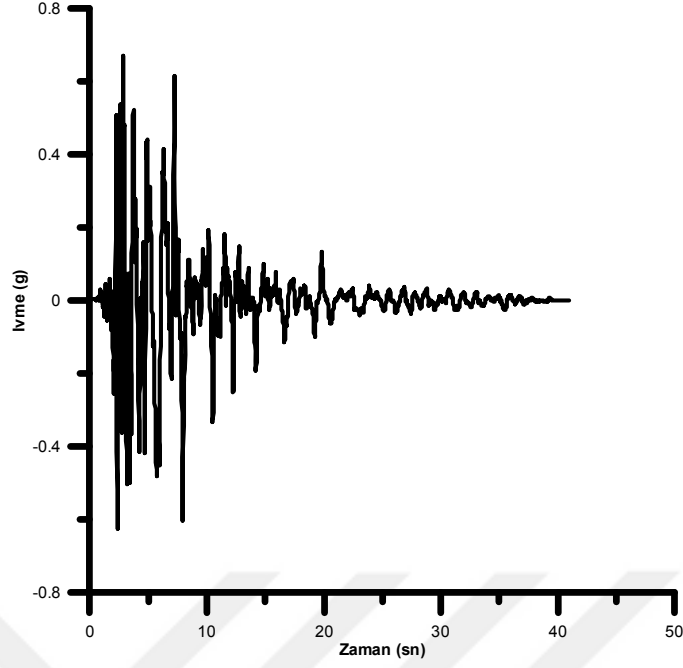
Malzeme	Elastisite Modülü (E) (N/m ²)	Poisson Oranı (ν)	Yoğunluk (ρ) (kg/m ³)
Beton	2.5 E10	0.2	2500
CR4	8673954	0.35	1850
MLKH			
	σ (N/m ²)	ε	
	200095.3	0.02306852	
	250520.1	0.03705926	
	261381.5	0.0565333	
	208692.4	0.1003778	

2.3.2. Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması ve Analiz

Analizlere geçilmeden önce uygulanacak depreme ait veriler PeerStrong veri tabanından elde edilmiştir (URL 4). Analizlerde 17.08.1999 tarihli Düzce istasyonundan elde edilen Kocaeli (maksimum yer ivmesi 0.36g) ve 16.01.1995 tarihli Takatori istasyonundan elde edilmiş Kobe depremlerine ait ivme kayıtları kullanılmıştır. Bu depremlere ait ivme-zaman grafikleri Şekil 2.32 ve 33'te görülmektedir. Analizlerde işlem süresini kısaltmak için her iki depreminde ilk 10 saniyelik verileri modellere etki ettirilmiştir.

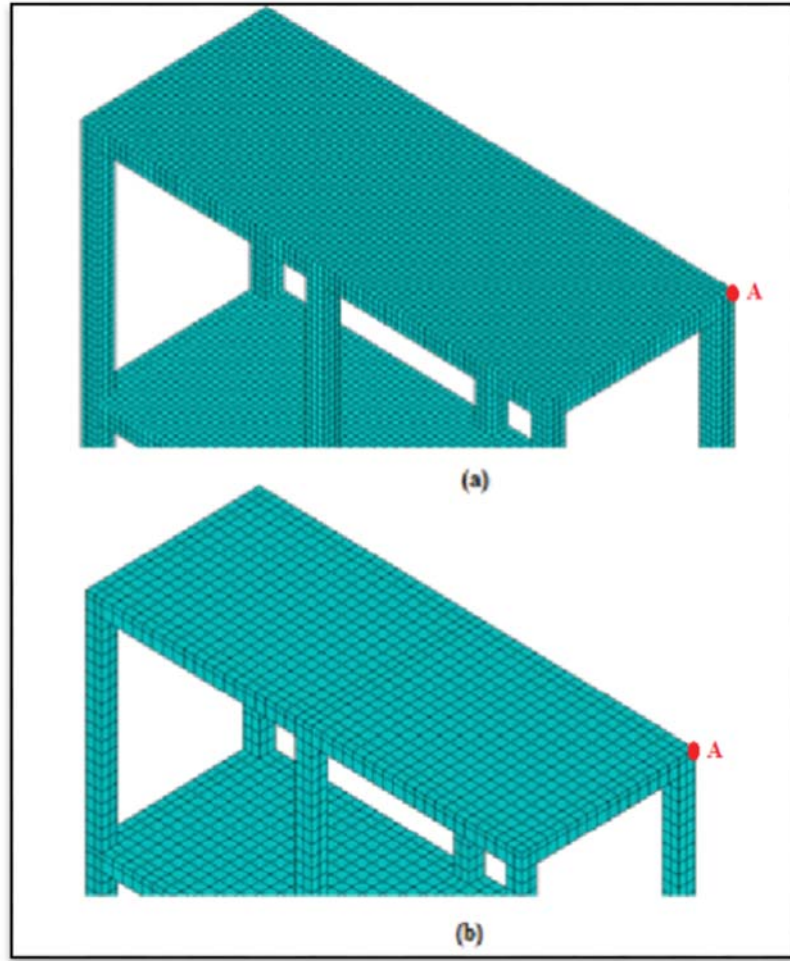


Şekil 2.32. Kocaeli depremine ait ivme-zaman grafiği



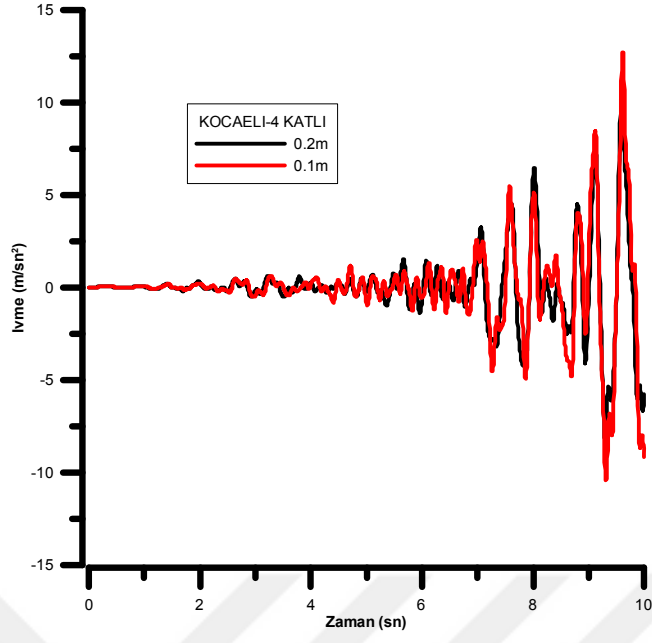
Şekil 2.33. Kobe depremine ait ivme-zaman grafiği

Malzeme modeli ve eleman tipinin dışında sonlu eleman analizlerine etki edecek diğer unsurlar oluşturulacak sonlu elemanların boyutları ve sınır şartlarıdır. Bilindiği üzere sonlu elemanların boyutları küçüldükçe daha hassas sonuçlar elde edilmektedir. Ancak boyut küçüldükçe çözülmesi gereken denklem sayısı arttığı için özellikle büyük ölçekli modellerde ciddi bir zaman ve veri depolama alanı gerekmektedir. Sonlu elemanların boyutlarının sonuçlara etkisini irdeleyebilmek için izolasyonsuz 4 katlı yapının her bir çizgi elemanı 0.1 ve 0.2m'lik parçalara bölünüp sonrasında hacimsel elemanlar kübik olacak şekilde mesh işlemi yapılmıştır (Şekil 2.34). Analize başlanmadan önce alt beton bloğun tabana üç doğrultuda tutularak sabit mesnet koşulları sağlanmıştır. Deprem ivmeleri modele tabanındaki tüm düğüm noktalarına z doğrultusundan etki ettirilmiştir.



Şekil 2.34. Farklı boyutlarda sonlu elemanlara sahip modeller (a)çizgiler 0.1m aralıkta bölünmüş (b) çizgiler 0.2m aralıkta bölünmüş

Kocaeli depreminin etki ettirildiği modellerde 0.05sn'lik zaman adımı aralığında çözüm yaptırılırken, Kobe depreminin uygulandığı modellerde yakınsama problemi yaşandığı için bu aralık 0.025sn olarak programa girilmiştir. Çizgilerin 0.1 ve 0.2m olduğu izolasyonsuz 4 katlı model yapıların tepe noktalarındaki A düğüm noktalarından elde edilen zamana bağlı ivme değişimi Şekil 2.35'te verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde genel olarak aynı trend gözlenmiş olsa da özellikle yüksek ivme değerlerinde her bir kenarı 0.1m olan modellerde %10'a varan farklı sonuçlar gözlemlenmiştir. Bu nedenle tüm analizlerde hassas sonuçlar alabilmek için çizgiler 0.1m'lik parçalara bölünerek mesh işlemine devam edilmiştir.



Şekil 2.35. Farklı sonlu eleman sayılarına sahip modellerin ivme-zaman grafikleri

$$E_{\text{sec}} = \sigma_d / \varepsilon = \frac{(\sigma_{d,\text{max}} - \sigma_{d,\text{min}})}{(\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_{\text{min}})} \quad (3.1)$$

$$G = \frac{E_{\text{sec}}}{[2(1+\nu)]} \quad (3.2)$$

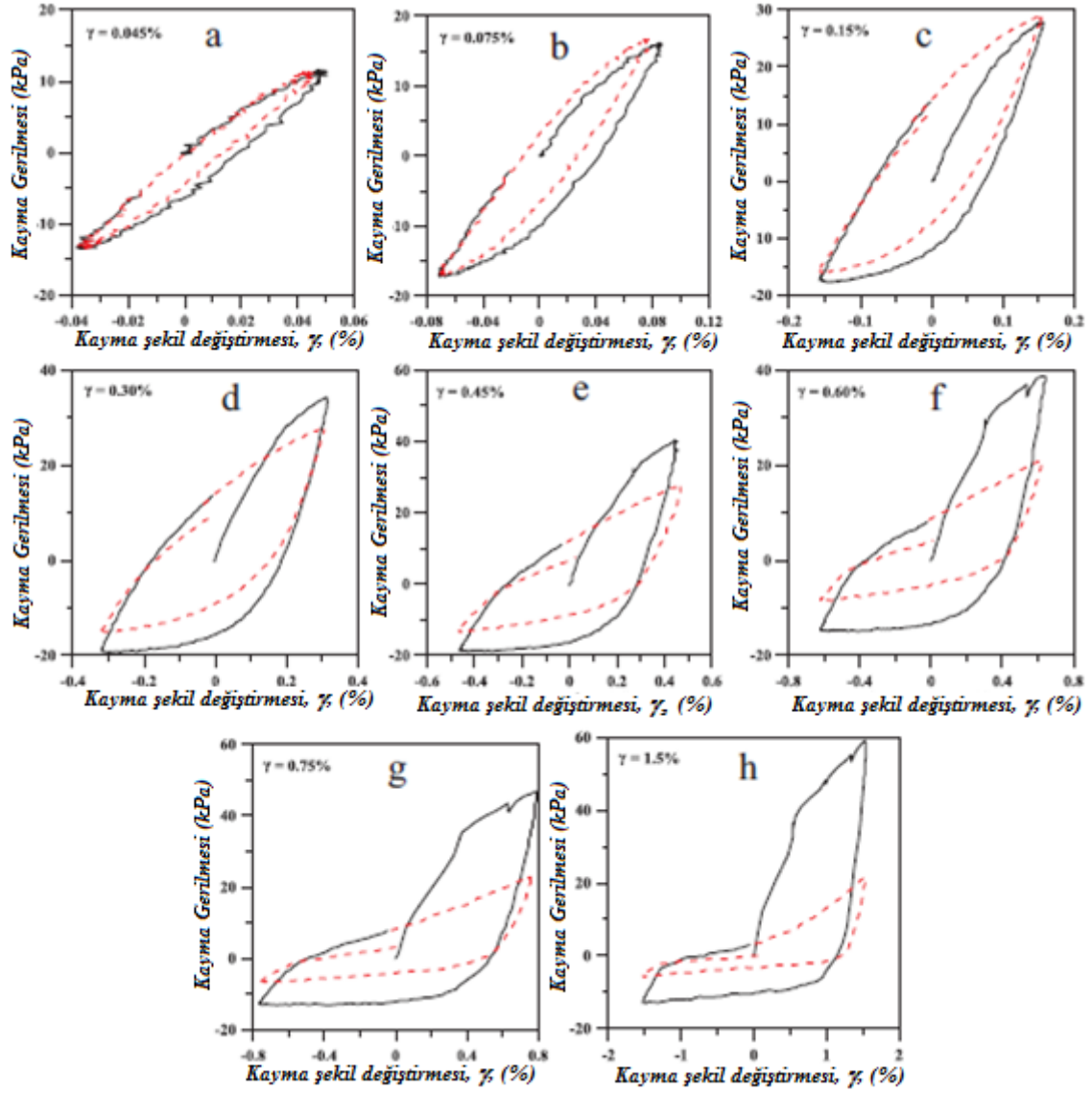
$$\gamma = (1+\nu)\varepsilon \quad (3.3)$$

$$D = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{A_L}{A_\Delta} \right) \quad (3.4)$$

Burada, σ_d uygulanan aksel dinamik gerilmeyi, ε dinamik yüklemeye karşılık gelen aksel şekil değiştirmeyi, ν Poisson oranını, G dinamik kayma modülünü, D sönüm oranını, A_L histeresis eğrisinin alanını, A_Δ ise elastik enerjiyi ifade etmektedir. Histeresis eğrisinin alanı ise eşitlik 3.5 yardımıyla belirlenmektedir.

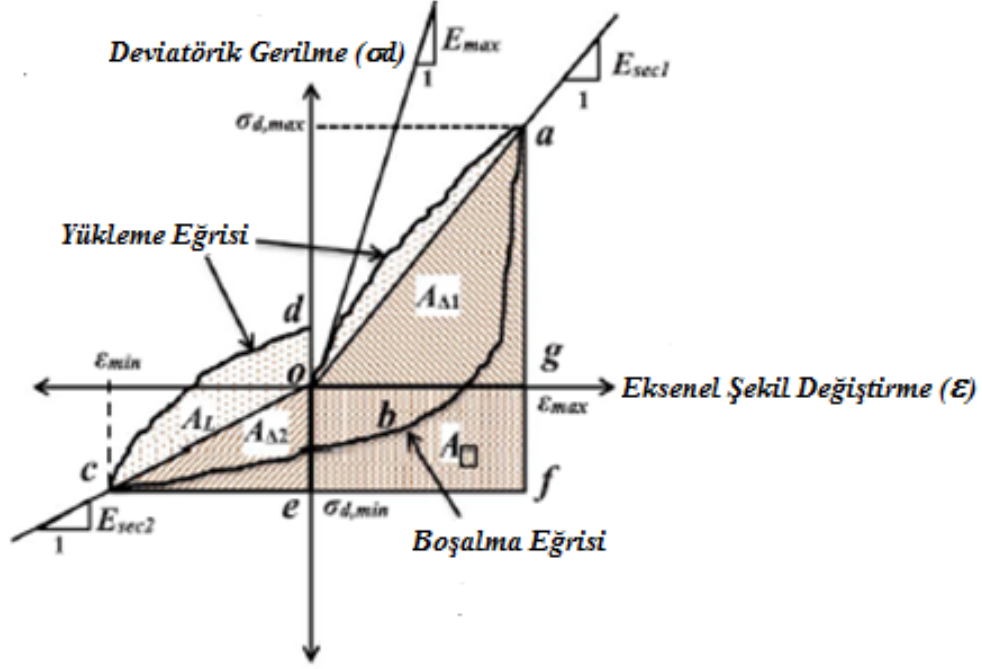
$$A_L = \frac{1}{2} [(\varepsilon_1 \times \sigma_2 - \varepsilon_2 \times \sigma_1) + (\varepsilon_2 \times \sigma_3 - \varepsilon_3 \times \sigma_2) + \dots + (\varepsilon_n \times \sigma_1 - \varepsilon_1 \times \sigma_n)] \quad (3.5)$$

Ancak yapılan araştırmalar kayma şekil değiştirmesinin (γ) %0.15'ten büyük olması durumunda histeresis eğrisinin asimetrik bir şekil aldığını göstermiştir. [Kumar vd. \(2017\)](#) kumlu zeminlerin farklı kayma şekil değiştirme mertebelerindeki dinamik özelliklerini dinamik üç eksenli deneylerle belirlemişlerdir. Bu deneylerin ilk iki çevriminden elde etmiş oldukları histeresis eğrileri Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Kumar vd. (2017) tarafından elde edilen histeresis eğrileri

Şekil 3.2'den de görüleceği üzere, şekil değiştirme mertebesinde artışına bağlı olarak histeresis eğrileri gittikçe daha fazla asimetric olmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar asimetric şekilli histeresis eğrileri için Şekil 3.3'te gösterilen yaklaşımı geliştirmişlerdir.



Şekil 3.3. Kumar v.d. (2017) tarafından önerilen asimetrik histeresis eğrisi yaklaşımı

Bu yaklaşımda histeresis eğrisi basınç ve çekme bölgelerinin dinamik elastisite modülleri ayrı ayrı belirlenip ortalaması alınarak dinamik kayma modülü elde edilmektedir. Asimetrik histeresis yaklaşımıyla dinamik parametrelerin belirlenmesi için Eşitlikler 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9 önerilmiştir.

$$E_{sec,a} = \frac{(E_{sec,1} + E_{sec,2})}{2} \quad (3.6)$$

$$G_a = \frac{E_{sec,a}}{[2(1+\nu)]} \quad (3.7)$$

$$\gamma = (1+\nu)\epsilon \quad (3.8)$$

$$D^\# = \frac{1}{\pi} \left(\frac{A_1}{A_{\Delta 1} + A_{\Delta 2} + A_{\square}} \right) \quad (3.9)$$

Üç eksenli dinamik deneyler gerilme kontrollü deney aletinde yapıldığı için yükleme genliği çevrimsel gerilme oranı (CSR) olarak cihaza girdi parametresi olarak girilmiştir. Deneysel çalışma esnasında 1.0 CSR değerine karşılık gelen kayma şekil değiştirmesi (γ) %0.15'ten daha büyük olduğu için asimetrik histeresis yaklaşımı dinamik parametrelerin

(G ve D) belirlenmesinde kullanılmıştır. Dinamik üç eksenli deneylere tabi tutulan numuneler ve bu deneylerde göz önünde bulundurulmuş girdi parametreleri Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Dinamik üç eksenli deneylerin genel özeti

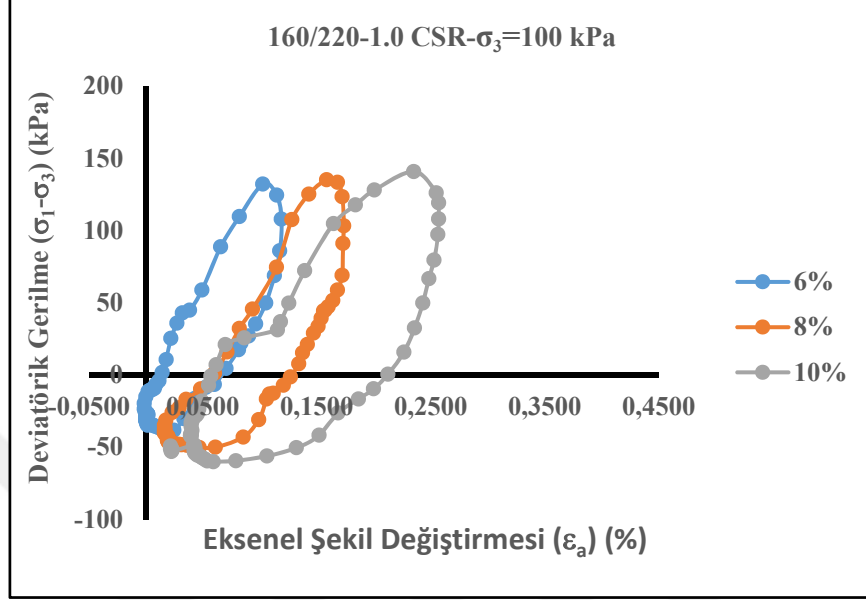
Numune No:	Hücre basıncı (σ_3) (kPa)	Yükleme periyodu (T) (s)	Çevrimsel gerilme oranı (CSR)
506	100	0.5	1.0
508	100	0.5	1.0
510	100	0.5	1.0
706	100	0.5	1.0
708	100	0.5	1.0
710	100	0.5	1.0
106	100	0.5	1.0
108	100	0.5	1.0
110	100	0.5	1.0
1606	100	0.5	1.0
1608	100	0.5	1.0
1610	100	0.5	0.5-1.0-1.5
CR1	75-100	0.5-1.0	1.0-1.5
CR2	75-100	0.5-1.0	1.0-1.5
CR3	75-100	0.5-1.0	1.0-1.5
CR4	75-100	0.5-1.0	1.0-1.5

3.1. Dinamik Üç Eksenli Deney Sonuçları

3.1.1. Kum-Bitüm Karışımlarına Ait Sonuçlar

Bu çalışmada yüksek sönümleme kapasitesine sahip bitüm içerikli bir geomateryalin üretilmesi amaçlandığından öncelikle bitüm sınıfı ve oranının dinamik kayma modülü ve sönüm oranını nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu amaçla 4 farklı penetrasyondaki bitüm (50/70, 70/100, 100/150 ve 160/220) 3 farklı oranda (kum ağırlığının %6, 8 ve 10’u) karıştırılarak 0.5s çevrimsel yükleme periyodunda 1.0 CSR yükleme genliğinde 100 kPa hücre basıncında dinamik üç eksenli deneylere tabi tutulmuştur. 160/220 penetrasyonlu

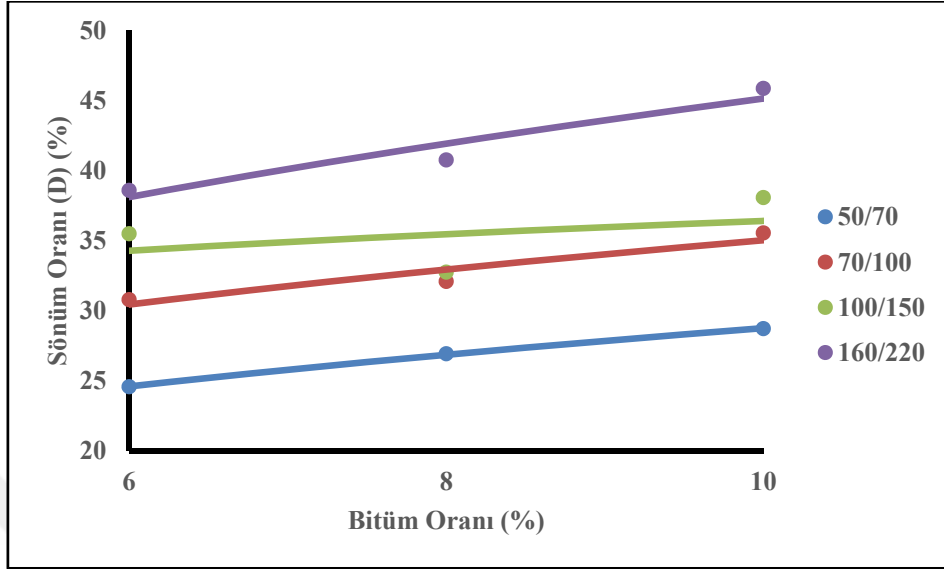
bitüm ile farklı oranlarda elde edilen ve 10. yük çevrimine ait histeresis eğrileri Şekil 3.4'te görülmektedir.



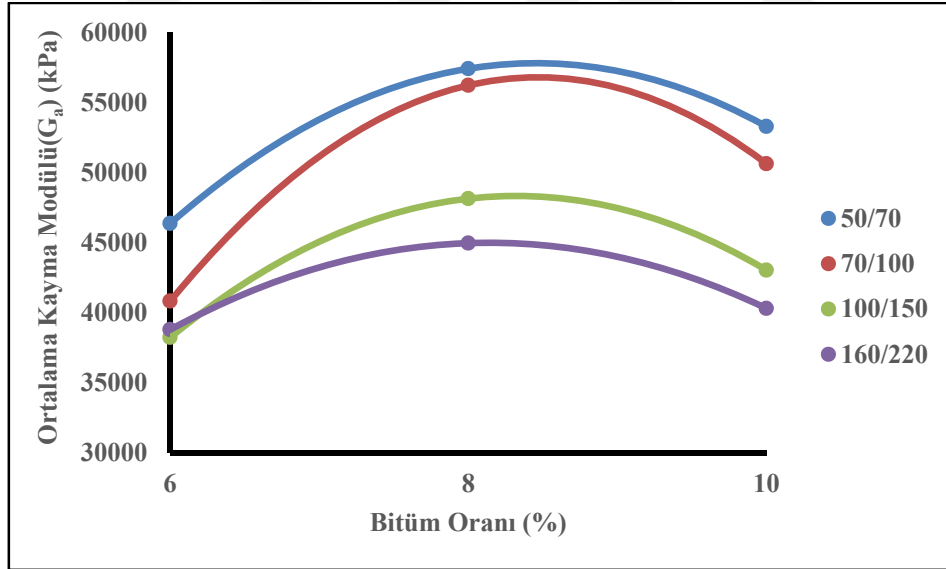
Şekil 3.4. Farklı oranlarda 160/220 bitüm içeren numunelere ait histeresis eğrileri

Bitüm penetrasyonu ve oranına bağlı olarak elde edilen sönüm oranları Şekil 3.5'te, dinamik kayma modülleri ise Şekil 3.6'da görülmektedir. Hoeg (1993) aynı bitüm oranında ve aynı sıcaklıkta farklı penetrasyonlardaki bitümlü numuneler üzerinde yaptığı çalışmada bitümün penetrasyonunun artmasının kayma modülünü azaltıp sönüm oranını artırdığını ifade etmiştir. Benzer bir davranış Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da görülmüştür. Ancak numunelerin bitüm içeriği artışına paralel olarak sönüm oranları artarken kayma modülünde aynı eğilim yoktur. Her bir bitüm içeriği maksimum dinamik kayma modülünü %8 bitüm oranında vermiştir. Akhtarpour ve Kodai (2013) 4 farklı bitüm içeriğindeki (%5.5, 6, 6.5 ve 7) asfalt betonunun dinamik özelliklerini inceledikleri çalışmada yukarıdaki bulgulara paralel olarak %5,5 bitüm içeriğinden elde edilen kayma modülünün %6'dan daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak artan bitüm içeriğinin kayma modülünü düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bu davranışı ise; özellikle düşük hücre basınçlarında asfalt betonunun mukavemeti hücre basıncından çok asfaltın agregalar arasında kurduğu bağların sağladığını ancak belirli bir orandan sonra ise artan asfalt

içeriğinin taneler arası teması oldukça düşürdüğü için kayma modülünü de düşürdüğü şeklinde yorumlamışlardır.



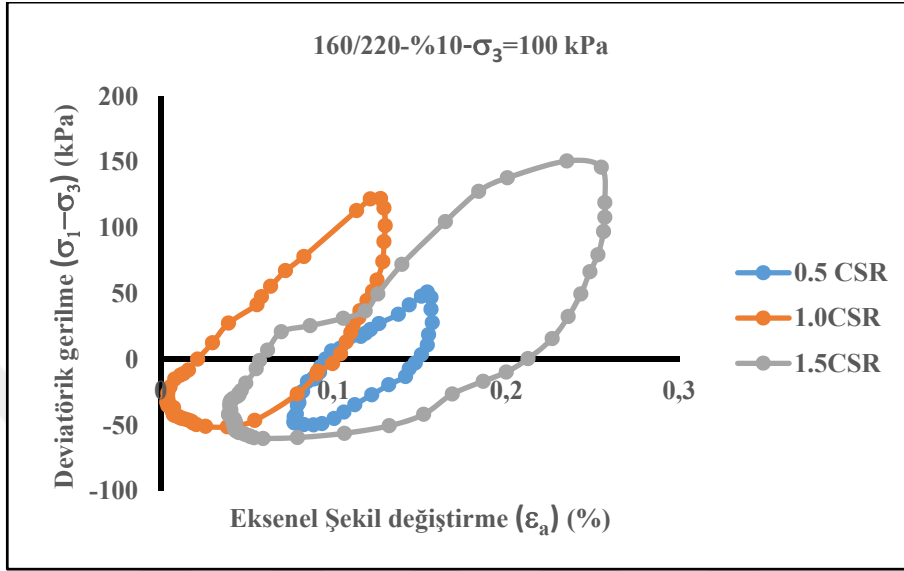
Şekil 3.5. Bitüm penetrasyonu ve katkı oranının sönüm oranına etkisi



Şekil 3.6. Dinamik kayma modülünün bitüm penetrasyonu ve oranına bağlı olarak değişimi

Kum-bitüm karışımlarının kayma modülü ve sönüm oranlarına etkisini belirlemek için üç farklı CSR değeri için (0.5, 1.0 ve 1.5) deneyler yapılmıştır. 160/220 penetrasyonlu bitüm için elde edilen 10. yük çevrime ait histeresis eğrileri Şekil 3.7'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, CSR'nin artışına paralel olarak kayma şekil değiştirme

mertebelerinin de arttığı görülmektedir. Ayrıca histeresis eğrileri de incelendiğinde şekil değiştirme mertebesi arttıkça histeresis eğrisinin gittikçe asimetrik bir şekil aldığı da gözlemlenmiştir.

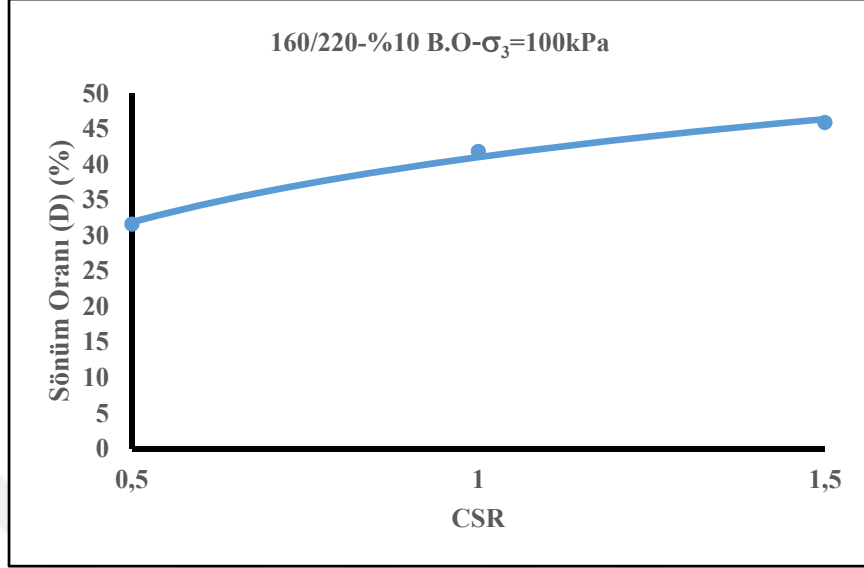


Şekil 3.7. Farklı CSR değerleri için dinamik üç eksenli deneylerinden elde edilen 10. yük çevrimine ait histeresis eğrileri

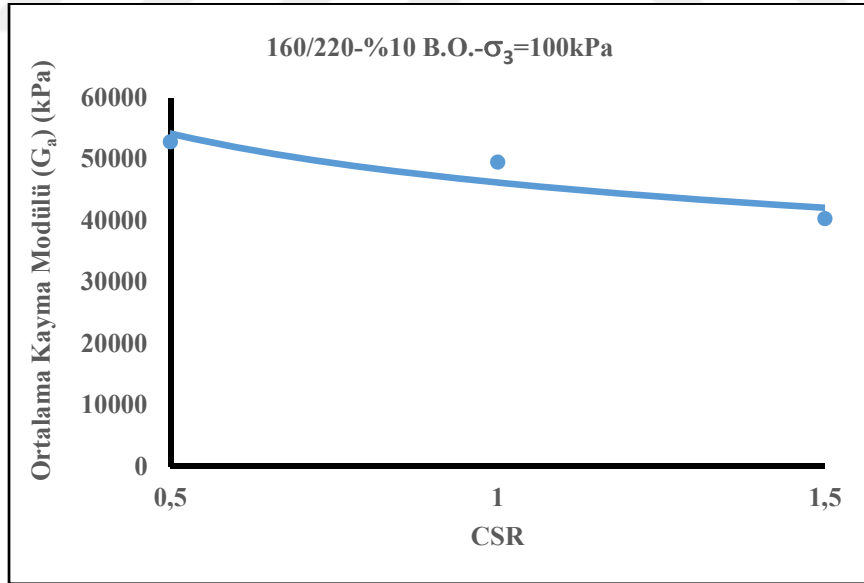
Şekil 3.8 ve 3.9'da, CSR değeri arttıkça (diğer bir ifadeyle uygulanan kayma şekil değiştirmesinin genliği arttıkça) sönüm oranının arttığı, kayma modülünün ise azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar mevcut literatürle karşılaştırılacak olursa Feizi-Khankandi vd. (2008) B60 bitümü ile %7 bitüm içeriğinde 85 kPa hücre basıncında izotropik konsolide ettikleri ve ± 85 kPa düşey çevrimsel yüklemeye maruz bıraktıkları asfalt betonunun kayma modülünü (kayma şekil değiştirmesi yaklaşık olarak %0.1 mertebelerinde) 700 MPa olarak belirlemişlerdir.

Bu çalışmada yaklaşık aynı seviyede aksel şekil değiştirme mertebesinde, 100 kPa hücre basıncındaki 1.0 CSR değerine karşılık gelen kayma modülü 50 MPa mertebelerindedir (Şekil 3.9). Bu değer Feizi-Khankandi v.d (2008) elde ettiği değer yaklaşık %8'ine denk gelmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında granüler zeminin kum seçilmesinin, bitüm penetrasyonunun yüksek seçilmesinin ve bitüm oranının da referans çalışmaya göre yaklaşık %50 daha fazla seçilmesinin aradaki bu farklılığı oluşturduğu düşünülmektedir. Sönüm oranları açısından değerlendirildiğine referans çalışmada %25 gibi bir sönüm oranı bulunmuşken bu çalışmada elde edilen sönüm oranı %40'ın

üzerindedir. Bu durum yukarıda kayma modülünün azalmasına etki eden unsurların sönüm oranına artırıcı yönde etki ettiği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 3.8. %10 oranda 160/220 bitüm içeren numunelerin sönüm oranlarının CSR'ye bağlı değişimi



Şekil 3.9. %10 oranda 160/220 bitüm içeren numunelerin kayma modüllerinin CSR'ye bağlı değişimi

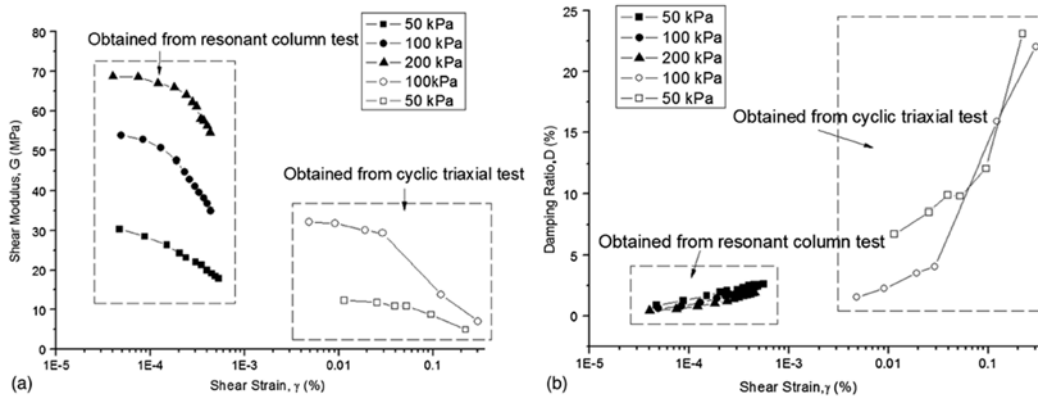
Feizi-Khankandi vd. (2008) çalışmasında, asfalt betonu ve diğer geoteknik malzemelerin dinamik parametrelerini Tablo 3.2'de karşılaştırmıştır. Kum-bitüm

karışımlarının sönüm oranı açısından Tablo 3.2’de verilen malzemelerin sönüm oranından %30 daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 3.2. Feizi-Khankandi vd. (2008) tarafından verilen çeşitli malzemelere ait kayma modülü ve sönüm oranları

Malzeme	G_{sec} (MPa)	Sönüm Oranı (%)
Asfalt betonu	700-4000	5-30
Kırılmış kaya	200-500	2-35
Yuvarlak kaya	150-300	2-20
Kumlu çakıl	100-200	5-20
Kum	<100	2-15
Plastik beton	500-5000	2-30

Kayma modülü açısından bir değerlendirmenin, bitüm-kum karışımları ile saf kum zeminler arasında yapılması uygun olacaktır. Bu nedenle Li v.d. (2016)’nin üniform kumlu zemin üzerinde yaptıkları dinamik üç eksenli deney sonuçları karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır (Şekil 3.10). Karşılaştırma yapılan bu çalışmanın sonuçlarına göre 100 kPa hücre basıncında, %0.1 kayma şekil değiştirmesinde kumun kayma modülünü 15 MPa olarak, sönüm oranını ise yaklaşık %15 olarak belirlemişlerdir. Bu değerler bu çalışmadaki kum-bitüm sonuçları ile karşılaştırıldığında kayma modülünün ve sönüm oranının yaklaşık 3 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.

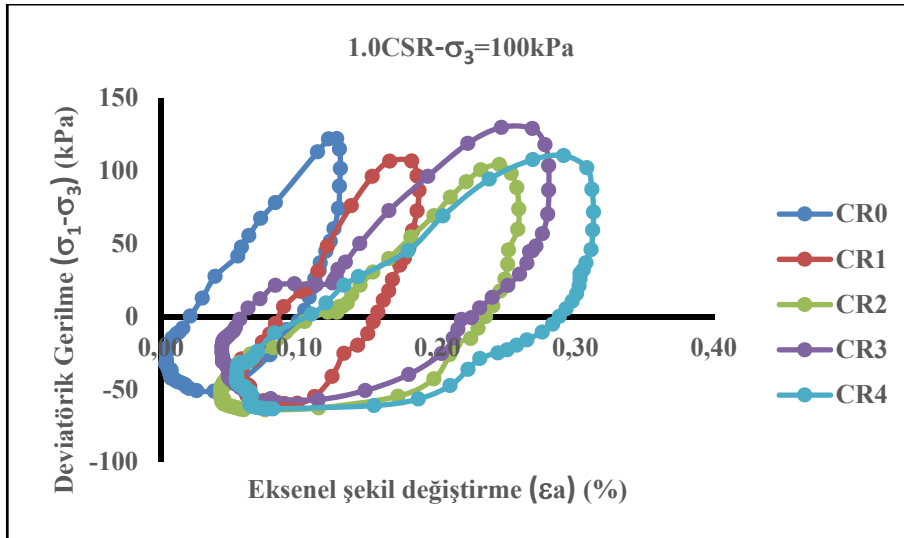


Şekil 3.10. Li vd. (2016) tarafından elde edilen kum zemin için kayma modülü ve sönüm oranı değerleri

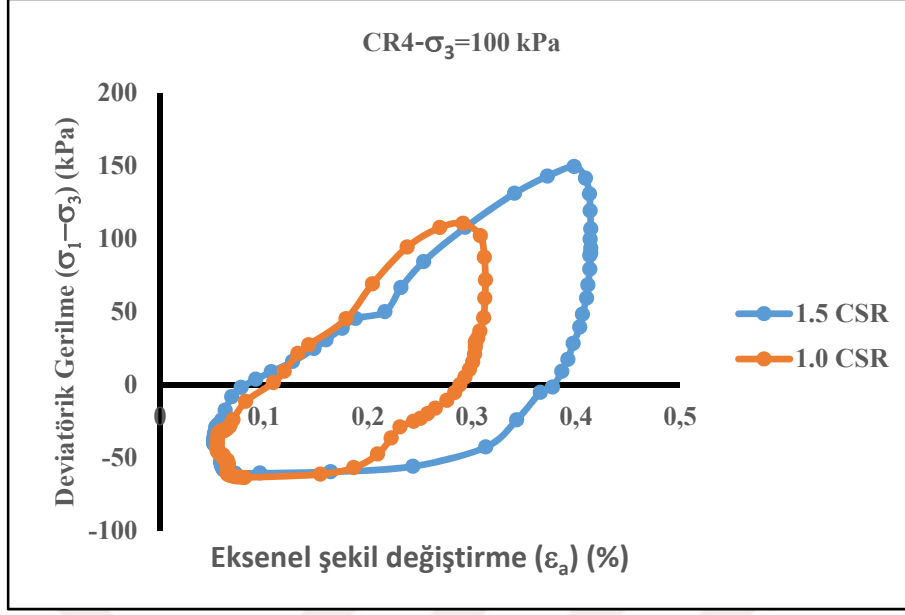
Yukarıda yapılan karşılaştırmalardan kum-bitüm karışımlarının hem yeterli düzeyde rijitliğe hem de oldukça yüksek sönüm oranına sahip olduğu görüldüğünden, GSİ sistemlerinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

3.1.2. Kum-Bitüm-Kauçuk Karışımlarına Ait Dinamik Üç Eksenli Deney Sonuçları

Tez çalışmasında maksimum sönümlenme kapasitesine sahip geomateryal üretilmesi amaçlandığı için yukarıdaki bulgular incelendiğinde %10 oranında 160/220 penetrasyonlu bitüm içeren numunelerin en yüksek sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu aşamadan sonra bu karışımın sönümlenme kapasitesini daha da artırmak amacıyla öğütülmüş araç lastiği (kauçuk, CR) kum ağırlığının %1, 2, 3 ve 4'ü oranında karışıma ilave edilmiştir. Elde edilen bu karışımların dinamik parametreleri (G ve D) farklı CSR, frekans, hücre basınçlarına bağlı olarak incelenmiştir. Kauçuk içeriğine bağlı olarak 100 kPa hücre basıncında ve 1.0 CSR için elde edilen histeresis eğrileri Şekil 3.11'de görülmektedir. Kauçuk içeriği arttıkça karışımın şekil değiştirme genliğinin arttığı bir başka deyişle karışımın esnekliğinin arttığı gözlenmiştir. %4 kauçuk içeren kum-bitüm-kauçuk karışımının 1.0 ve 1.5 CSR değerleri için elde edilen histeresis eğrileri de Şekil 3.12'de verilmiştir. CSR değerinin artışı, eksenel şekil değiştirmelerde artışa sebep olmuştur.

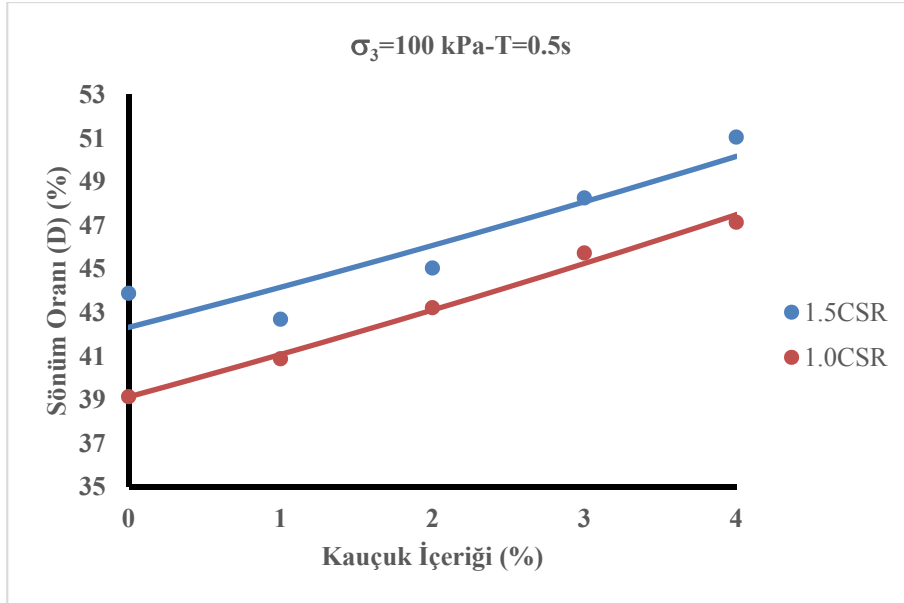


Şekil 3.11. Farklı CR içerikleri için 1.0 CSR de elde edilen histeresis eğrileri

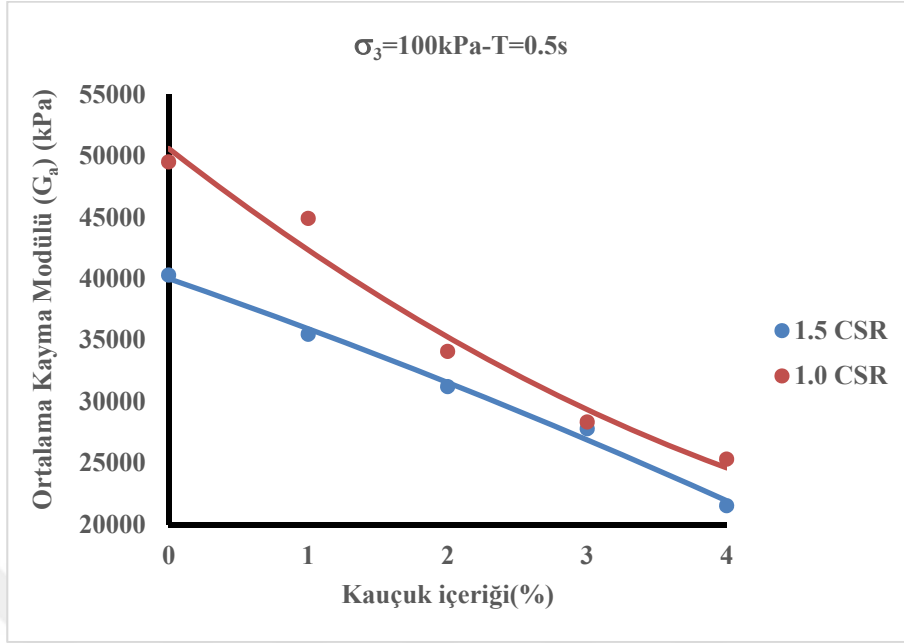


Şekil 3.12. CR4 karışımı için farklı CSR ye bağlı histeresis eğrileri

Kauçuk içeriğine ve CSR'ye bağlı olarak elde edilen sönüm oranları ve kayma modülleri Şekil 3.13 ve 3.14'te sırasıyla verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde, artan kauçuk içeriğinin sönüm oranlarında %20'ye varan artışa, kayma modüllerinde ise %50'ye varan azalmaya sebep olduğu söylenebilir.

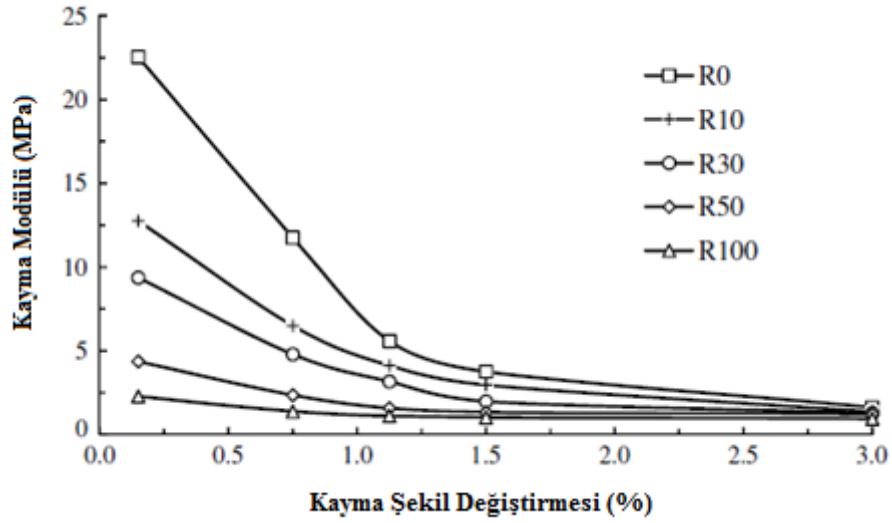


Şekil 3.13. Farklı CR içerikleri ve CSR değerlerine bağlı sönüm oranının değışimi



Şekil 3.14. Farklı CR içerikleri ve CSR değerlerine bağlı kayma modülünün değişimi

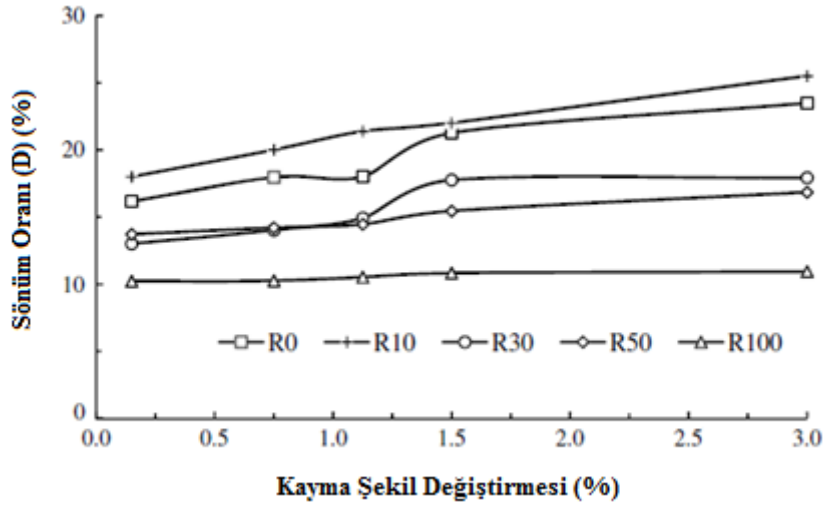
Granüler zeminlere öğütülmüş araç lastiği katılarak sönümleme kapasitesinin artırılması son yıllarda oldukça fazla araştırmacı tarafından incelenmiştir. Genel olarak bu çalışmalardan kauçuk ilavesinin zeminin sönüm oranını artırdığını, kayma modülünü ise azalttığı sonucu elde edilmiştir. Ancak artan kauçuk içeriğinin granüler zeminin sönümleme oranını doğrusal şekilde artırdığı varsayımı oldukça yanlış bir yaklaşım olacağı Madhusudhan vd. (2017) tarafından ifade edilmiştir. Araştırmacılar bu çalışmada %65-70 rölatif sıklıkta saf kum ve bu kuma ağırlığının %10, 30, 50'si oranında öğütülmüş araç lastiği (hacimce sırasıyla %20.71, 50.19, 70.16) ve saf öğütülmüş araç lastiğinin kayma modülünü ve sönüm oranlarını 1Hz frekansta ve %0.1-3 arasında değişen kayma şekil değiştirmesi mertebeleri için incelemiştir. Numunelerin eksenel şekil değiştirme mertebelerine bağlı kayma modüllerinin değişimi Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Madhusudhan v.d. (2017) tarafından verilen kauçuk içeriği ve kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak kayma modülünün değişimi

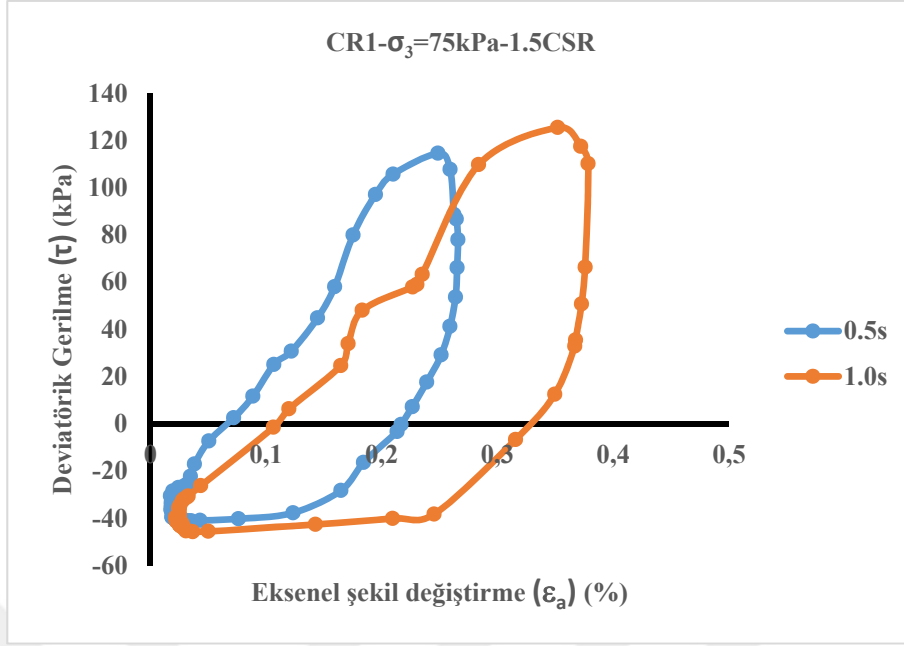
Burada R0 saf kumu, R100 ise saf öğütülmüş araç lastiğini diğer semboller ise karışımdaki kauçuk içeriğini temsil etmektedir. Şekil 3.15 incelendiğinde kauçuk içeriği arttıkça kayma modülünün azaldığı ve bu azalmanın %1'den daha düşük kayma şekil değiştirme mertebelerinde daha belirgin olduğu görülmektedir. %0.5 kayma şekil değiştirme mertebesinde (eksenel olarak yaklaşık %0.38) kayma modülü değerlerine bakıldığında saf kumun kayma modülü yaklaşık olarak 18 MPa mertebelerinde iken ağırlığının %10'u kadar kauçuk ilave edildiğinde (R10) kayma modülünün 10 MPa'n altına düştüğü görülmektedir. Benzer şekilde, bu çalışmada incelenen kum-bitüm-kauçuk karışımlarında, öğütülmüş araç lastiği içeriğine bağlı olarak kayma modülünün %50 azaldığı görülmüştür. Ancak, 1.5 CSR uygulanmış CR4 numunesinin kayma modülü 20 MPa'nın üzerinde olduğu da Şekil 3.14'de görülmektedir. Yani CR4 ve R10'a ait kayma modülleri karşılaştırıldığında, CR4'ün 2.5 kattan daha fazla rijit olduğu görülmektedir. Sönüm oranları açısından bir kıyaslama yapmak için yine Madhusudhan vd. (2017) çalışmasında verilen ve Şekil 3.16'da görülen eğriler kullanılmıştır. Bu eğrilerden, %10 kauçuk içeren karışımın saf kumun sönüm oranını artırdığını ancak artan kauçuk içeriğinin saf kuma oranla sönüm oranını azalttığı görülmektedir. Bu nedenle araştırmacılar granüler zeminlerin sönüm oranını artırmak için yüksek oranlarda kauçuk kullanılmasının yanlış bir yaklaşım olduğunu ifade etmişlerdir. %3 kayma şekil değiştirme mertebesinde (eksenel olarak yaklaşık %2.3) R10 karışımının sönüm oranı %25 civarında iken CR4 numunesi 1.5

CSR de (eksenel olarak %0.4) sönüm oranının %50'ye yakın olduğu görülmüştür (Şekil 3.13). Diğer bir ifadeyle kum-bitüm-kauçuk karışımlarının benzer şekil değiştirme mertebelerinde kum-kauçuk karışımlarına göre 2 kat daha fazla sönümleme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

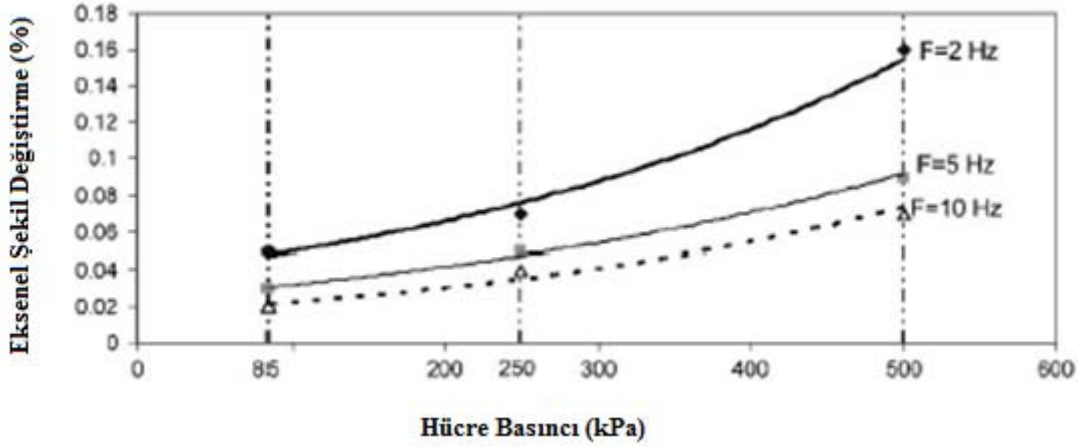


Şekil 3.16. Madhusudhan v.d. (2017) tarafından verilen kauçuk içeriği ve kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak sönüm oranının değişimi

Kum-bitüm-kauçuk karışımlarının dinamik özellikleri üzerinde yükleme karakteristiklerinin etkisini belirlemek için 2 farklı hücre basıncı (75 ve 100 kPa) ve iki farklı çevrimsel yükleme periyotunda (0.5s (2Hz) ve 1s (1Hz)) dinamik üç eksenli deneyler yapılmıştır. Şekil 3.17'de iki farklı yükleme periyodu için elde edilen histeresis eğrileri görülmektedir. Bu eğrilerden, yükleme periyodu uzadıkça kum-bitüm-kauçuk karışımlarının eksenel şekil değiştirme yapabilme kapasitesinin arttığı görülmektedir. Benzer sonuçları, Feizi-Khankandi vd. (2008) tarafından üç farklı frekansta asfalt betonu üzerinde yaptıkları üç eksenli deneylerde gözlemlemiştir (Şekil 3.18).

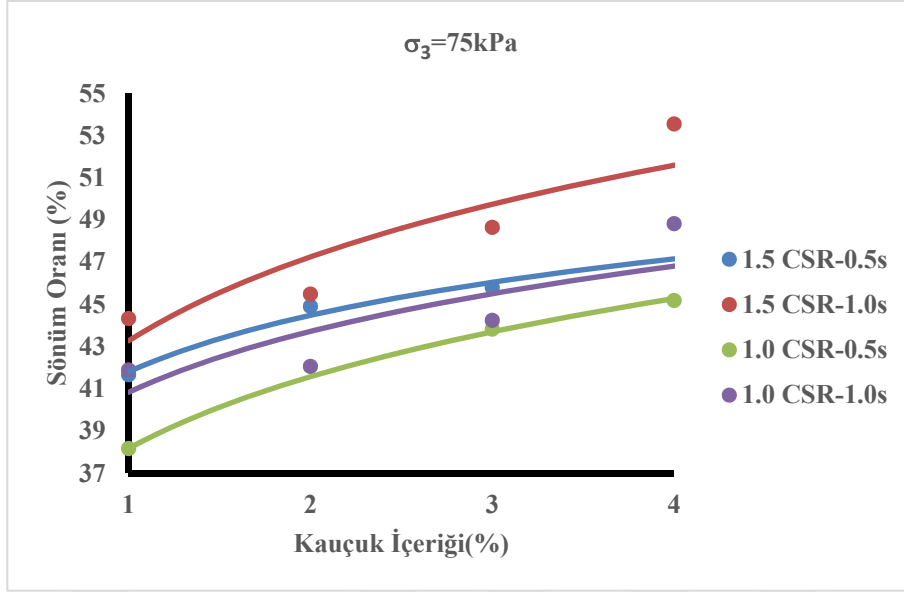


Şekil 3.17. Yükleme periyoduna bağı olarak elde edilen histeresis eğrileri



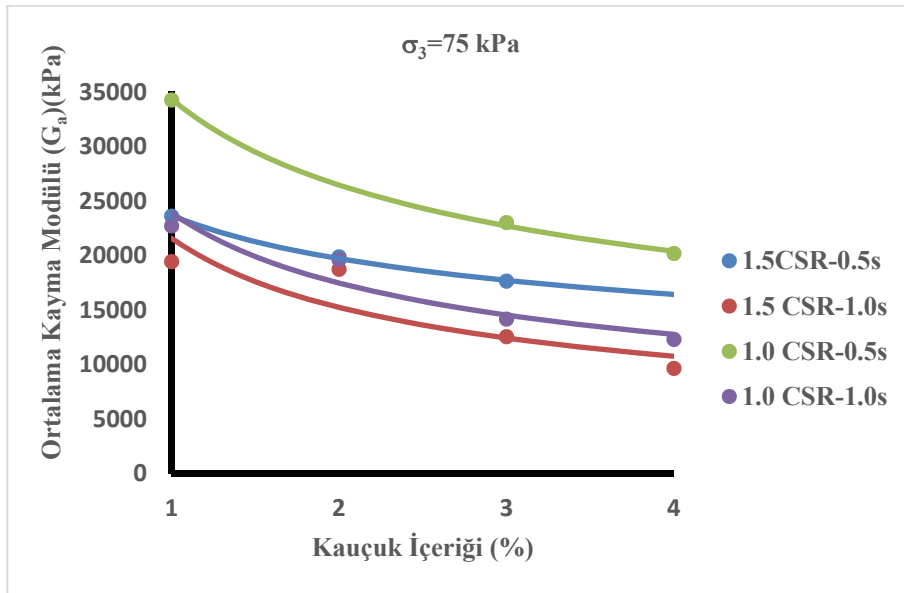
Şekil 3.18. Yükleme frekansının aksel şekil değıştirme yapabilme kapasitesi üzerindeki etkisi (Feizi-Khankandi vd., 2008)

Araştırmacılar bu durumu yüksek yükleme hızlarında asfaltın viskoz özelliğini ve esnekliğini yansıtamadığı şeklinde yorumlamıştır. Şekil 3.19'da kum-bitüm-kauçuk karışımlarına ait yükleme periyodu ve genliğine (CSR) bağı olarak sönüm oranlarının değışimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde 1.0s lik yükleme periyodundan elde edilen sönüm oranlarının 0.5s'den elde edilenlerden yaklaşık %10 daha fazla olduğu görülmüştür.



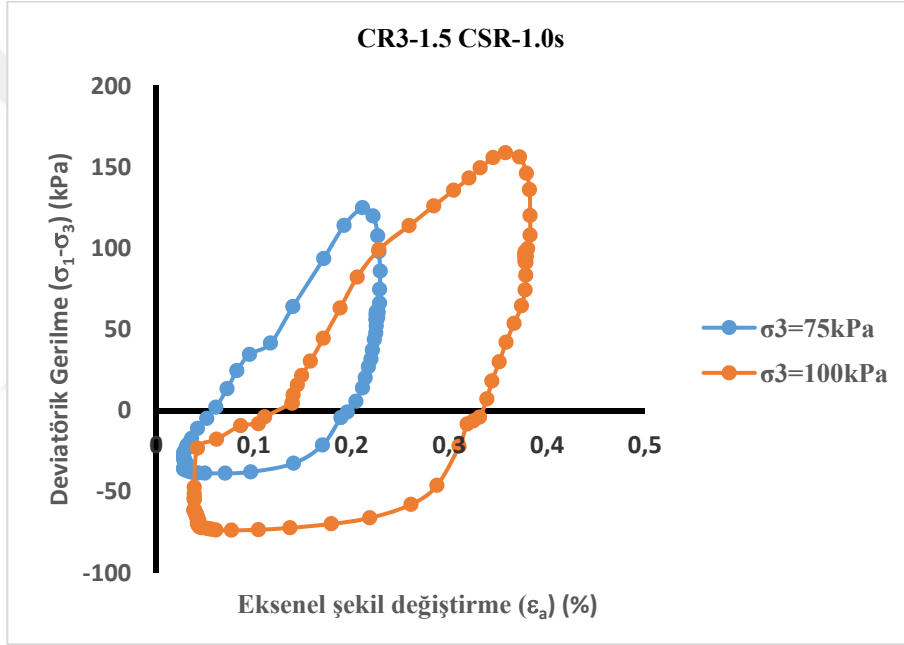
Şekil 3.19. Kum-Bitüm-Kauçuk karışımlarının sönüm oranlarının, kauçuk içeriği, yükleme periyodu ve CSR'ye bağlı değişimi

Kum-Bitüm-Kauçuk karışımlarının kayma modüllerinin; kauçuk içeriği, yükleme periyodu ve CSR'ye bağlı değişimi Şekil 3.20'de görülmektedir. Dinamik yükün periyodu uzadıkça, bitümlü numunelerin viskoz davranışı sebebiyle kayma şekil değiştirmeleri arttığı için kayma modülünün azaldığı söylenebilir.



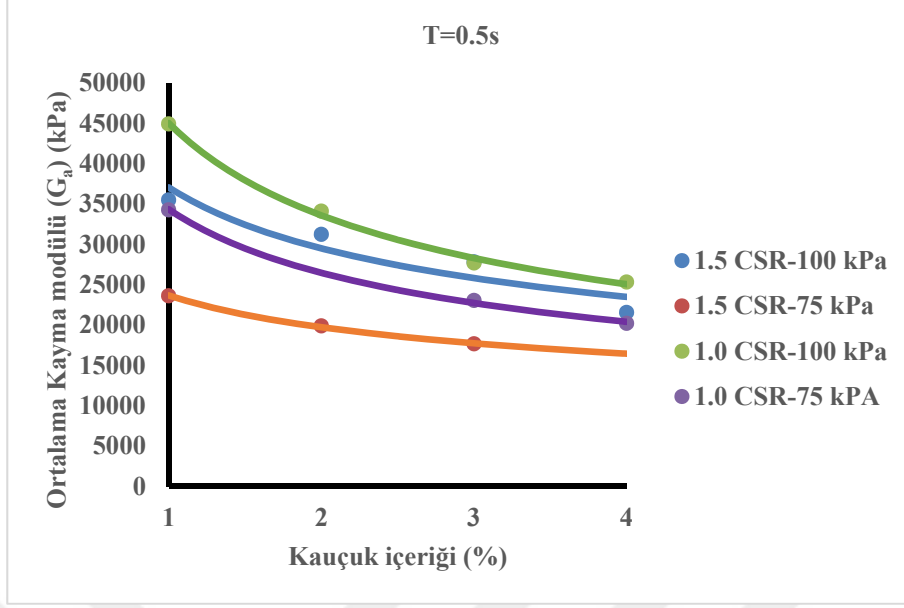
Şekil 3.20. Kum-Bitüm-Kauçuk karışımlarının kayma modüllerinin, kauçuk içeriği, yükleme periyodu ve CSR'ye bağlı değişimi

Geoteknik materyaller üzerinde yapılan şekil değiştirme kontrollü dinamik üç eksenli deneylerde genel olarak hücre basıncı arttıkça numunenin kayma modülünün arttığı, sönüm oranının azaldığı sonucu elde edilmiştir. Ancak bu çalışmada gerilme kontrollü dinamik üç eksenli deney kullanılmıştır. Dolayısıyla dinamik yüklemenin genliği ($CSR=(\sigma_1-\sigma_3)/\sigma_3$) hücre basıncına bağlı bir parametre olarak cihaza tanımlanmıştır. İki farklı hücre basıncı altında CR3 karışımlarına ait histeresis eğrileri Şekil 3.21’de görülmektedir. CSR hücre basıncına doğrudan bağımlı olduğu için hücre basıncı arttıkça numuneye uygulanan şekil değiştirme mertebesi de artmaktadır.



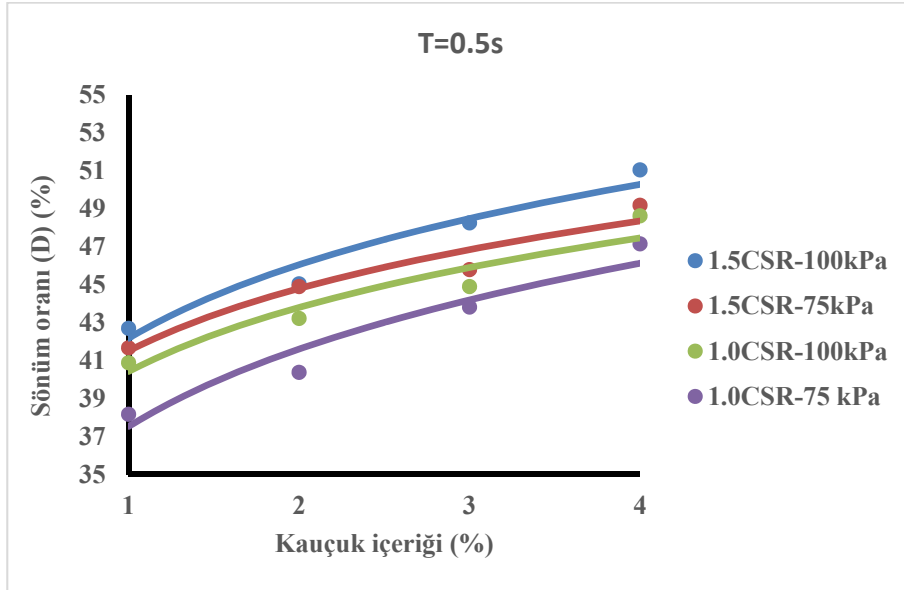
Şekil 3.21. Hücre basıncına bağlı olarak CR3 karışımları için histeresis eğrileri

Şekil 3.22’de kauçuk içeriği ve hücre basıncına bağlı olarak kayma modüllerinin değişimi görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere CSR ve kauçuk içeriğinden bağımsız olarak hücre basıncı arttıkça numunelerin kayma modüllerinin arttığı görülmektedir.



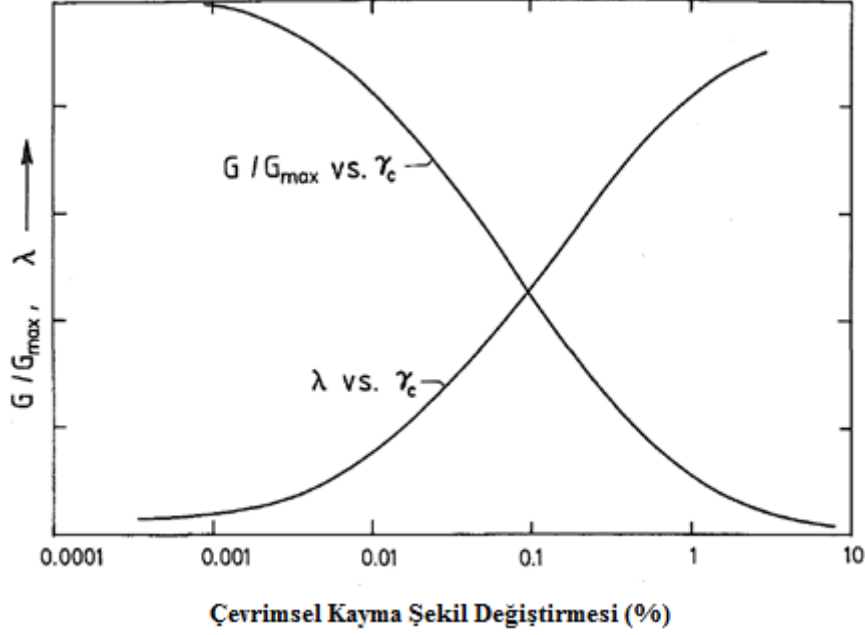
Şekil 3.22. Hücre basıncı, CSR ve kauçuk içeriğine bağlı kayma modüllerinin değişimi

Kayma modüllerinin davranışına benzer olarak, Şekil 3.23’de hücre basıncı arttıkça sönüm oranının da arttığı görülmektedir. Bu durumun oluşmasında yukarıda da bahsedildiği gibi CSR artmasıyla birlikte kayma şekil değiştirmelerinin artışı sebep olmaktadır.



Şekil 3.23. Hücre basıncı, CSR ve kauçuk içeriğine bağlı sönüm oranlarının değişimi

Uygulanan şekil değiştirme mertebesinin artışına bağlı olarak kayma modülü ve sönüm oranının değişimi Vucetic ve Dobry (1991) tarafından Şekil 3.24’te verilmiştir. Bu çalışmada, uygulanan çevrimsel kayma şekil değiştirmelerinin mertebesi arttıkça kayma modülünün önemli bir oranda düşerken sönüm oranının tam tersi şekilde arttığı belirlenmiştir. Dolayısıyla CSR arttıkça daha düşük kayma modülü, daha yüksek sönüm oranı görülmesinin nedeni bu ilişkinin bir sonucudur.



Şekil 3.24. Kayma şekil değiştirmesine bağlı kayma modülü ve sönüm oranının değişimi (Vucetic ve Dobry, 1991)

3.2. Çevrimsel Basit Kesme Deney Sonuçları

Dinamik üç eksenli deneylerde numunelere aksel olarak çift genlikli bir dinamik yükleme uygulanamamaktadır. Bu nedenle bitümlü numunelerin çift genlikli yükleme altında simetrik bir histeresis eğrisine sahip olarak dinamik parametrelerini belirleyebilmek için çevrimsel basit kesme deney aleti kullanılmıştır. Bu deneylerden elde edilen simetrik histeresis eğrilerinden numunelerin dinamik parametreleri (G_{sec} ve D), eşitlik 3.10 ve 3.11 kullanılarak belirlenmiştir (Kramer, 1996). Çalışma kapsamında yapılan çevrimsel direkt kesme deneylerine ait deney programı Tablo 3.3’te verilmiştir.

$$G_{\text{sec}} = \frac{\tau_{\text{max}} - \tau_{\text{min}}}{\gamma_{\tau_{\text{max}}} - \gamma_{\tau_{\text{min}}}} \quad (3.10)$$

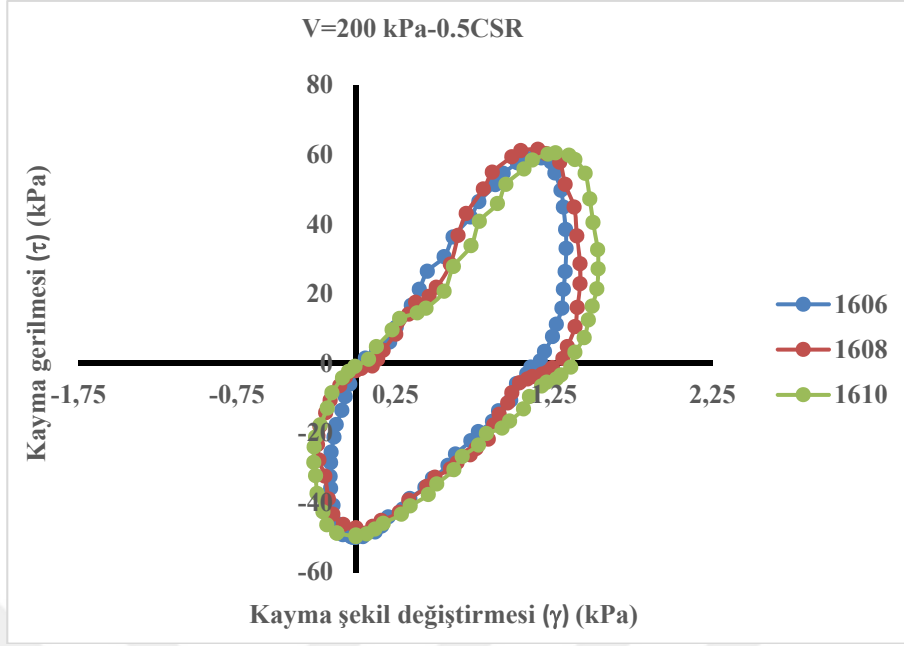
$$D = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{A_1}{A_\Delta} \right) \quad (3.11)$$

Tablo 3.3. Çevrimsel basit kesme deney programı

Numune Adı:	Bitüm Oranı (%)	Kauçuk Oranı (%)	Çevrimsel Gerilme Oranı (CSR)	Konsolidasyon basıncı (V) (kPa)
1606	6	-	0,3-0.4-0.5	100-200
1608	8	-	0,3-0.4-0.5	100-200
1610	10	-	0,3-0.4-0.5	100-200
CR1	10	1	0,2-0.4-0,6-0.8	100-200
CR2	10	2	0,2-0.4-0,6-0.8	100-200
CR3	10	3	0,2-0.4-0,6-0.8	100-200
CR4	10	4	0,2-0.4-0,6-0.8	100-200

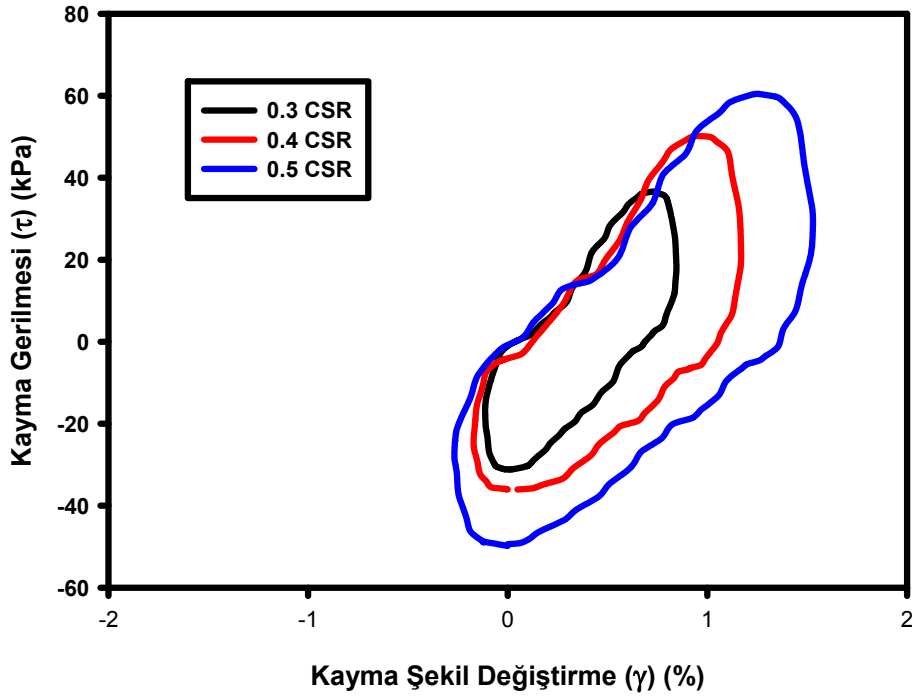
3.2.1. Kum-Bitüm Karışımlarına Ait Çevrimsel Basit Kesme Deney Sonuçları

Çevrimsel basit kesme deneylerine, öncelikle bitüm oranının kayma modülü ve sönüm oranı üzerindeki etkisini belirlenerek başlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak kum zemine ağırlığının %6, 8 ve 10'u oranında 160/220 penetrasyonlu bitüm konularak hazırlanan numunelerle deneyler yapılmıştır. Deneyler 3 farklı CSR (0.3, 0.4 ve 0.5), 2 farklı konsolidasyon basıncı (V=100 kPa, 200 kPa) ve sabit 1Hz çevrimsel frekansta yapılmıştır. Farklı bitüm oranları ve CSR değerleri için elde edilmiş histeresis eğrileri sırasıyla Şekil 3.25 ve 3.26'da görülmektedir.



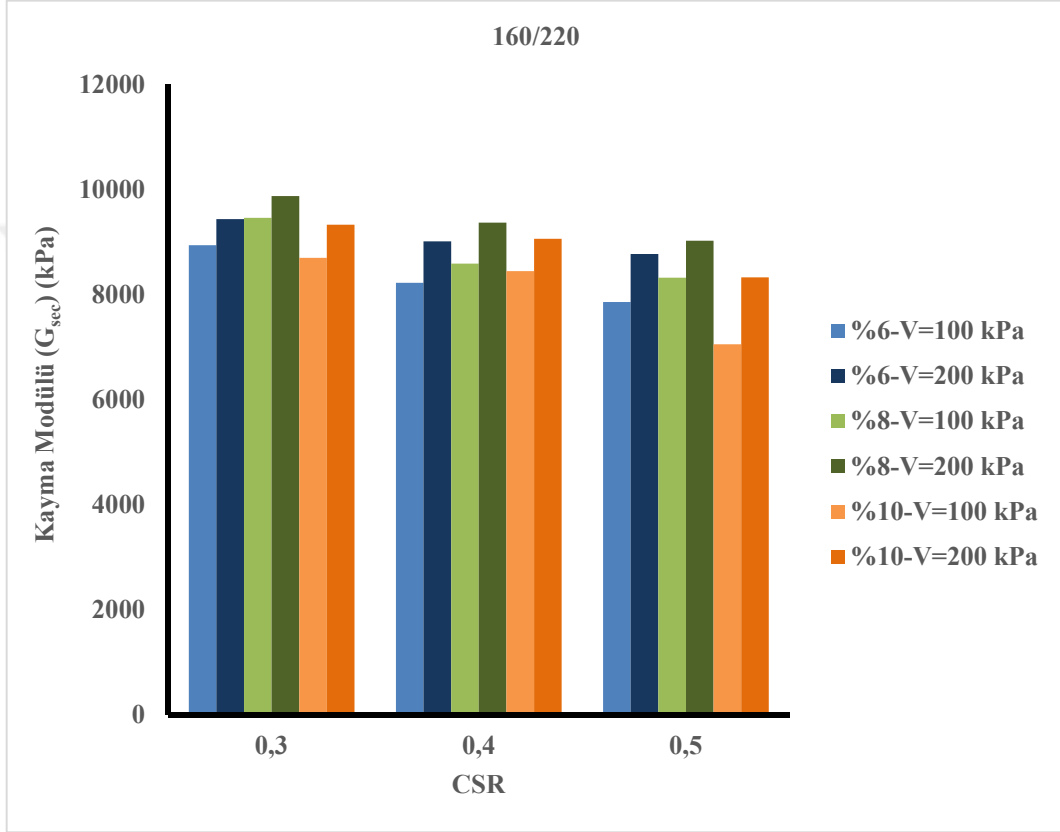
Şekil 3.25. Farklı bitüm içeriğine sahip numunelere ait simetrik histeresis eğrileri

%10 Bitüm Oranı-V=200 kPa



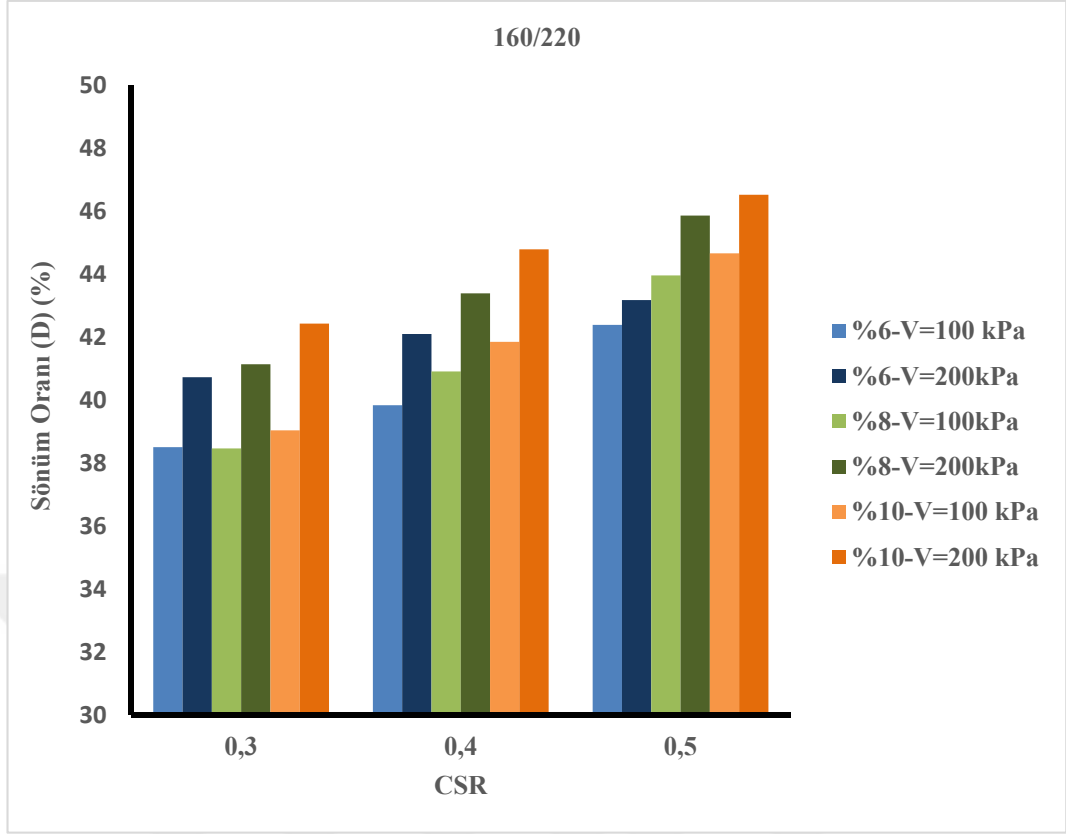
Şekil 3.26. Farklı CSR değerleri için çevrimsel basit kesme deneylerinden elde edilen histeresis eğrileri

Şekil 3.27 görüldüğü üzere dinamik üç eksenli deneylerin sonuçlarına benzer olarak maksimum kayma modülleri CSR ve konsolidasyon basıncından bağımsız olarak %8 bitüm oranında elde edilmiştir. Ayrıca CSR değeri arttıkça artan şekil değiştirme mertebelerine bağlı olarak kayma modülünün azaldığı, düşey konsolidasyon basıncı arttıkça kayma modülünün de arttığı görülmüştür.



Şekil 3.27. Farklı CSR değerleri için bitüm oranına bağlı kayma modülleri

Farklı bitüm oranlarına, CSR değerlerine ve konsolidasyon basınçlarına bağlı olarak sönüm oranının değişimi 3.28'de görülmektedir. Bitüm oranı, CSR ve konsolidasyon basınçlarındaki artışına paralel olarak sönüm oranları artmakta ve %38.5 ile %46.5 arasında bir değişim göstermektedir.



Şekil 3.28. Farklı CSR değerleri için bitüm oranına bağlı sönüm oranları

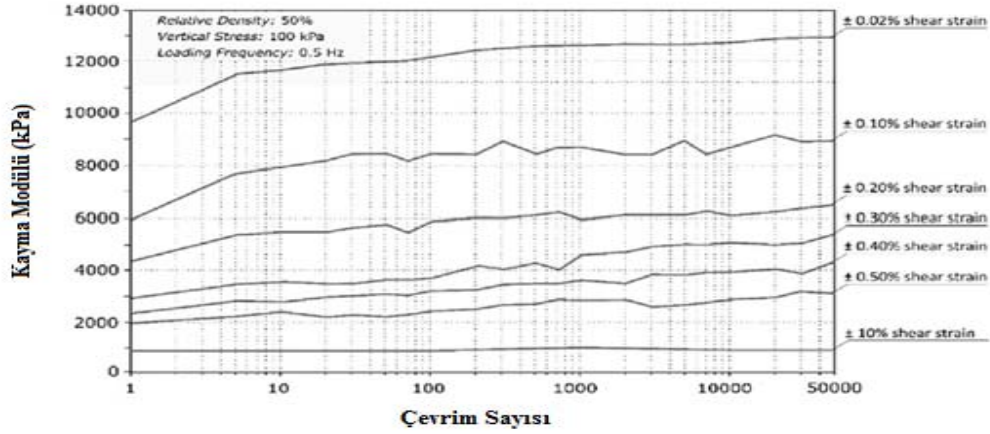
Çevrimsel basit kesme deneylerinde CSR ve konsolidasyon basıncının granüler veya kohezyonlu zeminlerin çevrimsel davranışı üzerindeki etkisinin araştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Nikitas vd. (2017) açık deniz rüzgar tribünlerinden oluşacak dinamik yüklemenin temel zeminin davranışına etkisini belirlemek için farklı CSR ve düşey konsolidasyon basınçlarında şekil değiştirme kontrollü çevrimsel basit kesme deney aleti ile deneysel bir çalışma yapmıştır. Deney aleti şekil değiştirme kontrollü olduğu için şekil değiştirme genliğini %0.02, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 ve 10 olarak girilmiş ve deneyler esnasında bu şekil değiştirme mertebesine karşılık gelen kayma gerilmelerini (τ_{cyc}) konsolidasyon basıncına (σ_v) bölünerek CSR değerleri elde etmiştir. Çalışmaya ait deney programı ve her bir şekil değiştirme mertebesine karşılık gelen CSR değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Tablo 3.4 incelendiğinde aynı konsolidasyon basıncında kayma şekil değiştirme mertebesi arttıkça CSR değerinin arttığı gözlenmiştir. Çift genlikli %0.5 şekil değiştirme mertebesine karşılık gelen CSR değeri 0.26 olarak görülmektedir. Bu şekil değiştirme mertebesine karşılık gelen kayma modülü, Şekil 3.29'da 200. çevrim için yaklaşık olarak 2500 kPa olarak elde edilmiştir. Bu değer benzer CSR değerinde Şekil

3.27’de verilen bitümlü kum numunelere ait kayma modülleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğu (yarısından daha az) gözlemlenmiştir.

Tablo 3.4. Nikitas vd. (2017) tarafından yapılan çalışmaya ait deney programı

Series	Test	Relative density, D_r	Frequency (Hz)	Vertical stress, σ_v (kPa)	Shear strain amplitude (%)	Estimated ^a Cyclic stress ratio (CSR), τ_{max}/σ_v	Cycles
A	T1	50%	0.5	100	0.02	0.05	50,000
	T2	50%	0.5	100	0.1	0.13	50,000
	T3	50%	0.5	100	0.2	0.17	50,000
	T4	50%	0.5	100	0.3	0.18	50,000
	T5	50%	0.5	100	0.4	0.20	50,000
	T6	50%	0.5	100	0.5	0.26	50,000
	T7	50%	0.5	100	10.0	0.95	50,000
B	T3_1	50%	0.5	25	0.2	0.84	50,000
	T3_2	50%	0.5	50	0.2	0.2	50,000
	T3_3	50%	0.5	200	0.2	0.22	50,000
C	T3_a	25%	0.5	100	0.2	0.15	50,000
	T3_b	75%	0.5	100	0.2	0.14	50,000

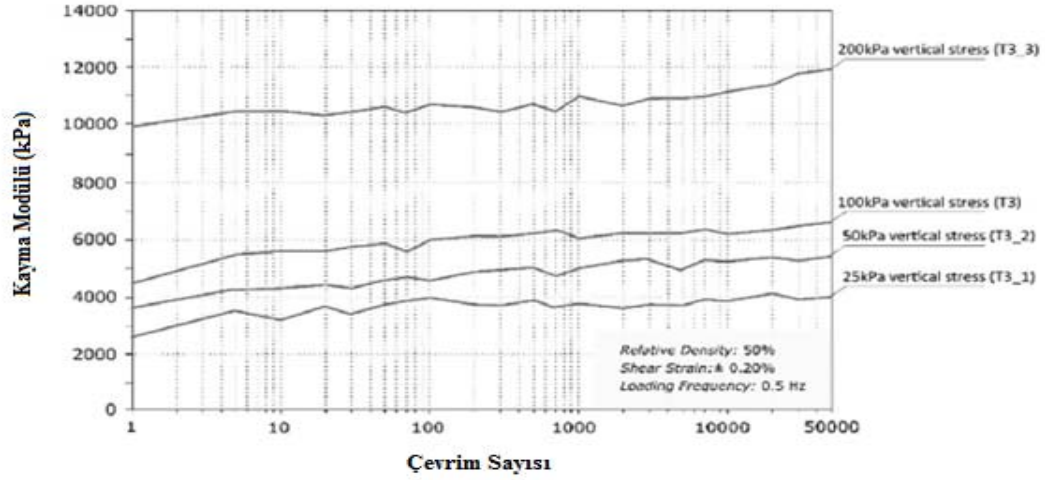
Nikitas vd. (2017), 100 kPa konsolidasyon basıncı için çevrim sayısına bağlı olarak kayma modülünün değişimini Şekil 3.29’de vermiştir. Kayma şekil değiştirmesinin mertebesi arttıkça kayma modülünün azaldığı, çevrim sayısının artmasına bağlı olarak tüm şekil değiştirme mertebelerinde kayma modülünün arttığı görülmektedir.



Şekil 3.29. Nikitas vd. (2017) tarafından verilen kum zeminde kayma modülünün şekil değiştirme ve çevrim sayısına bağlı olarak değişimi

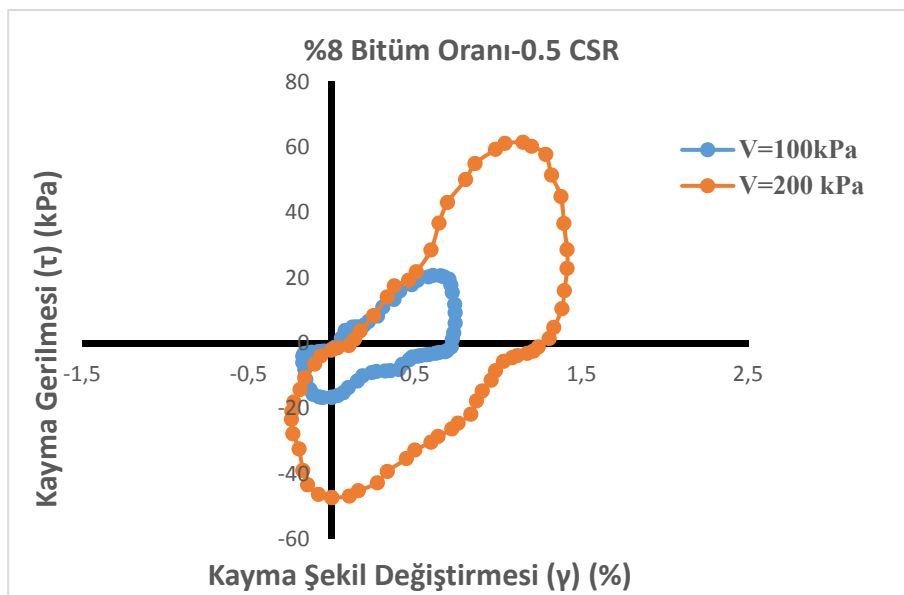
Nikitas vd. (2017) yaptıkları çalışmadan elde ettikleri konsolidasyon basıncının kayma modülü üzerindeki etkisi Şekil 3.30’da görülmektedir. Bu şekil incelendiğinde konsolidasyon basıncı arttıkça kayma modülünün de arttığı görülmektedir. Bitüm-kum karışımlarının kayma modülünde konsolidasyon basınçlarındaki artışa dayalı olarak önemli

bir artış olmazken, kum zeminlerin kayma modülü konsolidasyon basıncına bağlı olarak ciddi artışlar göstermektedir.



Şekil 3.30. Nikitas vd. (2017) tarafından verilen kum zeminde kayma modülünün konsolidasyon basıncı ve çevrim sayısına bağlı olarak değişimi

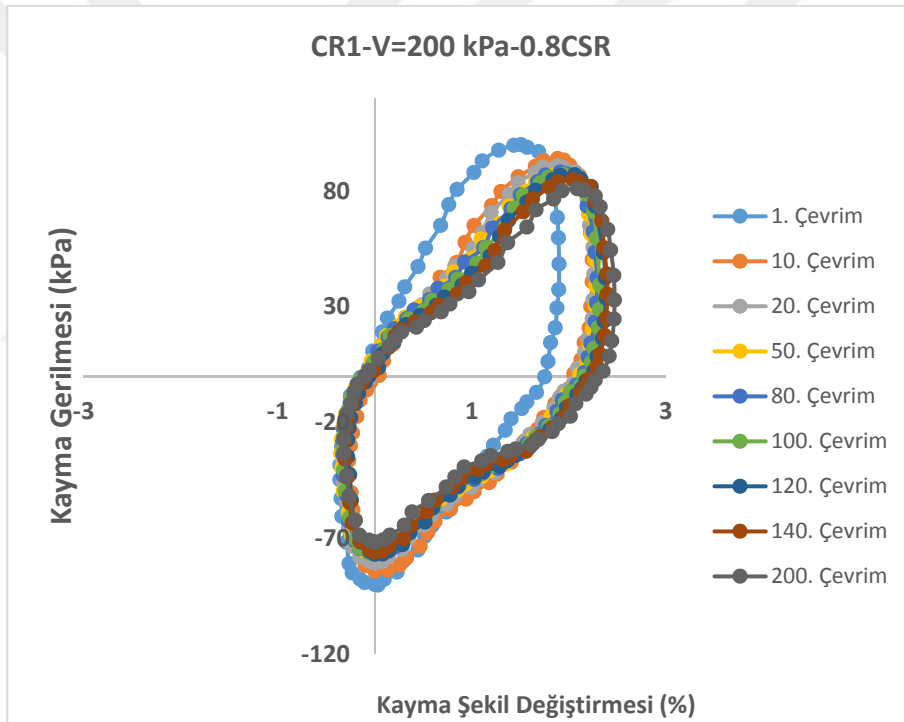
Şekil 3.31'de, 1608 numunelerinden (%8 160/220 Bitüm içeren) iki farklı konsolidasyon basıncından elde edilmiş histeresis eğrileri verilmiştir. Literatüre benzer olarak konsolidasyon basıncı arttıkça daha yüksek kayma modülünün olduğu görülmektedir.



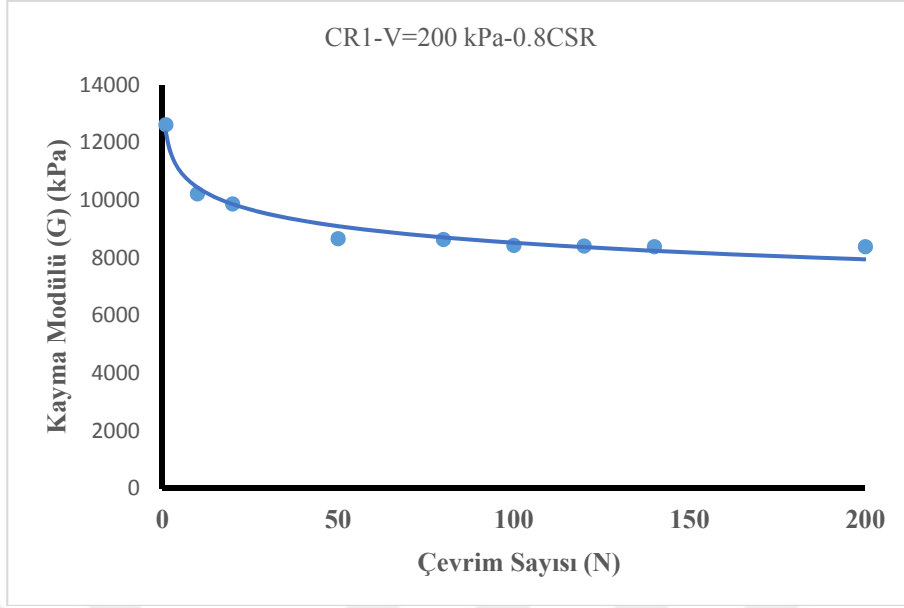
Şekil 3.31. Konsolidasyon basıncına göre elde edilen histeresis eğrileri

3.2.2. Kum-Bitüm-Kauçuk Karışımlarının Sonuçları

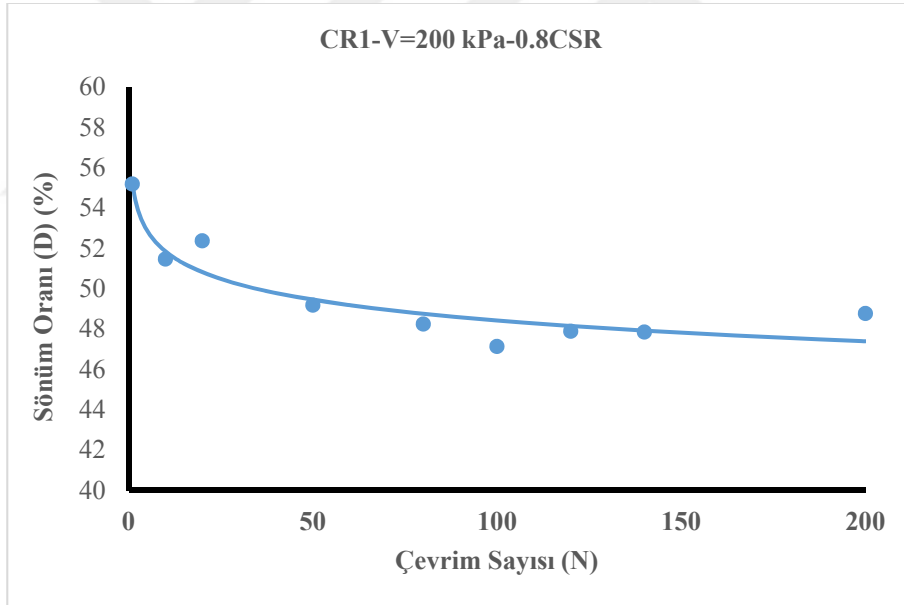
Bitümlü kum numunelerle ilgili çalışmalar tamamlandıktan sonra kauçuk içeren numunelerin deneylerine başlanmıştır. Tüm numunelere uygulanan çevrim sayısı 200 dür. Farklı çevrimlerden elde edilen histeresis eğrileri Şekil 3.32’de görülmektedir. Şekil incelendiğinde çevrim sayısı arttıkça maksimum şekil değiştirme mertebesinin de arttığı görülmektedir. Farklı çevrimlerden elde edilen kayma modülü ve sönüm oranı değerlerinin değişimi Şekil 3.33 ve 3.34’te verilmiştir. Her iki şekil incelendiğinde çevrim sayısı arttıkça numunenin kayma modülü ve sönüm oranı değerlerinin azaldığı ancak 100. çevrimden sonra önemli bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.32. Farklı çevrimlerden elde edilen histeresis eğrileri

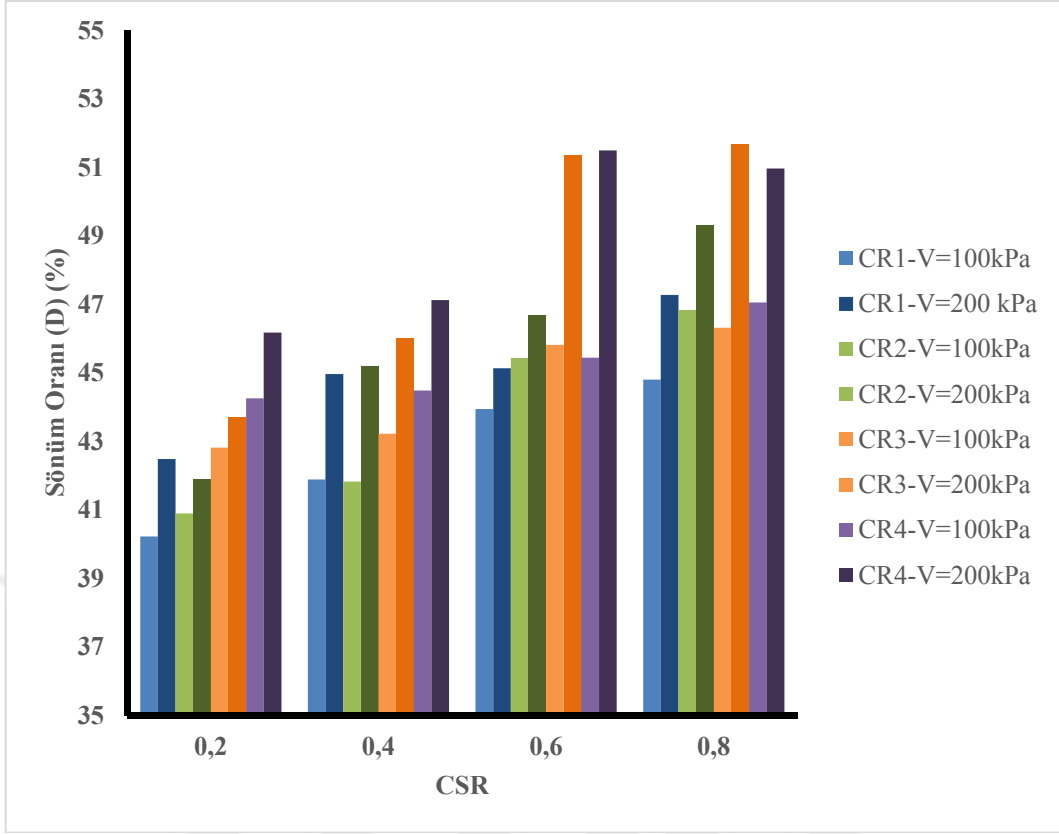


Şekil 3.33. CR1 numunesinin çevrim sayısına bağlı kayma modülünün değişimi



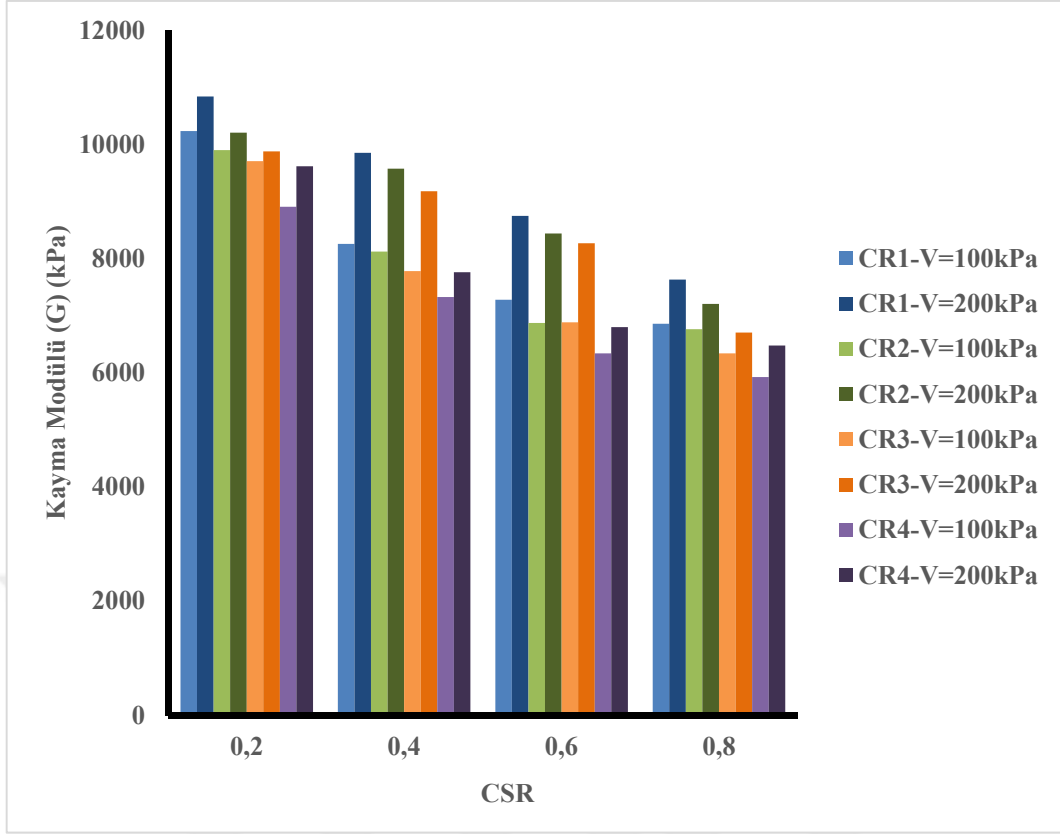
Şekil 3.34. CR1 numunesinin çevrim sayısına bağlı sönüm oranının değişimi

Şekil 3.33 incelendiğinde CSR ve konsolidasyon basıncı arttıkça sönüm oranının arttığı görülmektedir. Kauçuk içeriği arttıkça da sönüm oranının arttığı gözlenmiştir. Ancak yüksek CSR değerlerinde (0.6 ve 0.8) %3 kauçuk içeriğinden daha fazla olmasının sönümleme üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.35. Kauçuk içeriği, konsolidasyon basıncı ve CSR'ye bağlı olarak sönüm oranının değişimi

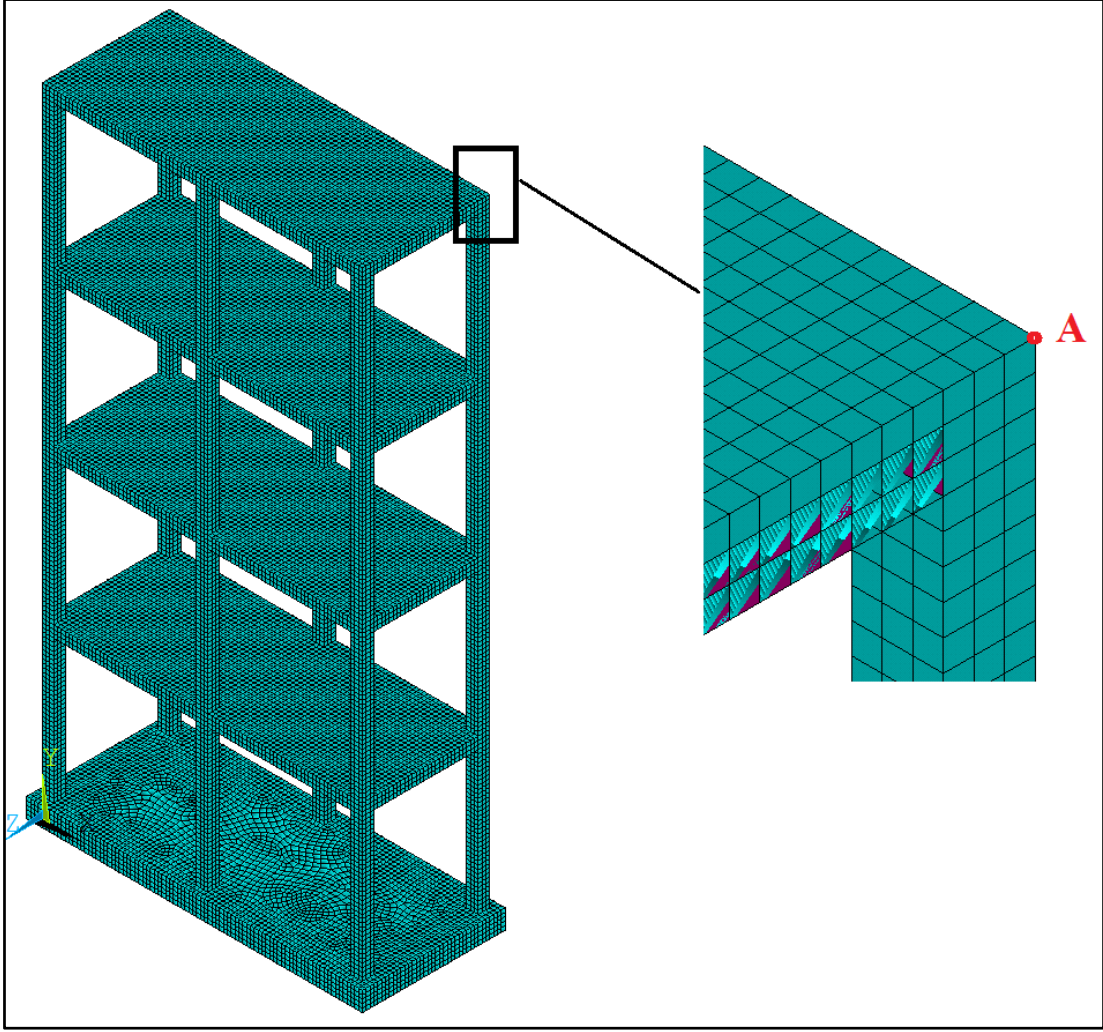
Şekil 3.36 incelendiğinde ise CSR ve kauçuk içeriği arttıkça kayma modülünün azaldığı görülmektedir. Beklenildiği üzere konsolidasyon basıncı arttıkça kayma modülünün de arttığı görülmüştür.



Şekil 3.36. Kauçuk içeriği, konsolidasyon basıncı ve CSR'ye bağlı olarak kayma modülünün değişimi

3.3. Sayısal Modelleme Sonuçları

Bu bölümde bitüm içerikli geomateriyalin farklı yüksekliklerdeki yapıların altına çeşitli boyutlarda yerleştirilmesinin üst yapının sismik davranışına etkisi sayısal modellerle incelenmiştir. Bitümlü geomateriyalin etkisini karşılaştırmak için her bir sayısal modelde zemine ankatre bağlı yapının en üst noktasındaki düğüm noktasından alınan zamana bağlı ivme ve yer değiştirme değerleri ile bitümlü geomateriyalin kullanıldığı modeldeki aynı koordinatlara sahip A düğüm noktasından alınan değerler karşılaştırılmıştır (Şekil 3.37).



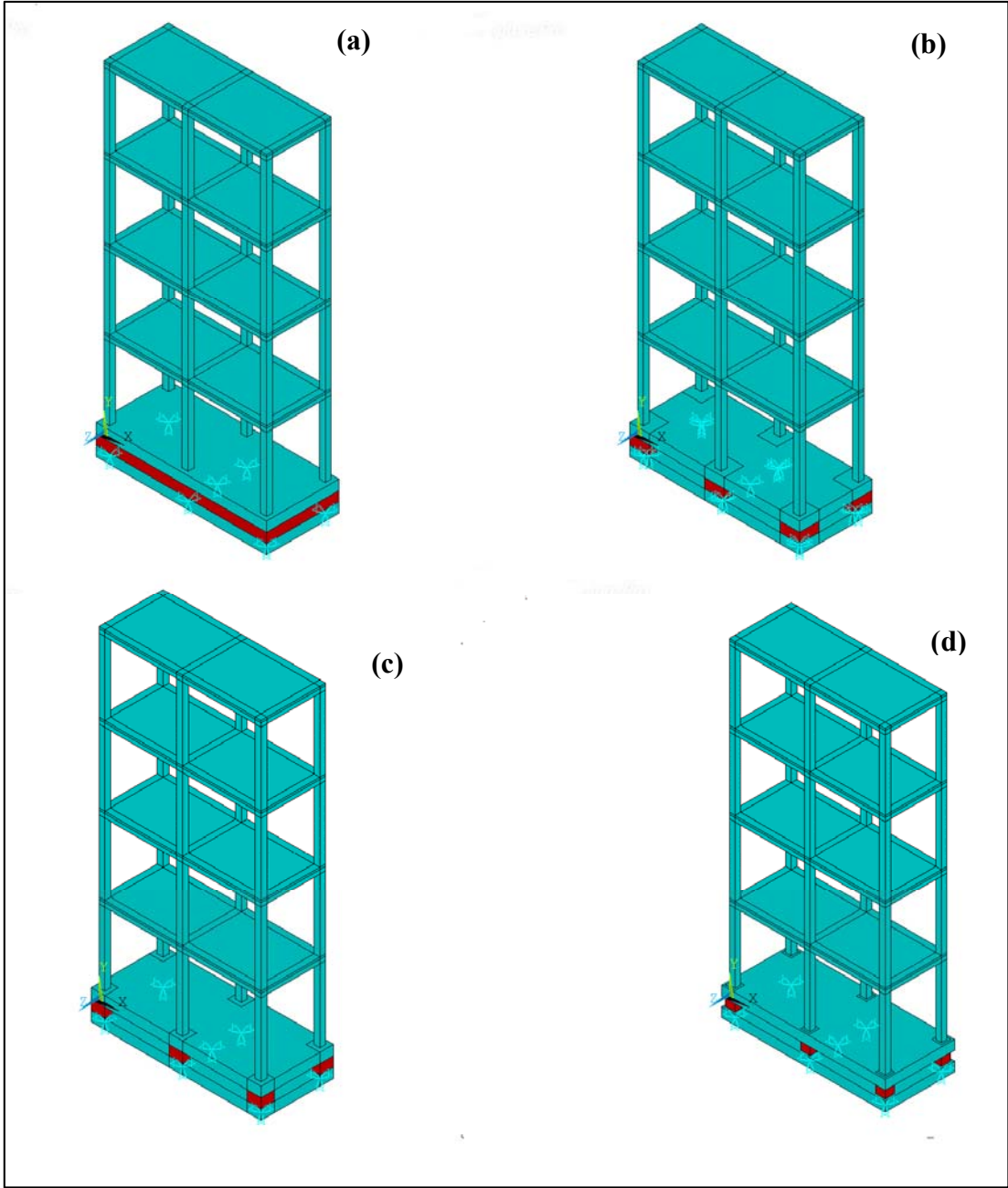
Şekil 3.37. Üst yapıda ivme ve yer değiştirme değerlerinin alındığı A düğüm noktası

Oluşturulan 3 boyutlu modellere deprem ivmeleri etki ettirilmeden önce bitümlü tabakanın modelin davranışına olan etkisini gözlemleyebilmek için modal analizler yapılmıştır. Yapılan tüm sayısal modellerin, 1. ve 12. modlarına ait açısal frekans değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde beklenildiği üzere kat sayısı arttıkça frekansın azaldığı bir başka deyişle yapının periyodunun uzadığı görülmektedir. Öte yandan özellikle 4 katlı yapının altında yerleştirilen bitümlü geomateryalin boyutları yapının periyodu üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Uygulanan geomateryal sismik izolasyon amaçlı yerleştirildiğinden yapının periyodunu uzatması ve böylelikle yapıya etki edecek kesme kuvvetlerinin azaltılması istenilen bir olgudur.

Tablo 3.5. Sayısal modellere ait modal frekanslar

Kat Sayısı	Bitümlü Geomateryalin Boyutları (uzunluk*genişlik*yükseklik) (m)	1.Mod (rad/sn)	12.Mod (rad/sn)
2	-----	19.5219	229.1164
2	0.5x0.5x0.5	5.8518	79.1619
4	-----	9.7666	92.1743
4	8.7x3.7x0.5	8.0532	73.5258
4	1.0x1.0x0.5	4.7783	52.6116
4	0.7x0.7x0.5	3.7494	51.8652
4	0.5x0.5x0.5	2.7097	51.3883
4	0.5x0.5x0.3	3.5724	51.7791
4	0.5x0.5x0.7	2.2494	51.2136
4	0.5x0.5x1.0	1.8273	51.0672
6	-----	6.3077	63.7618
6	0.5x0.5x0.5	1.6055	35.1814

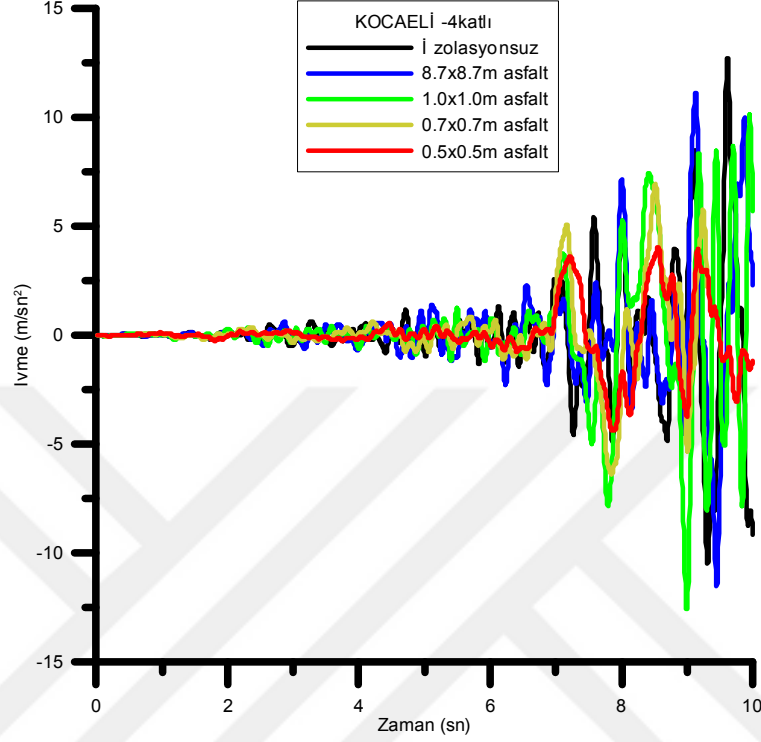
Bitüm içerikli geomateryalin yapının davranışına etkisini belirleyebilmek için 4 katlı yapının altına temel ile aynı boyutlarda tek bir tabaka olarak tanımlanmış (8.7x3.7), sonrasında her kolonun altında sırasıyla 1.0x1.0, 0.7x0.7 ve 0.5x0.5m olacak şekilde periyodik temellere benzer şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.38). Böylelikle tabakanın plandaki boyutlarının yapının sismik performansına olan etkisi belirlenmiştir.



Şekil 3.38. Farklı boyutlarda izolatör yerleştirilmiş modeller, (a) 8.7x3.7, (b) 1.0x1.0, (c) 0.7x0.7, (d) 0.5x0.5

İzolasyonsuz ve farklı boyutlarda izolasyon tabakası ile oluşturulmuş modellerin 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem ivmesine (maksimum yer ivmesi 0.36g) göre elde edilmiş ivme ve yer değiştirme değerlerinin zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.39'da verilmiştir. Temelin altında tamamen asfalt tabakası olmasının (8.7x3.7m) yapıdan ölçülen ivme değerlerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak her bir kolonun altına

yerleştirilen bitümlü geomateryallerin plandaki boyutları azaldıkça tabakanın etkinliğinin de arttığı ve ivmelerin oldukça azaldığı görülmektedir.



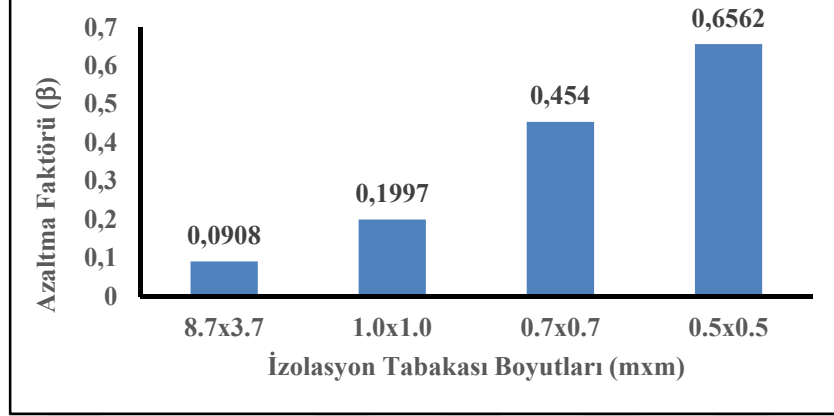
Şekil 3.39. Farklı boyutlarda izolasyon tabakalarının yapının zamana bağlı ivme değerlerine etkisi

Tabakanın etkinliğini karşılaştırabilmek için, ivmelerdeki azalmayı gösteren azaltma faktörü (β), eşitlik (3.6) ile tanımlanmıştır:

$$\beta = \frac{|a_{\max,izolasyonlu} - a_{\max,izolasyonsuz}|}{a_{\max,izolasyonsuz}} \quad (3.10)$$

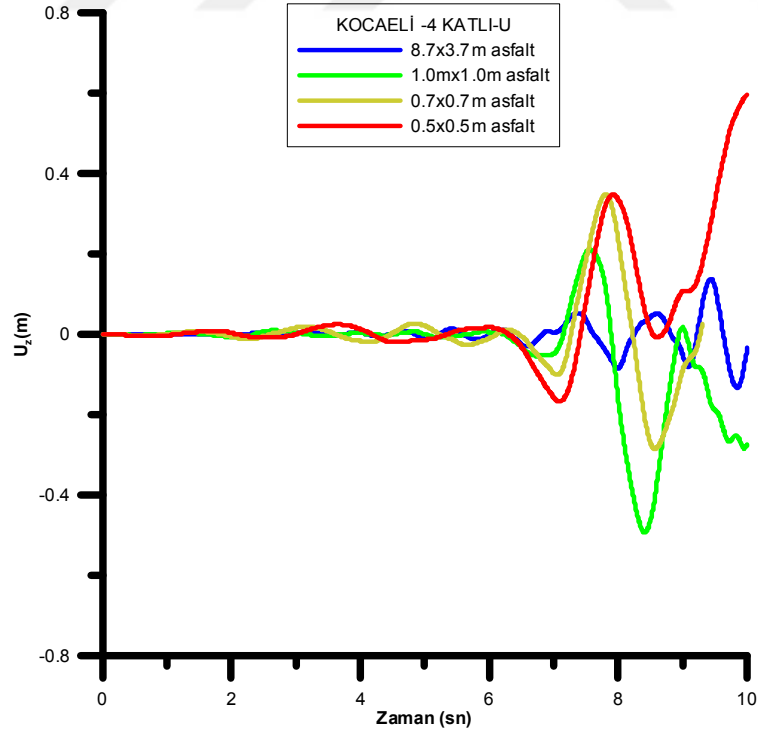
Burada, a_{\max} : zaman tanım aralığında ölçülen mutlak değerce en yüksek ivme değeridir. İzolasyon tabakasının boyutlarına bağlı olarak elde edilen azaltma faktörleri Şekil 3.40'ta görülmektedir. Temel tabakasının altında tamamen bitümlü geomateryal olması durumunda azaltma faktörü % 9 mertebelerinde iken 0.5x0.5 boyutlu bitümlü geomateryal kullanıldığında bu oran %65'in üzerine çıkmaktadır. Analizlerde daha küçük

boyutlarda geomateryaller kullanıldığında program yakınsama problemi vermiştir. Bu nedenle plandaki ideal pabuç boyutları 0.5x0.5m olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.40. İzolasyon boyutlarına göre azaltma faktörleri

Şekil 3.41'de ise izolasyon tabakasının boyutlarına göre aynı düğüm noktasındaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimleri verilmiştir.

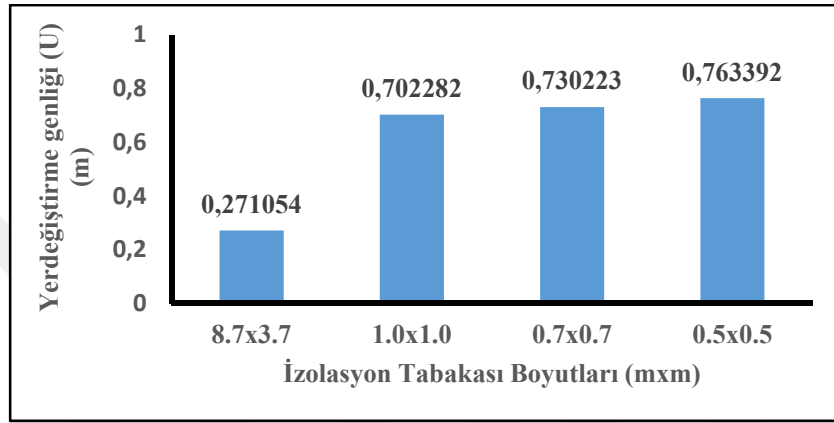


Şekil 3.41. Farklı boyutlarda izolasyon tabakalarının yapının zamana bağlı z doğrultusundaki yerdeğişimleri

İzolasyon tabakasının yer değiştirme üzerindeki etkisini karşılaştırmak için A düğüm noktasından elde edilen maksimum ve minimum değerlerin farkları (yer değiştirme genliği) karşılaştırılmıştır (Şekil 3.42). Bu karşılaştırma eşitlik (3.11) ile tanımlanan yer değiştirme genliği U parametresi ile yapılmıştır:

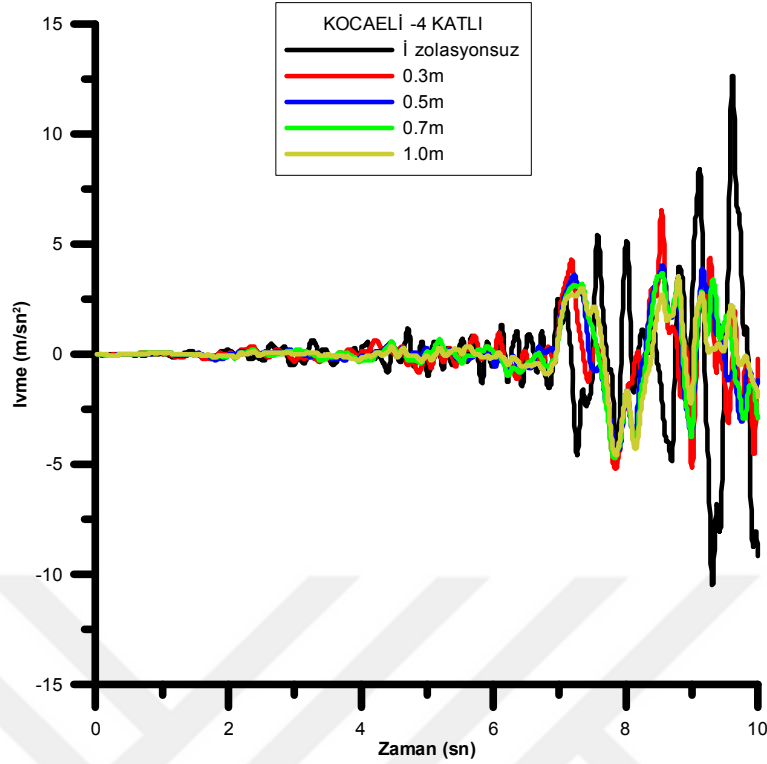
$$U = |u_{\max} - u_{\min}| \quad (3.11)$$

Burada, u_{\max} : pozitif en büyük yer değiştirme, u_{\min} : negatif en küçük yer değiştirmedir.

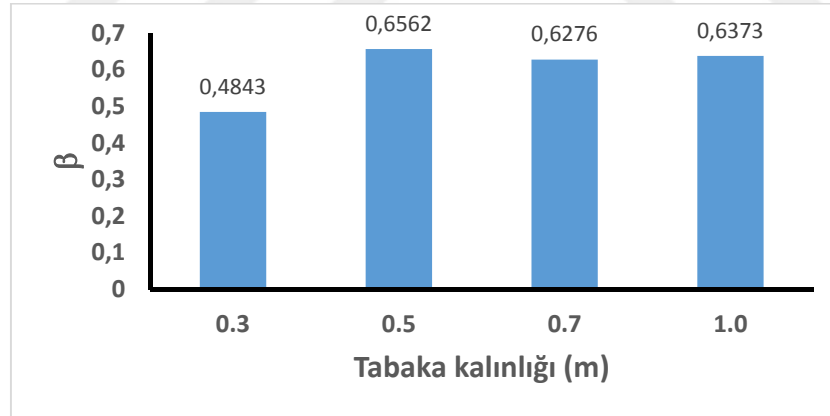


Şekil 3.42. İzolasyon tabakası boyutlarına bağlı yer değiştirme genlikleri

Sayısal analiz sonuçlarına göre bitüm içerikli geomateryalin plandaki boyutlarına karar verildikten sonra izolasyon tabakasının kalınlığının, model yapının davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak 0.5x0.5m plandaki boyutları olan bitümlü geomateryal blok, her bir kolon aksının altına sırasıyla 0.3, 0.5, 0.7 ve 1.0m kalınlıklarda yerleştirilmiş olup sonrasında deprem ivmesi uygulanmıştır. Analizler sonrasında zamana bağlı ivme değişimi Şekil 3.43'te verilmektedir. Şekil 3.43 incelendiğinde 0.3m kalınlıkta elde edilen ivme değerleri diğer kalınlıklardan daha fazla olduğu görülmektedir. Azaltma faktörleri açısından tabaka kalınlığının 0.5m'den daha fazla olmasının yapının ivme değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Şekil 3.44).



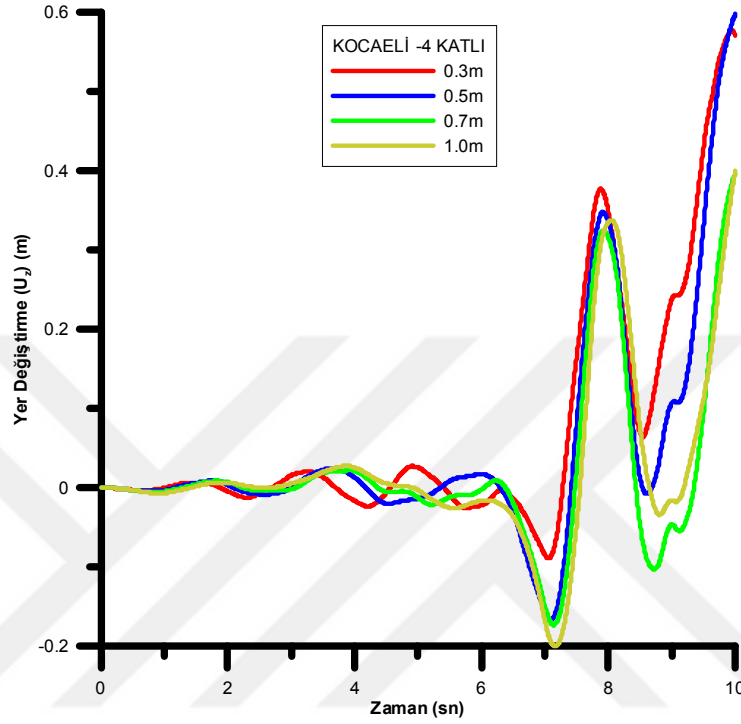
Şekil 3.43. Tabaka kalınlığına bağlı olarak yapının zamana bağlı ivme değerleri



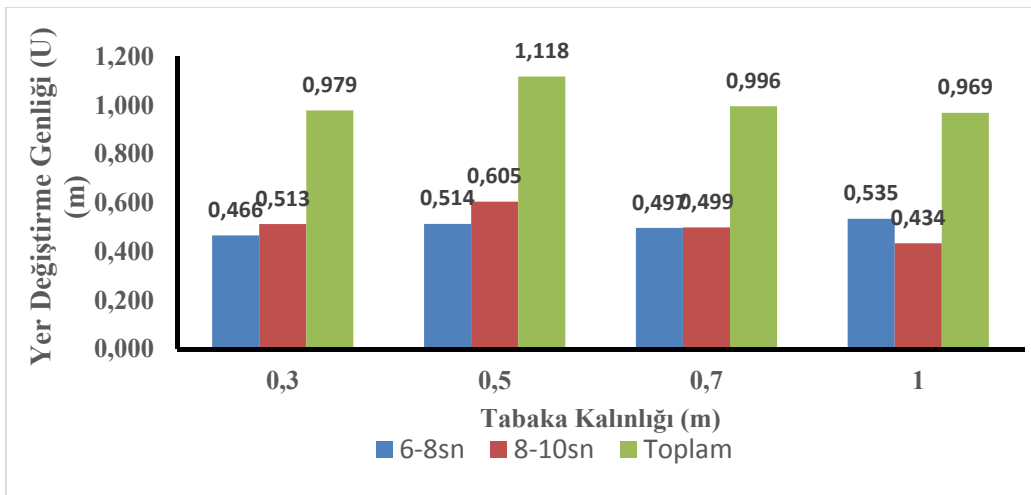
Şekil 3.44. Tabaka kalınlığına bağlı azaltma faktörleri

Şekil 3.45 incelendiğinde ise 6 ve 8. sn arasındaki ve 8 ile 10 sn arasındaki maksimum ve minimum yer değiştirme değerleri karşılaştırıldığında en az yer değiştirmenin 0.3m kalınlıktaki tabakada olduğu gözlemlenmiştir. Yer değiştirme genliği açısından daha sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için bu iki zaman aralığındaki (6 ile 8sn ve 8 ile 10sn arası) yer değiştirme genlikleri ayrı ayrı belirlenerek Şekil 3.46'da verilmiştir. Yer değiştirme genlikleri açısından bir karşılaştırma yapıldığında toplam

değerler açısından maksimum değer 0.5m tabaka kalınlığında olduğu görülmektedir. Sonuç olarak hem azaltma faktörü hem de yer değiştirme genliği değerleri göz önünde bulundurulduğunda 0.5m kalınlığın ideal sönümleyici kalınlığı olduğu belirlenmiştir.

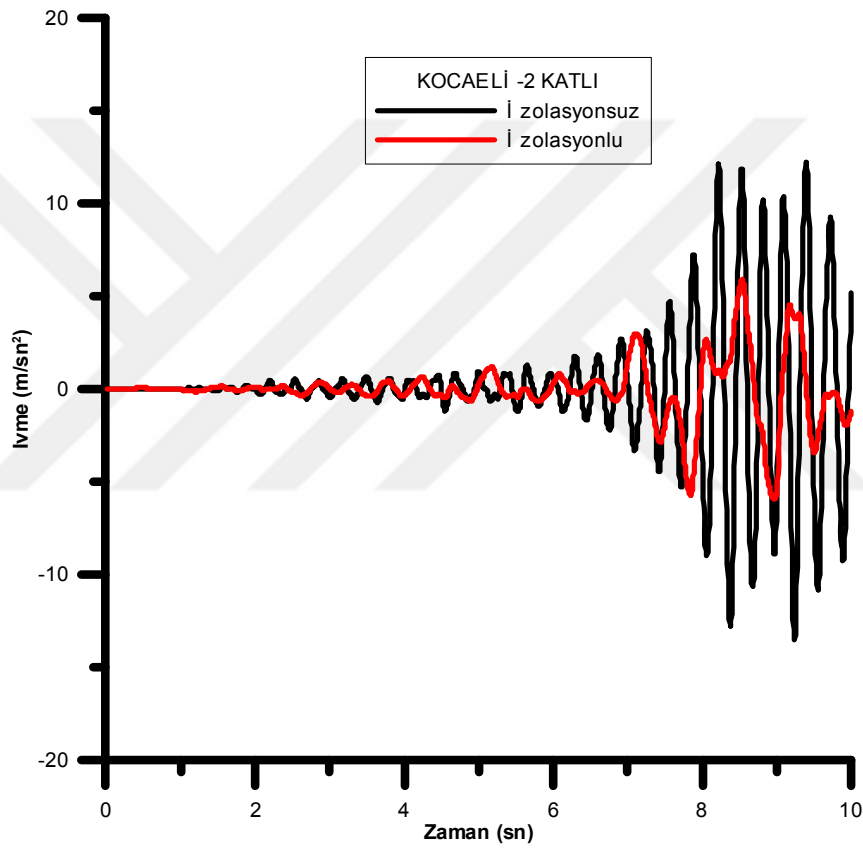


Şekil 3.45. Tabaka kalınlığına bağlı olarak yapının zamana bağlı yer değiştirme değerleri

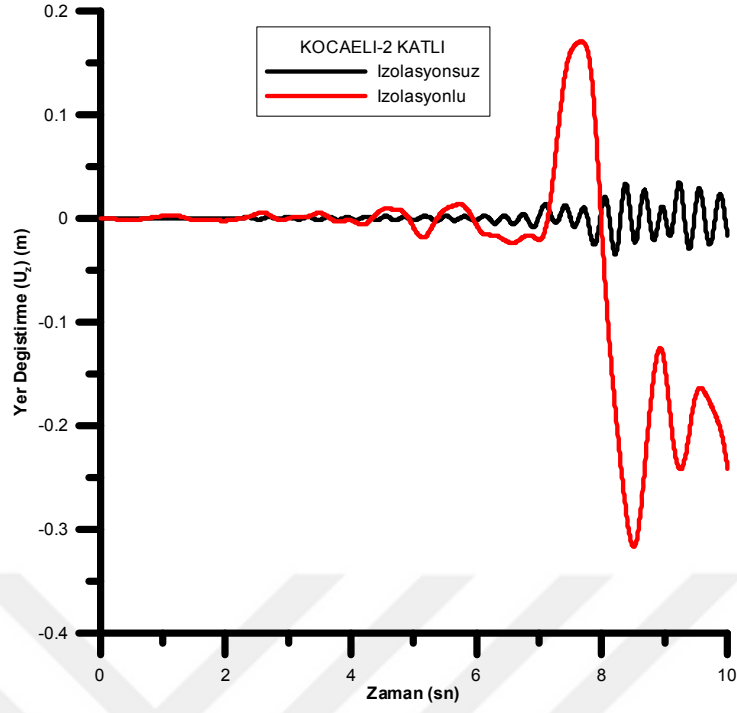


Şekil 3.46. İzolasyon tabakası kalınlığına bağlı yer değiştirme genlikleri

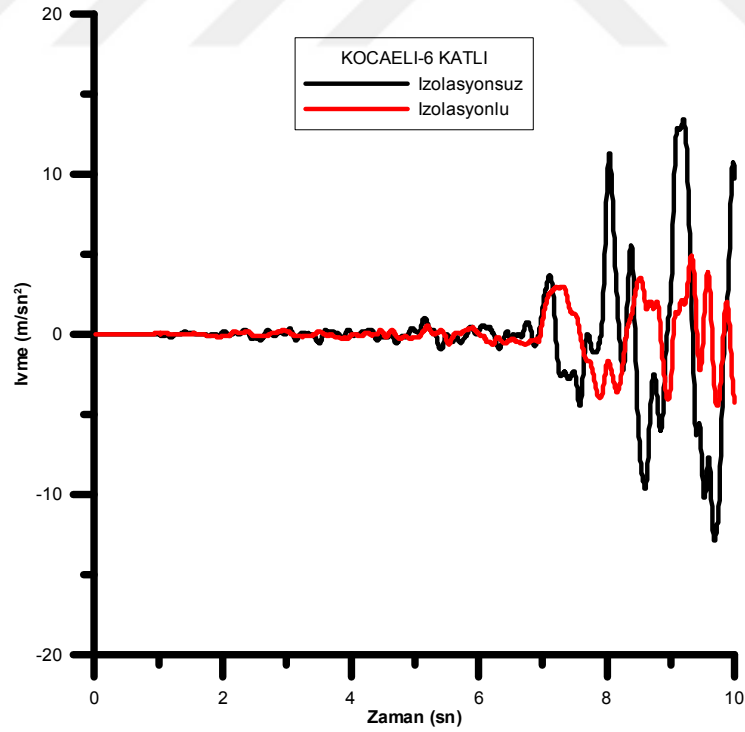
4 katlı yapı modelleri üzerinde yapılan analiz sonuçlarına göre ideal sönümleyici boyutu her bir kolonun altına yerleştirilmek üzere $0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ m}$ olarak belirlenmiştir. Bu modele ait yazılan ANSYS log-file kodları Ek-3'te verilmiştir. Bu boyuttaki bitüm içerikli malzemenin farklı yüksekliklerdeki yapılardaki etkisini incelemek için aynı boyutlardaki sönümleyici eleman, 2 ve 6 katlı yapıların altına yerleştirilerek Kocaeli Depremi etkisi altında analiz edilmiştir. Bu analizler sonucu elde edilen ivme-zaman, yer değiştirme-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 3.47-50 arasında verilmiştir.



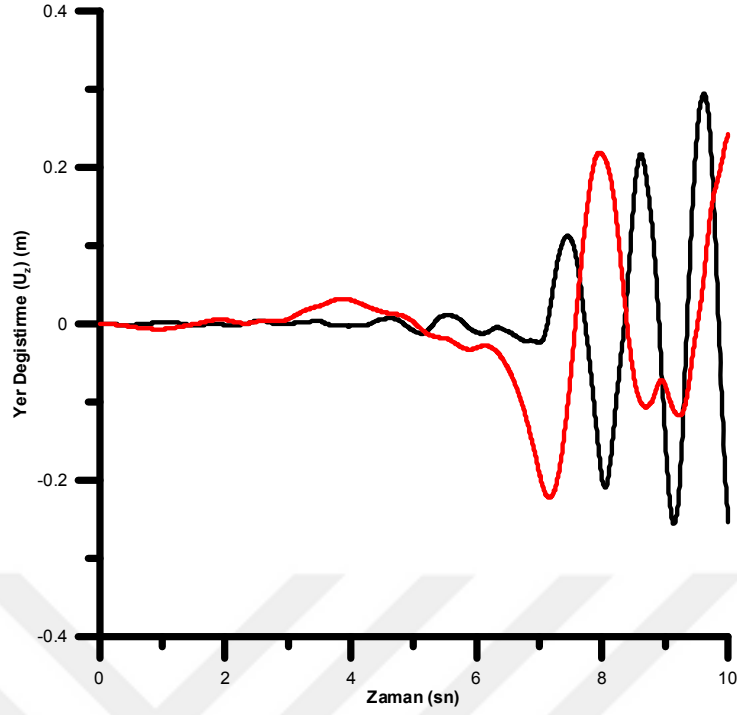
Şekil 3.47. 2 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz modellere ait ivme-zaman grafiği



Şekil 3.48. 2 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz modellere ait yer değiştirme-zaman grafiği

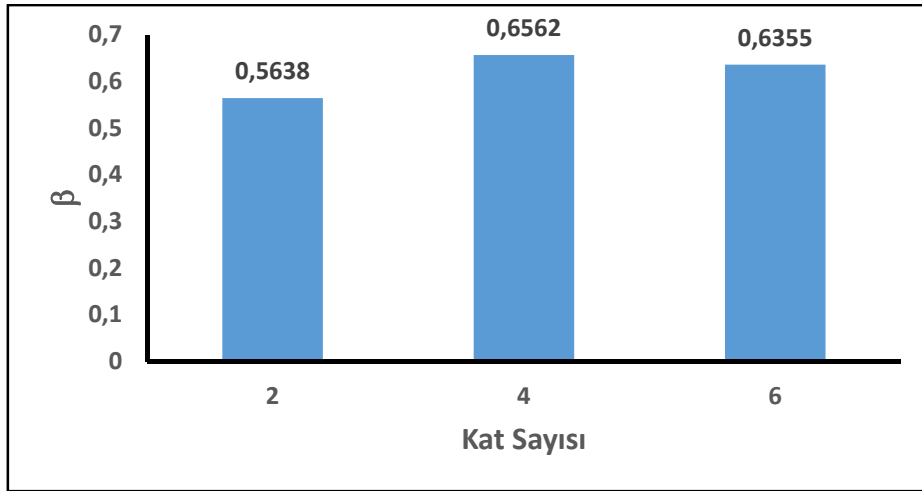


Şekil 3.49. 6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz modellere ait ivme-zaman grafiği



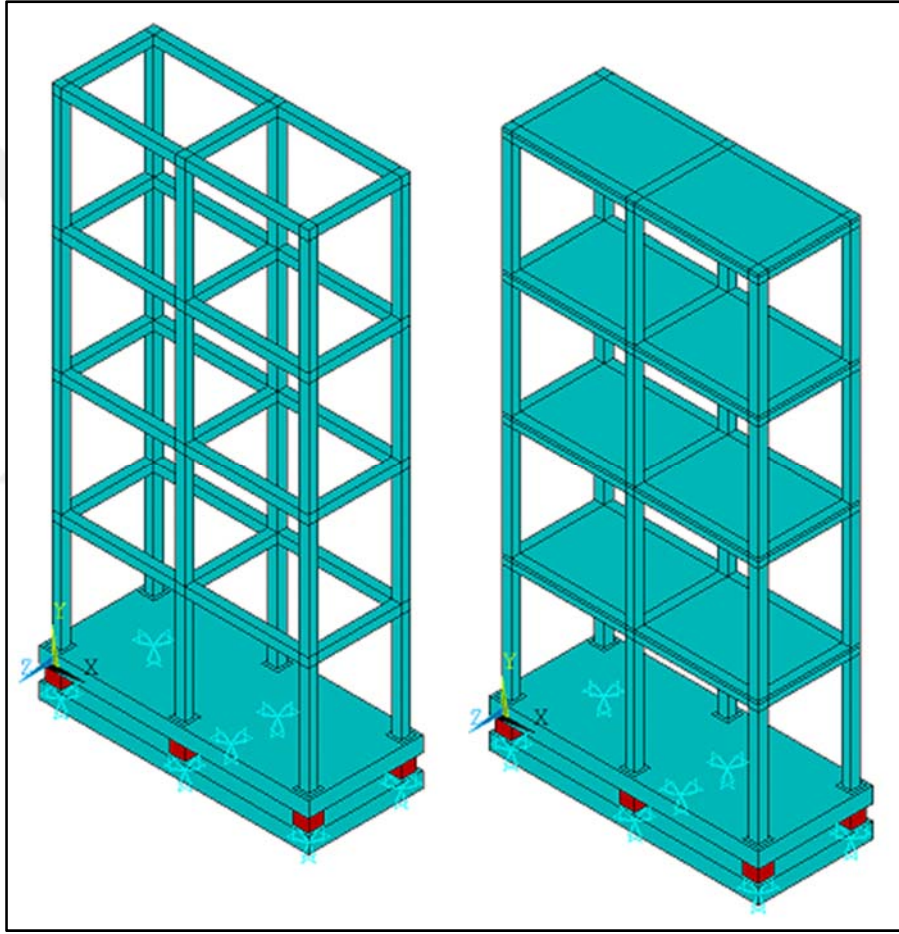
Şekil 3.50. 6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz modellere ait yer değiştirme-zaman grafiği

Kat sayısına bağlı olarak azaltma faktörlerinin değişimi Şekil 3.51’de verilmiştir. Azaltma faktörleri açısından bir değerlendirme yapıldığında 2 katlı yapıda nispeten daha az bir sönümlenme sağlanmış olup 4 ve 6 katlı yapıdaki izolasyon etkisinin birbirine oldukça yakın olduğu görölmektedir.

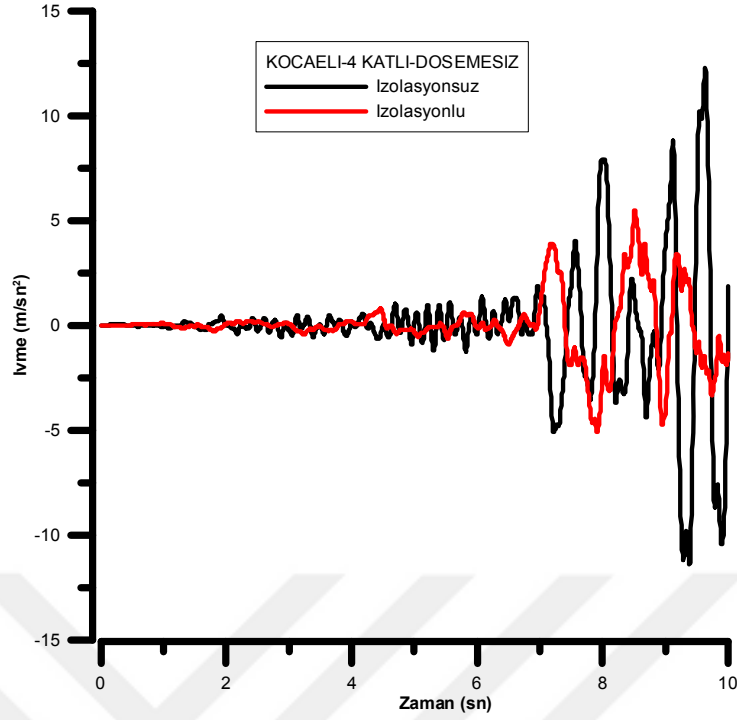


Şekil 3.51. Kat sayısına bağlı azaltma faktörleri

Üst yapının ağırlığının sismik izolasyon üzerindeki etkinliğini belirlemek için 4 katlı yapı modelinden döşemeler çıkarılarak analizler yapılmıştır (Şekil 3.52). Döşemesiz 4 katlı model yapının izolasyonlu ve izolasyonsuz durumlara ait ivme-zaman grafiği Şekil 3.53'te verilmiştir. Döşemeli durumda elde edilen azaltma faktörü 0.6562 iken döşemesiz modellerde bu faktör 0.5539 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla üst yapının ağırlığı arttıkça izolatörün etkinliğinin de arttığı gözlemlenmiştir. Benzer bir bulguyu, Xiong ve Li (2013) SRM karışımları üzerinde yaptıkları sarsma tablası deneylerinde elde etmiştir.

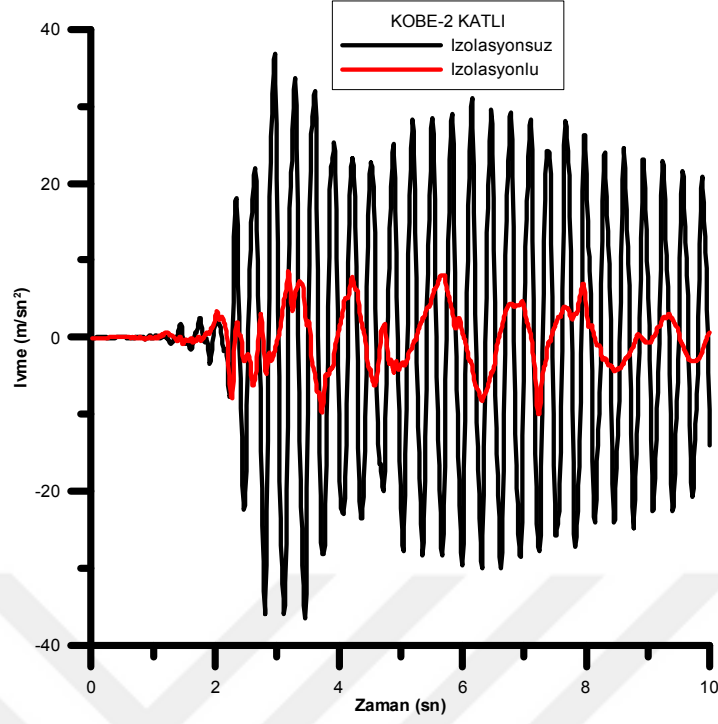


Şekil 3.52. Döşemesiz ve Döşemeli 4 katlı modeller

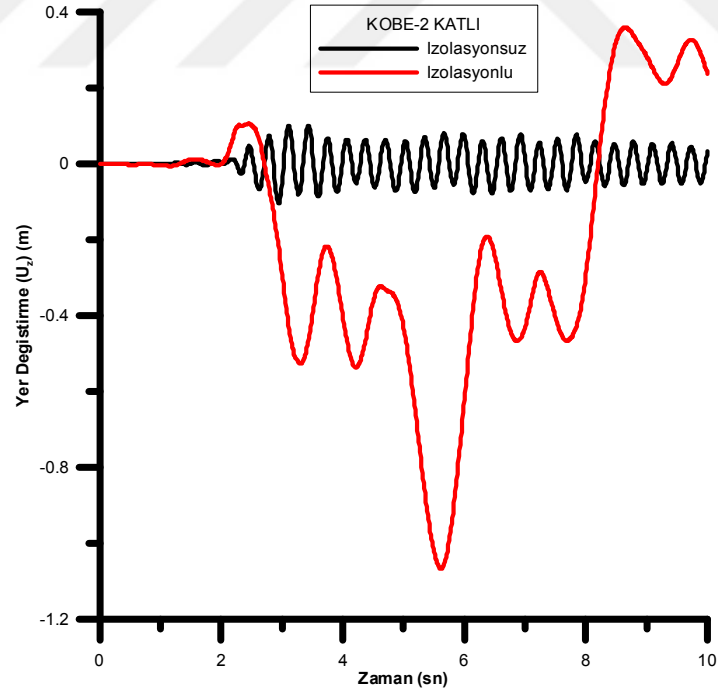


Şekil 3.53. Döşemesiz 4 katlı çerçevenin izolasyonlu ve izolasyonsuz modellerine ait ivme-zaman grafiği

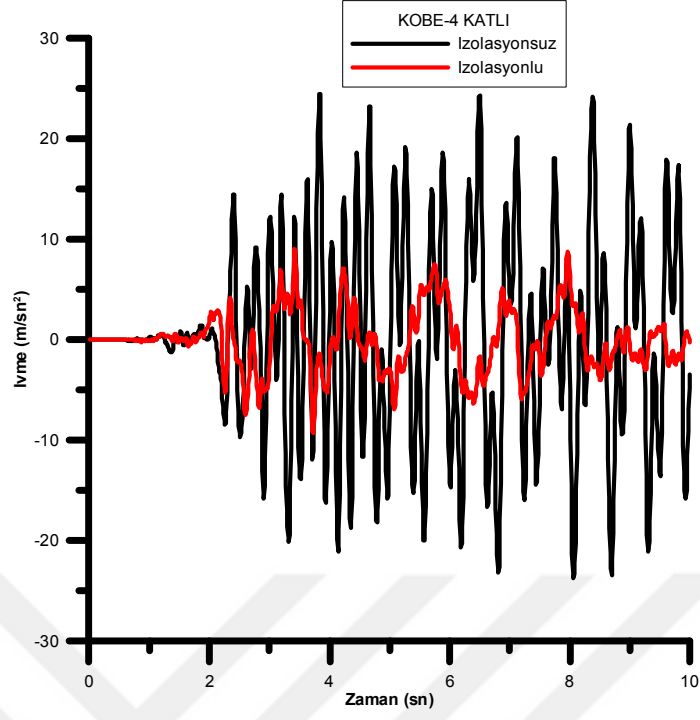
Deprem genliğinin bitüm içerikli geomateryalin izolasyon performansı üzerindeki etkisini belirleyebilmek için 17 Ocak 1995 tarihli ve maksimum yer ivmesi 0.51g olan Kobe depremine ait ivme kaydı 2, 4 ve 6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz 3 boyutlu modellere etki ettirilmiştir. Her bir kat yüksekliği için elde edilen ivme-zaman ve yer değiştirme-zaman grafikleri Şekil 3.54 ile Şekil 3.59 arasında verilmiştir.



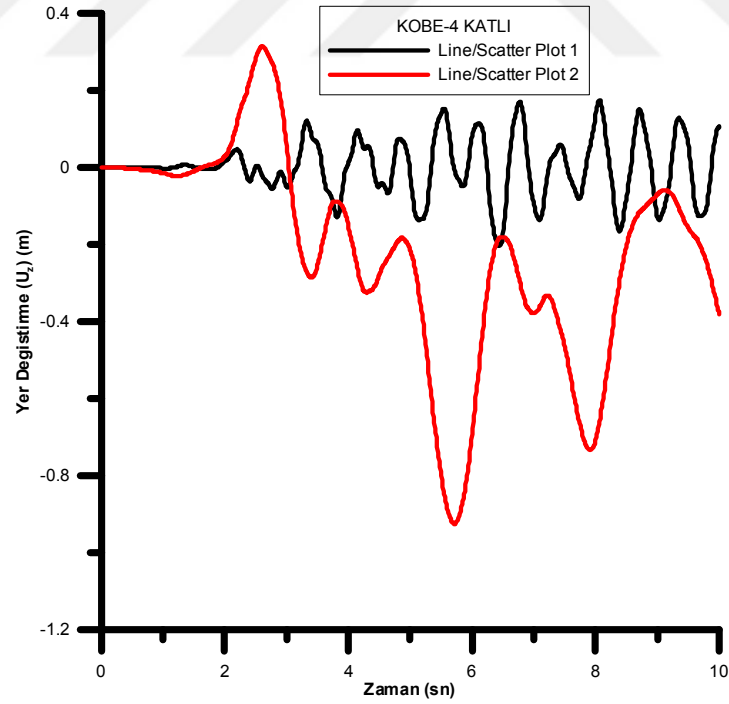
Şekil 3.54. 2 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait ivme-zaman grafiği



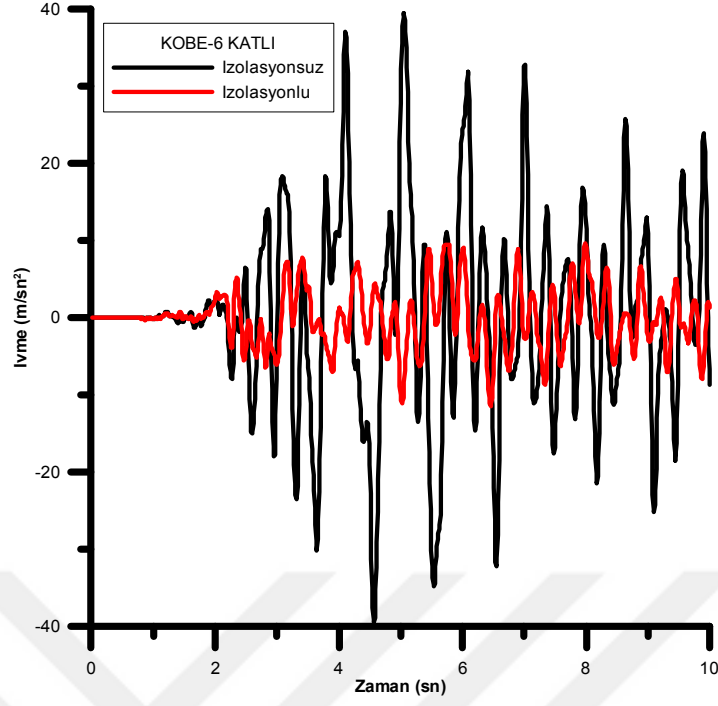
Şekil 3.55. 2 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait yer değiştirme-zaman grafiği



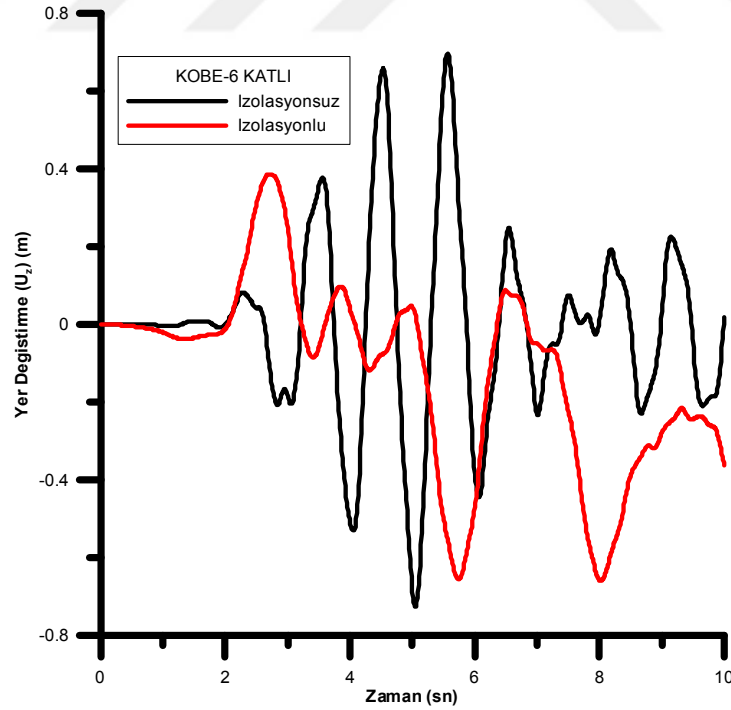
Şekil 3.56. 4 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait ivme-zaman grafiği



Şekil 3.57. 4 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait yer değiştirme-zaman grafiği

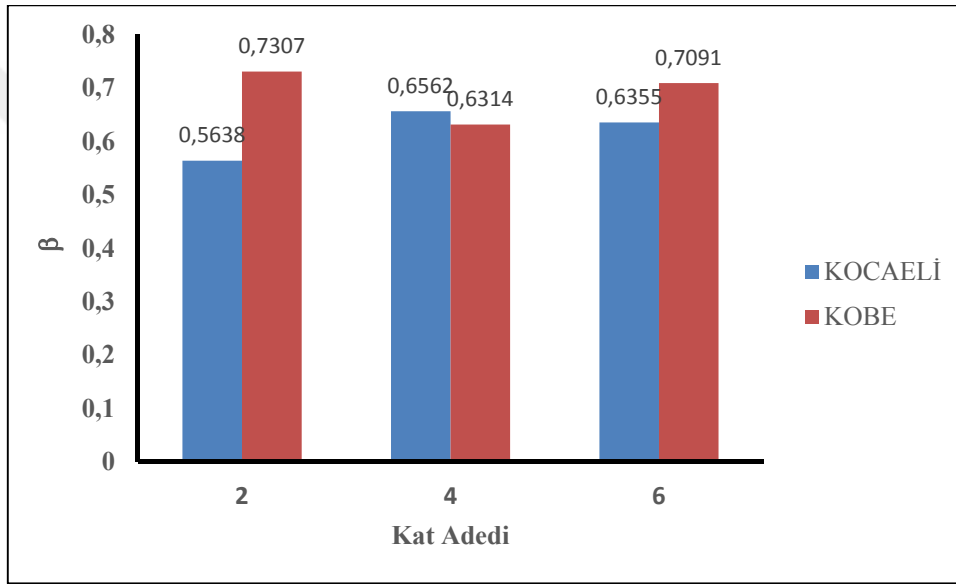


Şekil 3.58. 6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait ivme-zaman grafiği



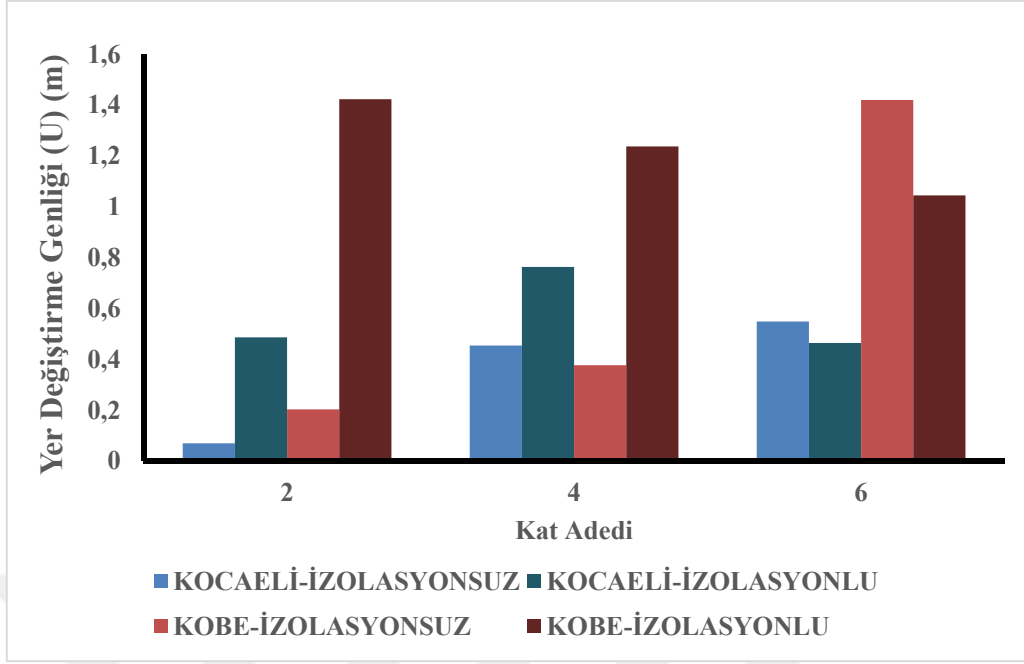
Şekil 3.59. 6 katlı izolasyonlu ve izolasyonsuz model yapı modellerinin KOBE depremine ait yer değiştirme-zaman grafiği

Deprem genliğinin izolasyonun etkinliği üzerindeki etkisini karşılaştırabilmek için her iki deprem kaydından elde edilmiş azaltma faktörleri ve yer değiştirme genliklerinin değişimi Şekil 3.60 ve Şekil 3.61’de verilmiştir. Şekil 3.56 incelendiğinde genel olarak maksimum yer ivmesi arttıkça azaltma faktörünün de arttığı bir başka deyişle izolasyonun etkinliğinin de arttığı gözlemlenmiştir. Literatürde sarsma tablası ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, model yapının altına SRM veya asfalt ve çelikten oluşan kompozit taban izolatörü yerleştirildiğinde, sisteme uygulanan ivmenin pik değeri arttıkça bu tip izolasyon sistemlerinin etkinliğinin arttığını belirlenmiştir (Xiong ve Li, 2013; Yao vd., 2014).



Şekil 3.60. Kat sayısına ve deprem ivmesine bağlı azaltma faktörleri

Kat sayısı ve deprem kaydına göre yer değiştirme genliğinin değişimi Şekil 3.57’te verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere Kobe depreminde her kat adedinde daha yüksek yer değiştirme genliği görülmüştür. İzolasyon tabakasının olması 2 ve 4 katlı yapılarda yer değiştirme genliğini ciddi bir biçimde artırmıştır. Bu artış oransal olarak 2 katlı yapıda 6, 4 katlı yapılarda 2 katı olarak belirlenmiştir. 6 katlı yapılarda ise bu durumun tam tersi olarak izolasyon kullanımı yer değiştirme genliğini de azaltmıştır ve bu azalış Kobe depreminde daha belirgin olarak görülmüştür. Sonuç olarak bu tip izolasyonun performansı üzerinde binanın ve depremin özelliklerinin çok önemli olduğu görülmüştür.



Şekil 3.61. İzolasyon, kat adedi ve deprem kaydına göre yer değiştirme genlikleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, düşük ve orta yükseklikteki yapılarda geoteknik sismik izolasyon malzemesi olarak kullanılabilir bitümlü bir geomateryal geliştirilmesi amaçlanmıştır. Malzemenin geliştirilmesinde mevcut sismik izolasyon yöntemlerinin özellikleri, avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurulmuştur. İdeal sönümleyici malzeme geliştirilirken farklı bileşenlere sahip numunelerin performansı, dinamik yükleme yapabilen üç eksenli ve basit kesme deneyleri ile incelenmiştir. Deneysel bulgular ışığında belirlenen en yüksek sönüm oranına sahip bitümlü geomateryalin, yapılarda sismik izolasyon etkisi oluşturulan üç boyutlu modellerle sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar sonunda elde edilen başlıca sonuçlar ve bazı öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Literatürdeki mevcut çalışmalara paralel olarak aynı yükleme koşullarında ve bitüm içeriklerinde hazırlanan numunelerde, bitümün penetrasyonu arttıkça kayma modüllerinin azaldığı, sönüm oranlarının ise arttığı görülmüştür.
- Dinamik üç eksenli deneylerde hücre basıncı, çevrimsel basit kesme deneylerinde ise konsolidasyon basıncı arttıkça bitüm-kum veya bitüm-kum-öğütülmüş araç lastiği karışımlarının kayma modülünün arttığı görülmüştür.
- Her iki deney aleti gerilme kontrollüdür ve numuneye uygulanacak dinamik yükleme CSR olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle numuneye uygulanan statik gerilme (hücre veya konsolidasyon basıncı) arttıkça uygulanacak dinamik yüklemenin mertebesi de artmaktadır. Bu nedenle aynı CSR değerinde statik gerilme değeri arttıkça sönüm oranının da arttığı görülmüştür.
- Aynı statik gerilme etkisinde her iki deneyde de CSR değeri arttıkça numunenin maruz kaldığı şekil değiştirme mertebesi de arttığı için sönüm oranının arttığı, kayma modülünün ise azaldığı görülmüştür.
- Dinamik üç eksenli deneylerde yüklemenin frekansı arttıkça bitümün viskoelastik davranışından ötürü sönüm oranının azalıp kayma modülünün arttığı görülmüştür.
- Her iki deneyde de numunelerin kauçuk içeriği arttıkça kayma modüllerinin azalıp sönüm oranlarının arttığı belirlenmiştir. Ancak çevrimsel basit kesme deneylerinde özellikle yüksek CSR değerlerinde CR3 ile CR4 arasındaki sönüm oranlarının

farkının ihmal edilebilir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla artan kauçuk içeriğinin numunelerin sönümleme kapasitesine yardımcı olmayıp sadece rijitliğini düşüreceği görüldüğünden, içerisinde kum ağırlığının %4'ü kadar öğütülmüş araç lastiği ve %10'ü 160/220 bitüm içeren karışım (CR4), ideal sönümleyici malzeme olarak kabul edilmiştir.

- Bitüm-kum-öğütülmüş araç lastiğinden oluşan CR4 numunesinin özellikleri GSİ sistemlerde kullanılan kum-öğütülmüş araç lastiği (SRM) karışımlarının özellikleri ile karşılaştırıldığında benzer dinamik yükler altında CR4'ün %50 daha fazla sönümleme yaptığı, rijitliğinin ise 2 kata kadar fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle özellikle rijitlik yönünden sakıncaları bulunan SRM'ye bitümlü bir bağlayıcı ilave edilerek hem enerji yutma kapasitesi hem de düşük olan rijitliği ciddi bir şekilde artırılmıştır.
- Sayısal çözümlere göre, dikkate alınan dört katlı yapı için merkezleri kolonun merkezine denk gelecek şekilde yapı temeli altına yerleştirilen 0.5x0.5x0.5m boyutlarındaki kübik bitümlü geomateryallerin ideal sönümleyici boyutu olduğu belirlenmiştir.
- Sayısal modellerde bitümlü geomateryalin ivmeleri sönümlemesinin kat yüksekliğinden bağımsız olduğu görülmüştür. Bununla beraber 2 ve 4 katlı yapılarda geliştirilen sönümleyici geomateryalin yapının tavan seviyesindeki yer değiştirme genliğini artırırken 6 katlı yapılarda azalttığı gözlemlenmiştir.
- Modellere uygulanan deprem senaryolarında, maksimum yer ivmesi değerinin artışına paralel olarak bitümlü geomateryalin sismik izolasyon etkisinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Üç boyutlu modellerde kat sayısı sabit kalmak şartıyla, bitümlü geomateryalin kullanıldığı yapının ağırlığı arttıkça izolasyon etkisinin de arttığı görülmüştür.
- Deneysel ve sayısal sonuçlar ışığında bitüm-kum-kauçuktan oluşan geomateryalin düşük ve orta yükseklikteki yapılarda kullanılacak alternatif bir sönümleyici malzeme potansiyelinin olduğu görülmüştür.

Ancak bu malzemenin uygulamaya geçirilmeden önce, yorulma ve yaşlanma özelliklerinin de göz önünde bulundurulduğu geniş bir durabilite incelemesine ihtiyaç vardır. Ayrıca bitümün özelliklerinin sıcaklıktan etkilendiği gerçeği ışığında bu malzemenin sıcaklık etkisinin de göz önünde bulundurulduğu şekil değiştirme kontrollü

dinamik deneylerle performansının detaylı bir şekilde incelenmesi zorunluluğu bulunmaktadır.

Sismik izolasyon amaçlı olarak bu tip bitümlü geomateryaller, hem granüler hem de bağlayıcı bileşenleri açısından ihtiyaca yönelik olarak geliştirilme potansiyeli vardır.

Önerilen malzemenin etkinliği ölçekli yapı modellerinde sarsma tablası deneyleri ile detaylı bir şekilde test edilmesi zorunluluğu bulunmaktadır.

Malzemenin, dinamik deneylerden şekil değiştirme mertebesine bağlı olarak elde edilecek kayma modülü ve sönüm oranları değerleri eşdeğer linearizasyon gibi yöntemlerle modelin malzeme davranışına yansıtılmalıdır. Böylece sayısal modellerde daha doğru sonuçlar alınacaktır.



5. KAYNAKLAR

- Akhtarpour, A. and Khodaii, A., 2013. Experimental study of asphaltic concrete dynamic properties as an impervious core in embankment dams, Construction and Building Materials, 41, 319-334.
- Ambrosini, R. D., 2006. Material Damping vs. radiation damping in soil-structure interaction analysis, Computer and Geotechnics, 33, 86-92.
- Anastasopoulos, I., Gazetas, G., Loli, M., Apostolou, M., Gerolymos, N. 2010. Soil failure can be used for seismic protection of structures, Bull. Earthquake Eng., 8, 309-326.
- Anastasopoulos I., Drosos V. and Antonaki N. 2015. Three-storey building retrofit: rocking isolation versus conventional design, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 44, 1235-1254.
- Anil, Ö., Erdem, R.T. ve Kantar, E. 2015. Improving the impact behavior of pipes using geofoam layer for protection, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 132-133, 52-64.
- Antonellis G., Gavras A. G., Panagiotou M., Kutter B. L., Guerrini G., Sander A. C. ve Fox P. J. 2015. Shake table test of large-scale bridge columns supported on rocking shallow foundations, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 141, 5.
- Anvari, S., M., Shooshpasha, I. ve Kutanaei, S., S. 2017. Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 9, 936-944.
- Athanasopoulos-Zekkos, A., Lamote, K. ve Athanasopoulos, G.A. 2012. Use of EPS geofoam compressible inclusions for reducing the earthquake effects on yielding earth retaining structures, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 41, 59-71.
- Bandyopadhyay, S., Sengupta, A. ve Reddy G. R., 2015. Performance of sand and shredded rubber tire mixture as a Natural base isolator for earthquake protection. Earthquake Engineering and Engineering Vibration. 14, 4, 683-693.
- Baştuğ, B. K., 2004., Yapı Sistemlerinde Depreme Karşı Sismik İzolatör Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Beinbrech, G. ve Hillmann, R. 1997. EPS in Road Construction-Current Situation in Germany, Geotextiles and Geomembranes, 15, 1-3, 39-57.
- Brunet, S., de la Llera, J.C. ve Kausel, E. 2016. Non-linear modeling of seismic isolation systems made of recycled tire-rubber, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 85, 134-145.

- Christenson, R., E. 2001. Semiactive Control of Civil Structures for Natural Hazard Mitigation: Analytical and Experimental Studies, Phd Thesis, Graduate School, University of Notre Dame, Indiana, USA.
- Chang, C. M. 2011. Multi Axial Active Isolation for Seismic Protection of Buildings, Phd Thesis, Graduate College, University of Illinois at Urbana, Illinois, USA.
- Chenari, R.J., Fard, M.K., Maghfirati, S.P., Pishgar, F. ve Machado, S.L. 2016. An investigation on the geotechnical properties of sand-EPS mixture using large oedometer apparatus, Construction and Building Materials, 113, 773–782.
- Constantinou, M., C., Soong, T., T. ve Dargush, G., F., 1998. Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit, Monograph No.1, Multidisciplinary Center for Earthquake Research, Buffalo, NY.
- Çakır, T. 2010. Zemin-Depo Dış Duvarı-Sıvı Sistemlerinin Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Das, B. M. ve Ramana, G. V., 2011. Principles of Soil Dynamics, Cengage Learning.
- Deng L. and Kutter B. L., 2012. 'Characterization of rocking shallow foundations using centrifuge model test, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 41, 1043-1060.
- Dolce M. ve Cardone D. 2003. 'Seismic protection of light secondary systems through different base isolation systems', Journal of Earthquake Engineering, 7, 2, 223-251.
- Drosos V., Georgarakos T., Loli M., Anastasopoulos I., Zazouras O., and Gazetas G., 2012, 'Soil-foundation-structure interaction with mobilization of bearing capacity: experimental study on sand', Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 138, 11, 1369-1386.
- Duskov, M., Scarpas, A. 1997. 'Three-Dimensional Finite Element Analysis of Flexible Pavements With An (Open Joint in the) EPS Subbase', Geotextiles and Geomembranes, 15, 1–3, 29–38.
- Eatherton, M. R. ve Hajjar J. F. 2011. Residual drifts of self-centering systems including effects of ambient building resistance, Earthquake Spectra, 27, 3, 719–744.
- Ehsani, M. Shariatmadari, N. ve Mirhosseini, S. M. 2015. Shear modulus and damping ratio of sand-granulated rubber mixtures, J. Cent. South Univ., 22, 3159–3167.
- Ekanayake, S. D., Liyanapathirana, D. S. ve Leo, C.J. 2014. Attenuation of ground vibrations using in-filled wave barriers, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 67, 290-300.
- El-Sherbiny, R. M., Ramadan, S. H. ve El-Khouly, M. A. 2018. Dynamic Properties of Sand-EPS Bead Mixtures, Geosynthetics International, 25, 4, 456-470.

- Feizi-Khankandi, S., Mirghasemi, A.A., Ghalandarzadeh, A. ve Höeg, K. 2008. Cyclic triaxial tests on asphalt concrete as a water barrier for embankment dams, Soils and Foundations, 48, 3, 319-332.
- Feizi-Khankandi, S., Ghalandarzadeh, A., Mirghasemi, A. A. ve Höeg, K. 2009. Seismic analysis of the Garmrood embankment dam with asphaltic concrete core, Soils and Foundations, 49, 2, 153–166.
- Gajan S. ve Kutter B. L. 2008. Capacity, settlement and energy dissipation of shallow footings subjected to rocking, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 134, 8, 1129-1141.
- Gajan S. ve Saravanathiiban S. 2011. Modeling of energy dissipation in structural devices and foundation soil during seismic loading, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 1106-1122.
- Ghanooni, S. ve Mahin-roosta, R. 2002. Seismic analysis and design of asphaltic concrete core embankment dams, Journal of Hydropower and Dams, 6, 75-78.
- Gičev, V. ve Trifunac, M. D. 2012. Energy dissipation by nonlinear soil strains during soil-structure interaction excited by SH pulse, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 43, 261-270.
- Golpazir, I., Ghalandarzadeh, A., Jafari, M.K. ve Mahdavi, M. 2016. Dynamic properties of polyurethane foam-sand mixtures using cyclic triaxial tests, Construction and Building Materials, 118, 104–115.
- Haiyang, Z., Xu Y., Chao Z. ve Dandan J. 2014. Shaking table test for the seismic response of a base-isolated structure with the SSI effect, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 67, 208-218.
- Hamidi, M. 2006. Sliding concave foundation (SCF) isolation system, Doctoral thesis, School of Graduate and Postdoctoral Studies, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.
- Horvath, J., S. 1994. Expanded Polystyrene (EPS) Geofom: An Introduction to Material Behavior, Geotextiles and Gmembranes, 13, 4, 263–280.
- Horvath, J., S. 1997. Compressible inclusion function of EPS geofom, Geotextiles and Gmembranes, 15, 1, 77–120.
- Hoeg, K., Valstad, T., Kjaernsli, B. ve Ruud, A. M. 2007. Asphalt core embankment dams: Recent case studies and research, Int. J. Hydropower Dams, 13, 5, 112–119.
- ICOLD Press. 1992. Bituminous Cores for Earth and Rockfill Dams, 84.

- Jafarzadeh, F. ve Sadeghi, H., 2012. Experimental Study on Dynamic Properties of Sand with Emphasis on The Degree of Saturation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 32, 26-41.
- Jiang, H. 1998. Hybrid Damper-Actuator System with Optimum Observer-Controller for Seismic Resistant Structures, Phd Thesis, Faculty of the Graduate School, University of Missouri-Rolla, Missouri, USA.
- Kalpakçı, V., 2013. Seismic isolation of foundations by composite liners, Phd Thesis, The Graduate School Of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Ankara.
- Kilar, V., Koren, D. ve Bosiljkov, V.B. 2014. Evaluation of the performance of extruded polystyrene boards Implications for their application in earthquake engineering, Polymer Testing, 40, 234-244.
- Kim, K. D., Lee S. H., Kim D. S., Choo Y. W. and Park H. G. 2014, Rocking effect of a mat foundation on the earthquake response of structures, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 141, 1, 1121-1130.
- Kokusho T., Yoshida Y. ve Esashi Y. 1982. Dynamic properties of soft clays for wide strain range, Soils and Foundations. 22, 4, 1-18.
- Kramer, 2003. Geoteknik Deprem Mühendisliği, Gazi Kitabevi.
- Kumar, S., S., Krishna, A., M., ve Dey, A. 2017. Evaluation of dynamic properties of sandy soil at high cyclic strains, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 99, 157-167.
- Li, B., Huang, M. ve Zeng, X. 2016. Dynamic Behavior and Liquefaction Analysis of Recycled-Rubber Sand Mixtures, J. Mater. Civ. Eng., 28, 11.
- Liu, H., L., Deng, A. ve Chu, J. 2006. Effect of different mixing ratios of polystyrene pre-puff beads and cement on the mechanical behaviour of lightweight fill, Geotextiles and Geomembranes, 24, 6, 331-338.
- Liyanapathirana, D. S. ve Ekanayake, S. D. 2016. Application of EPS geofoam in attenuating ground vibrations during vibratory pile driving, Geotextiles and Geomembranes, 44, 59-69.
- Loli, M., Knappett J., A., Brown M., J., Anastasopoulos I. ve Gazetas G. 2014. Centrifuge modelling rocking-isolated inelastic RC bridge piers, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 43, 2341-2359.
- Luco, J. E., 2014. Effect of soil-structure interaction on seismic base isolation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 66, 167-177.
- Madhusudhan, B.R., Boominathan, A. ve Banerjee S. 2017. Static and Large-Strain Dynamic Properties of Sand-Rubber Tire Shred Mixtures, J. Mater. Civ. Eng., 29, 10.

- Mahmoud, S., Austrell, P., E. ve Jankowski, R. 2012. Simulation of the response of base-isolated buildings under earthquake excitations considering soil flexibility, Journal of Earthquake Engineering, 4, 3, 277-301.
- Masaeli, H., Khoshnoudian F. ve Ziaei R. 2015. Rocking soil-structure system subjected to near-fault pulses, Journal of Earthquake Engineering, 19, 461-479.
- Mostaghel, N., 1983. Resilient-Friction Base Isolator, Report No. UTEC 84-097, Department of Civil Engineering, University of Utah, Salt Lake City, ABD.
- Mylonakis, G. ve Gazetas G. 2000. Seismic soil-structure interaction: beneficial or detrimental, Journal of Earthquake Engineering, 4, 3, 277-301.
- Naeim, F., 2001. Seismic Design Handbook, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Nakhaei, A., Marandi, S., M., Kermani, S., S. ve Bagheripour, M., H. 2012. Dynamic Properties of Granular Soils Mixed with Granulated Rubber. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 43, 124-132.
- Nanda, R. P., Dutta, S., Khan, H. A. ve Majumder S., 2018. Seismic Protection of Buildings by Rubber-Soil Mixture as Foundation Isolation. International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering. 9, 1, 99-109.
- Nikitas, G., Arany, L., Aingaran, S., Vimalan, J. ve Bhattacharya, S. 2017. Predicting long term performance of offshore wind turbines using cyclic simple shear apparatus. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 92, 678-683.
- Onur, M. İ., 2015. Suya Doygun ve Doygun Olmayan Kum Zeminlerin Dinamik Yükler Altında Davranışlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Orhan, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Ossa, A. ve Romo, M., P. 2011. Dynamic characterization of EPS geofoam, Geotextiles and Geomembranes, 29, 40-50.
- Özer, A., T., Akay, O., Fox, G., A., Bartlett, S., F. ve Arellano, D. 2014. A new method for remediation of sandy slopes susceptible to seepage flow using EPS-block geofoam, Geotextiles and Geomembranes, 42, 2, 166–180.
- Padade, A., H. ve Mandal, J. 2016. Expanded Polystyrene Geofoam Based Cellular Reinforcement, Journal of Testing and Evaluation, 44, 4, 1568-1579.
- Pantazopoulos, I., A. ve Atmatzidis, D., K. 2012. Dynamic Properties of Microfine Cement Grouted Sand, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 42, 17-31.

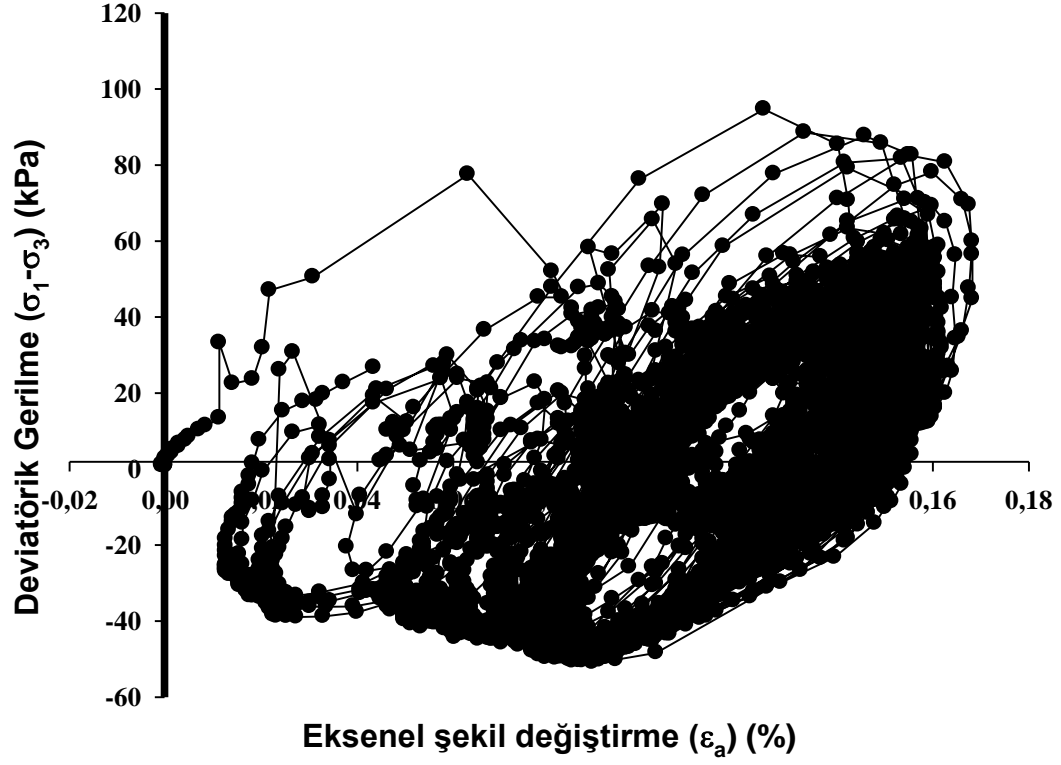
- Pitilakis, K., Karapetrou, S. ve Tsagdi, K. 2015. Numerical investigation of the seismic response of RC buildings on soil replaced with rubber-sand mixtures, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 79, 237-252.
- Sadeghi, M., M. ve Beigi, F., H. 2014. Dynamic Behavior of Reinforced Clayey Sand Under Cyclic Loading, Geotekiles and Geomembranes, 42, 564-572.
- Sako N., Adachi T., Hikosaka N. ve Funaki T. 2007. Developments of new geomaterials for environmental vibration mitigation,, ScrapTire Derived Geomaterials Opportunities and Challenges, Mart, Yokosuka, Japonya.
- Senetakis, K., Anastasiadis, A. ve Pitilakis, K. 2012. Dynamic Properties of Dry Sand/Rubber (SRM) and Gravel/Rubber (GRM) mixtures in a Wide Range of Shearing Strain Amplitudes, Soil Dynamics and Eartquake Engineering, 33, 38-53.
- Symans M. D., Charney F. A., Whittaker A. S., Constantinou M. C., Kircher C. A., Johnson M. W. ve McNamara R. J., 2008. Energy dissipation system for applications: current practice and recent developments, Journal of Structural Engineering, ASCE, 134, 1, 3-21.
- Trifunac, M., D. ve Todorovska, M., I. 1998. Nonlinear soil response as a natural passive isolation mechanism-1994 Northridge, California earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 17, 41-51.
- Trifunac, M., D. 2003. Nonlinear soil response as a natural passive isolation mechanism. Paper II. The 1933, Long Beach, California earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 23, 549-562.
- Tsang, H., H., 2008. Seismic isolation by rubber-soil mixtures for devoloping countries, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 37, 283-303.
- Tsang, H., H., Lo, S., H., Xu, X. ve Sheikh M., N. 2012, Seismic isolation for low-to-medium-rise buildings using granulated rubber-soil mixtures: numerical study, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 41, 2009-2024.
- URL-1, [https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_50_70_\(750\).pdf](https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_50_70_(750).pdf),
10.05.2019
- URL-2, [https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_70_100_\(760\).pdf](https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_70_100_(760).pdf),
10.05.2019
- URL-3, [https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_100_150_\(770\).pdf](https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_100_150_(770).pdf),
10.05.2019
- URL-4, [https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_160_220_\(780\).pdf](https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_160_220_(780).pdf),
10.05.2019

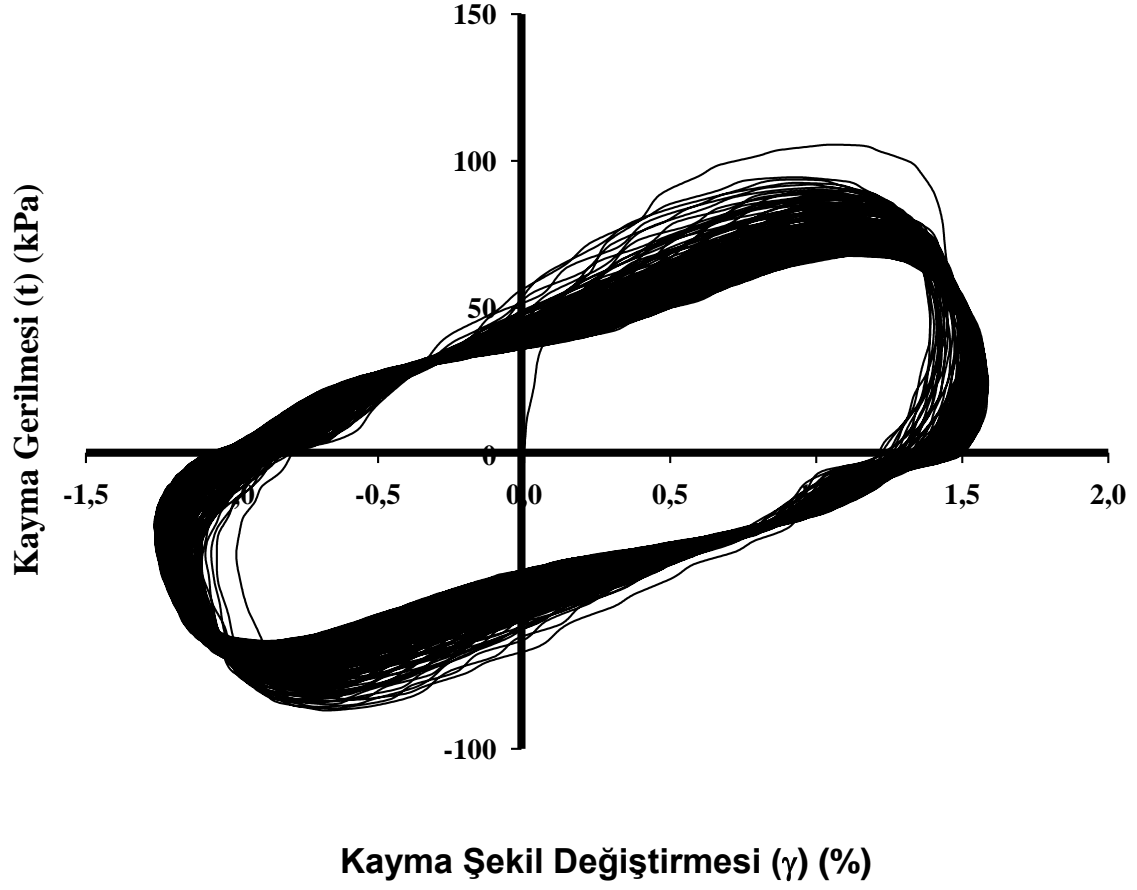
- Valstad, T., Selnes, P.B., Nadim, F. ve Aspen, B. 1991. Seismic response of a rockfill dam with an asphaltic concrete core, Journal of Water Power and Dam Construction, 43, 1-6.
- Vucetic, M. ve Dobry, R. 1991. Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117, 1, 89-107.
- Wang, G., X. ve Kuwano, J. 1999. Modeling of Strain Dependency of Shear Modulus and Damping of Clayey Sand, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18, 463-471.
- Wang, W. ve Höeg, K. 2011. Cyclic Behavior of Asphalt Concrete Used as Impervious Core in Embankment Dams, J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE, 137, 5, 536-544.
- Wang, Z., Luo, Y., Guo, H. ve Tian, H., 2012. Effects of Initial Deviatoric Stress Raitos on Dynamic Shear Modulus and Damping Raito of Undisturbed Loess in China, Engineering Geology, 143-144, 43-50.
- Xiong, W. ve Li Y. 2013. Seismic isolation using granulated tire-soil mixtures for less developed regions: experimental validation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 42, 2187-2193.
- Xu, H., Li, T., Xia, L., Zhao, J. X. ve Wang, D., 2016. Shaking table tests on seismic measures of a model mountain tunnel, Tunnelling and Underground Space Technology, 60, 197-209.
- Yao, F., Shang, S. ve Liu, K. 2014. Shake table tests of a new steel–asphalt composite layer system for the seismic base isolation of housing units, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 59, 1–7.
- Yegian, M., K. ve Lahlaf, A., M. 1992. Dynamic interface shear properties of geomembranes and geotextiles, J. Geotech. Eng., 118, 5, 760–779.
- Yegian, M., K. ve Kadakal, U. 2004. Foundation isolation for seismic protection using a smooth synthetic liner, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 130, 11, 1121-1130.
- Yegian, M., K. ve Catan, M. 2004. Soil isolation for seismic protection using a smooth synthetic liner, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 130,11, 1131-1139.
- Zhou, Y. ve Chen, Y., 2005. Influence of Seismic Cyclic Loading History on Small-Strain Shear Modulus of Saturated Sands. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 25, 341-353.

6. EKLER

Ek-1. Dinamik Üç Eksenli Deney Histeresis Eğrileri

(1610 numunesi 100 kPa hücre basıncı 0.5CSR için)



Ek-2.Çevrimsel Basit Kesme Deney Histeresis Eğrileri**(CR4 numunesi 200 kPa konsolidasyon basıncı 0.8CSR için)**

Ek-3. Temelin altında 0.5×0.5×0.5m boyutlarında geomateryal bulunan 4 katlı model için yazılan ANSYS log-file kodları

<pre> /PREP7 wpro,,-90.000000, /RGB,INDEX,100,100,100, 0 /RGB,INDEX, 80, 80, 80,13 /RGB,INDEX, 60, 60, 60,14 /RGB,INDEX, 0, 0, 0,15 /REPLOT !NCNV,2,0,0,0 /PREP7 !Kolon kiris ET,1,SOLID185 !Temel ET,2,SOLID185 !Asvalt ET,3,SOLID185 !malzemeler MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,EX,1,,2.5e10 MPDATA,PRXY,1,,0.2 MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,DENS,1,,2500 MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,EX,2,,2.5e10 MPDATA,PRXY,2,,0.2 MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,DENS,2,,2500 MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,EX,3,,15e6 MPDATA,PRXY,3,,0.45 MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,DENS,3,,1850 TB,BISO,3,1,2, TBTEMP,0 TBDATA,,420000,,,, </pre>	<pre> MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,EX,4,,8673954 MPDATA,PRXY,4,,0.35 MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,DENS,4,,1850 TBDE,KINH,4,, TB,KINH,4,1,4,0 TBTEMP,0 TBPT,,0.02306852,200095.3 TBPT,,0.03705926,250520.1 TBPT,,0.0565333,261381.5 TBPT,,0.1003778,208692.4 !* !döşemeler yapılıyor BLC4,0,0,8.3,3.3,0.1 FLST,3,1,6,ORDE,1 FITEM,3,1 VGEN,4,P51X, , ,4, , ,0 !döşemeler 4m yukarı kaydırıldı FLST,3,4,6,ORDE,2 FITEM,3,1 FITEM,3,-4 VGEN, ,P51X, , ,4.4, , ,1 !kolon yapılıyor BLC4,0,0,0.3,0.3,16.5 FLST,3,1,6,ORDE,1 FITEM,3,5 VGEN,2,P51X, , , , -3, ,0 FLST,3,2,6,ORDE,2 FITEM,3,5 FITEM,3,-6 VGEN,3,P51X, , ,4, , ,0 !kiriş yapılıyor BLC4,0,0,0.3,3.3,0.3 FLST,3,1,6,ORDE,1 FITEM,3,11 VGEN, ,P51X, , ,4.2, , ,1 FLST,3,1,6,ORDE,1 FITEM,3,11 VGEN,3,P51X, , ,4, , ,0 FLST,3,3,6,ORDE,2 FITEM,3,11 FITEM,3,-13 VGEN,4,P51X, , ,4, , ,0 </pre>	<pre> BLC4,0,0,8.3,0.3,0.3 FLST,3,1,6,ORDE,1 FITEM,3,23 VGEN, ,P51X, , ,4.2, , ,1 FLST,3,1,6,ORDE,1 FITEM,3,23 VGEN,4,P51X, , ,4, , ,0 FLST,3,4,6,ORDE,2 FITEM,3,23 FITEM,3,-26 VGEN,2,P51X, , , , -3, ,0 ! Temel yapıldı BLC4,-0.2,-0.2,8.7,3.7,0.5 !papaçlar yapılıyor BLC4,-0.1,-0.1,0.5,0.5,0.5 FLST,3,1,6,ORDE,1 FITEM,3,32 VGEN,2,P51X, , , , -3, ,0 FLST,3,2,6,ORDE,2 FITEM,3,32 FITEM,3,-33 VGEN,3,P51X, , ,4, , ,0 FLST,2,12,5,ORDE,12 FITEM,2,25 FITEM,2,31 FITEM,2,37 FITEM,2,43 FITEM,2,49 FITEM,2,55 FITEM,2,187 FITEM,2,193 FITEM,2,199 FITEM,2,205 FITEM,2,211 FITEM,2,217 VEXT,P51X, , ,0,-1,0,,,, !alt tabla yapılıyor FLST,3,1,6,ORDE,1 FITEM,3,31 VGEN,2,P51X, , , , -1, , ,0 </pre>
--	---	---

Ek 3'ün devamı

!overlap ve glue FLST,2,50,6,ORDE,2 FITEM,2,1 FITEM,2,-50 VOVLAP,P51X FLST,2,174,6,ORDE,2 FITEM,2,51 FITEM,2,-224 VGLUE,P51X !mesh attributes FLST,5,136,6,ORDE,2 FITEM,5,69 FITEM,5,-204 CM,_Y,VOLU VSEL, , , ,P51X CM,_Y1,VOLU CMSEL,S,_Y CMSEL,S,_Y1 VATT, 1, , 1, 0 CMSEL,S,_Y CMDELE,_Y CMDELE,_Y1 FLST,5,13,6,ORDE,9 FITEM,5,52 FITEM,5,54 FITEM,5,56 FITEM,5,58 FITEM,5,60 FITEM,5,62 FITEM,5,205 FITEM,5,-210 FITEM,5,223 CM,_Y,VOLU VSEL, , , ,P51X CM,_Y1,VOLU CMSEL,S,_Y CMSEL,S,_Y1 VATT, 1, , 1, 0 CMSEL,S,_Y CMDELE,_Y CMDELE,_Y1	FLST,5,12,6,ORDE,8 FITEM,5,51 FITEM,5,53 FITEM,5,55 FITEM,5,57 FITEM,5,59 FITEM,5,61 FITEM,5,211 FITEM,5,-216 CM,_Y,VOLU VSEL, , , ,P51X CM,_Y1,VOLU CMSEL,S,_Y !* CMSEL,S,_Y1 VATT, 4, , 3, 0 CMSEL,S,_Y CMDELE,_Y CMDELE,_Y1 !* FLST,5,13,6,ORDE,5 FITEM,5,63 FITEM,5,-68 FITEM,5,217 FITEM,5,-222 FITEM,5,224 CM,_Y,VOLU VSEL, , , ,P51X CM,_Y1,VOLU CMSEL,S,_Y !* CMSEL,S,_Y1 VATT, 1, , 1, 0 CMSEL,S,_Y CMDELE,_Y CMDELE,_Y1 !mesh yapiliyor FLST,5,1104,4,ORDE,76 FITEM,5,9 FITEM,5,-12 FITEM,5,21 FITEM,5,-24 FITEM,5,33 FITEM,5,-36 FITEM,5,45 FITEM,5,-52 FITEM,5,54 FITEM,5,-55 FITEM,5,61 FITEM,5,-66 FITEM,5,73 FITEM,5,-76 FITEM,5,78	FITEM,5,-80 FITEM,5,85 FITEM,5,-90 FITEM,5,92 FITEM,5,97 FITEM,5,-100 FITEM,5,103 FITEM,5,-104 FITEM,5,109 FITEM,5,-113 FITEM,5,116 FITEM,5,122 FITEM,5,124 FITEM,5,134 FITEM,5,136 FITEM,5,146 FITEM,5,148 FITEM,5,158 FITEM,5,160 FITEM,5,170 FITEM,5,172 FITEM,5,182 FITEM,5,184 FITEM,5,194 FITEM,5,196 FITEM,5,206 FITEM,5,208 FITEM,5,218 FITEM,5,220 FITEM,5,230 FITEM,5,232 FITEM,5,242 FITEM,5,244 FITEM,5,254 FITEM,5,256 FITEM,5,361 FITEM,5,-448 FITEM,5,453 FITEM,5,-456 FITEM,5,461 FITEM,5,-464 FITEM,5,469 FITEM,5,-472 FITEM,5,477 FITEM,5,-480 FITEM,5,485 FITEM,5,-488 FITEM,5,493 FITEM,5,-496 FITEM,5,501 FITEM,5,-504 FITEM,5,509 FITEM,5,-512
---	--	--

Ek 3'ün devamı

FITEM,5,517	!analiz ayarlari	TIME, 0.11000	TIME, 0.30000
FITEM,5,-520	/sol	ACEL,,, 0.0268736	ACEL,,, 0.0223310
FITEM,5,525	ANTYPE,4	SOLVE	SOLVE
FITEM,5,-528	TRNOPT,FULL	TIME, 0.12000	TIME, 0.31000
FITEM,5,533	LUMPM,0	ACEL,,, 0.0270772	ACEL,,, 0.0275868
FITEM,5,-536	DELTIM,0.0025,0,0	SOLVE	SOLVE
FITEM,5,541	OUTRES,ERASE	TIME, 0.13000	TIME, 0.32000
FITEM,5,-1434	OUTRES,NSOL,LAST	ACEL,,, 0.0264542	ACEL,,, 0.0302518
CM,_Y,LINE	OUTRES,RSOL,LAST	SOLVE	SOLVE
LSEL, , , ,P51X	OUTRES,V,LAST	TIME, 0.14000	TIME, 0.33000
CM,_Y1,LINE	OUTRES,A,LAST	ACEL,,, 0.0256660	ACEL,,, 0.0258858
CMSSEL,,_Y	OUTRES,ESOL,LAST	SOLVE	SOLVE
LESIZE,_Y1,0.1, , , , , ,1	OUTRES,NLOA,LAST	TIME, 0.15000	TIME, 0.34000
FLST,5,174,6,ORDE,2	OUTRES,STRS,LAST	ACEL,,, 0.0254040	ACEL,,, 0.0269680
FITEM,5,51	OUTRES,EPEL,LAST	SOLVE	SOLVE
FITEM,5,-224	OUTRES,EPPL,LAST	TIME, 0.16000	TIME, 0.35000
CM,_Y,VOLU	OUTRES,FGRA,LAST	ACEL,,, 0.0260464	ACEL,,, 0.0319618
VSEL, , , ,P51X	OUTRES,FFLU,LAST	SOLVE	SOLVE
CM,_Y1,VOLU	OUTRES,MISC,LAST	TIME, 0.17000	TIME, 0.36000
CHKMSH,'VOLU'	KBC,1.0	ACEL,,, 0.0266958	ACEL,,, 0.0326017
CMSSEL,S,_Y	TIMINT,1	SOLVE	SOLVE
VSWEEP,_Y1	CNVTOL,F, ,0.005,2, ,	TIME, 0.18000	TIME, 0.37000
CMDELE,_Y	CNVTOL,U, ,0.005,2, ,	ACEL,,, 0.0272075	ACEL,,, 0.0266826
CMDELE,_Y1	TIME,10.0	SOLVE	SOLVE
CMDELE,_Y2	ESEL,ALL	TIME, 0.19000	TIME, 0.38000
!mesnet tanimlaniyor		ACEL,,, 0.0272404	ACEL,,, 0.0222276
/SOL	TIME, 0.01000	SOLVE	SOLVE
FLST,2,13,5,ORDE,13	ACEL,,, 0.0261737	TIME, 0.20000	TIME, 0.39000
FITEM,2,223	SOLVE	ACEL,,, 0.0268766	ACEL,,, 0.0283108
FITEM,2,228	TIME, 0.02000	SOLVE	SOLVE
FITEM,2,233	ACEL,,, 0.0261288	TIME, 0.21000	TIME, 0.40000
FITEM,2,238	SOLVE	ACEL,,, 0.0266830	ACEL,,, 0.0360643
FITEM,2,243	TIME, 0.03000	SOLVE	SOLVE
FITEM,2,248	ACEL,,, 0.0261165	TIME, 0.22000	TIME, 0.41000
FITEM,2,991	SOLVE	ACEL,,, 0.0268788	ACEL,,, 0.0337984
FITEM,2,996	TIME, 0.04000	SOLVE	SOLVE
FITEM,2,1001	ACEL,,, 0.0261197	TIME, 0.23000	TIME, 0.42000
FITEM,2,1006	SOLVE	ACEL,,, 0.0262390	ACEL,,, 0.0260566
FITEM,2,1011	TIME, 0.05000	SOLVE	SOLVE
FITEM,2,1016	ACEL,,, 0.0261691	TIME, 0.24000	TIME, 0.43000
FITEM,2,1019	SOLVE	ACEL,,, 0.0248713	ACEL,,, 0.0257026
/GO	TIME, 0.06000	SOLVE	SOLVE
DA,P51X,ALL,	ACEL,,, 0.0262616	TIME, 0.25000	TIME, 0.44000
	SOLVE	ACEL,,, 0.0264069	ACEL,,, 0.0333099
	TIME, 0.07000	SOLVE	SOLVE
	ACEL,,, 0.0262369	TIME, 0.26000	TIME, 0.45000
	SOLVE	ACEL,,, 0.0300637	ACEL,,, 0.0360427
	TIME, 0.08000	SOLVE	SOLVE
	ACEL,,, 0.0259918	TIME, 0.27000	TIME, 0.46000
	SOLVE	ACEL,,, 0.0313309	ACEL,,, 0.0358622
	TIME, 0.09000	SOLVE	SOLVE
	ACEL,,, 0.0258480	TIME, 0.28000	TIME, 0.47000
	SOLVE	ACEL,,, 0.0273229	ACEL,,, 0.0402113
	TIME, 0.10000	SOLVE	SOLVE
	ACEL,,, 0.0261703	TIME, 0.29000	
	SOLVE	ACEL,,, 0.0222056	
		SOLVE	

Ek 3'ün devamı

TIME, 0.48000 ACEL,,, 0.0440386 SOLVE	TIME, 0.60000 ACEL,,, 0.0293302 SOLVE	TIME, 0.73000 ACEL,,, 0.0711510 SOLVE	TIME, 0.86000 ACEL,,, 0.3025468 SOLVE	TIME, 0.99000 ACEL,,, 0.1690935 SOLVE
TIME, 0.49000 ACEL,,, 0.0390271 SOLVE	TIME, 0.61000 ACEL,,, 0.0395913 SOLVE	TIME, 0.74000 ACEL,,, 0.0647256 SOLVE	TIME, 0.87000 ACEL,,, 0.2693297 SOLVE	TIME, 1.00000 ACEL,,, 0.1363915 SOLVE
TIME, 0.50000 ACEL,,, 0.0253274 SOLVE	TIME, 0.62000 ACEL,,, 0.0595399 SOLVE	TIME, 0.75000 ACEL,,, 0.0588776 SOLVE	TIME, 0.88000 ACEL,,, 0.1445553 SOLVE	TIME, 1.01000 ACEL,,, 0.1353989 SOLVE
TIME, 0.51000 ACEL,,, 0.0140502 SOLVE	TIME, 0.63000 ACEL,,, 0.0813222 SOLVE	TIME, 0.76000 ACEL,,, 0.0721263 SOLVE	TIME, 0.89000 ACEL,,, 0.0600088 SOLVE	TIME, 1.02000 ACEL,,, 0.1598732 SOLVE
TIME, 0.52000 ACEL,,, 0.0139860 SOLVE	TIME, 0.64000 ACEL,,, 0.0831353 SOLVE	TIME, 0.77000 ACEL,,, 0.0658914 SOLVE	TIME, 0.90000 ACEL,,, 0.0699698 SOLVE	TIME, 1.03000 ACEL,,, 0.1049579 SOLVE
TIME, 0.53000 ACEL,,, 0.0180318 SOLVE	TIME, 0.65000 ACEL,,, 0.0553772 SOLVE	TIME, 0.78000 ACEL,,, 0.0317705 SOLVE	TIME, 0.91000 ACEL,,, 0.1522898 SOLVE	TIME, 1.04000 ACEL,,, 0.0356093 SOLVE
TIME, 0.54000 ACEL,,, 0.0289370 SOLVE	TIME, 0.66000 ACEL,,, 0.0284578 SOLVE	TIME, 0.79000 ACEL,,, 0.0021045 SOLVE	TIME, 0.92000 ACEL,,, 0.1815041 SOLVE	TIME, 1.05000 ACEL,,, 0.0500266 SOLVE
TIME, 0.55000 ACEL,,, 0.0392526 SOLVE	TIME, 0.67000 ACEL,,, 0.0508173 SOLVE	TIME, 0.80000 ACEL,,, 0.0207943 SOLVE	TIME, 0.93000 ACEL,,, 0.0973528 SOLVE	TIME, 1.06000 ACEL,,, 0.1313514 SOLVE
TIME, 0.56000 ACEL,,, 0.0352219 SOLVE	TIME, 0.68000 ACEL,,, 0.0852170 SOLVE	TIME, 0.81000 ACEL,,, 0.0849263 SOLVE	TIME, 0.94000 ACEL,,, 0.0131439 SOLVE	TIME, 1.07000 ACEL,,, 0.1376819 SOLVE
TIME, 0.57000 ACEL,,, 0.0258787 SOLVE	TIME, 0.69000 ACEL,,, 0.0859713 SOLVE	TIME, 0.82000 ACEL,,, 0.1011034 SOLVE	TIME, 0.95000 ACEL,,, 0.0004453 SOLVE	TIME, 1.08000 ACEL,,, 0.0103446 SOLVE
TIME, 0.58000 ACEL,,, 0.0207782 SOLVE	TIME, 0.70000 ACEL,,, 0.0614133 SOLVE	TIME, 0.83000 ACEL,,, 0.0674852 SOLVE	TIME, 0.96000 ACEL,,, 0.0931524 SOLVE	TIME, 1.09000 ACEL,,, 0.1027087 SOLVE
TIME, 0.59000 ACEL,,, 0.0214720 SOLVE	TIME, 0.71000 ACEL,,, 0.0381012 SOLVE	TIME, 0.84000 ACEL,,, 0.0663393 SOLVE	TIME, 0.97000 ACEL,,, 0.2090659 SOLVE	TIME, 1.10000 ACEL,,, 0.0772722 SOLVE
	TIME, 0.72000 ACEL,,, 0.0493562 SOLVE	TIME, 0.85000 ACEL,,, 0.2056821 SOLVE	TIME, 0.98000 ACEL,,, 0.2159284 SOLVE	TIME, 1.11000 ACEL,,, 0.0590537 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 1.12000 ACEL,,, 0.1164269 SOLVE TIME, 1.13000 ACEL,,, 0.0129129 SOLVE TIME, 1.14000 ACEL,,, 0.1363946 SOLVE TIME, 1.15000 ACEL,,, 0.1831934 SOLVE TIME, 1.16000 ACEL,,, 0.1322352 SOLVE TIME, 1.17000 ACEL,,, 0.1266561 SOLVE TIME, 1.18000 ACEL,,, 0.2507988 SOLVE TIME, 1.19000 ACEL,,, 0.3901061 SOLVE TIME, 1.20000 ACEL,,, 0.4395589 SOLVE TIME, 1.21000 ACEL,,, 0.3965056 SOLVE TIME, 1.22000 ACEL,,, 0.3570102 SOLVE TIME, 1.23000 ACEL,,, 0.3399709 SOLVE TIME, 1.24000 ACEL,,, 0.3269791 SOLVE	TIME, 1.25000 ACEL,,, 0.2438415 SOLVE TIME, 1.26000 ACEL,,, 0.0484806 SOLVE TIME, 1.27000 ACEL,,, 0.0893998 SOLVE TIME, 1.28000 ACEL,,, 0.0762948 SOLVE TIME, 1.29000 ACEL,,, 0.0231265 SOLVE TIME, 1.30000 ACEL,,, 0.0247110 SOLVE TIME, 1.31000 ACEL,,, 0.0160907 SOLVE TIME, 1.32000 ACEL,,, 0.0720877 SOLVE TIME, 1.33000 ACEL,,, 0.1008550 SOLVE TIME, 1.34000 ACEL,,, 0.0997930 SOLVE TIME, 1.35000 ACEL,,, 0.1304534 SOLVE TIME, 1.36000 ACEL,,, 0.2087932 SOLVE TIME, 1.37000 ACEL,,, 0.3286746 SOLVE	TIME, 1.38000 ACEL,,, 0.4326776 SOLVE TIME, 1.39000 ACEL,,, 0.3522283 SOLVE TIME, 1.40000 ACEL,,, 0.1464392 SOLVE TIME, 1.41000 ACEL,,, 0.0627731 SOLVE TIME, 1.42000 ACEL,,, 0.2875098 SOLVE TIME, 1.43000 ACEL,,, 0.4633005 SOLVE TIME, 1.44000 ACEL,,, 0.5497726 SOLVE TIME, 1.45000 ACEL,,, 0.4782110 SOLVE TIME, 1.46000 ACEL,,, 0.2299044 SOLVE TIME, 1.47000 ACEL,,, 0.0192390 SOLVE TIME, 1.48000 ACEL,,, 0.1633946 SOLVE TIME, 1.49000 ACEL,,, 0.1814913 SOLVE TIME, 1.50000 ACEL,,, 0.0202957 SOLVE	TIME, 1.51000 ACEL,,, 0.1800147 SOLVE TIME, 1.52000 ACEL,,, 0.2847502 SOLVE TIME, 1.53000 ACEL,,, 0.3289891 SOLVE TIME, 1.54000 ACEL,,, 0.3412150 SOLVE TIME, 1.55000 ACEL,,, 0.2117161 SOLVE TIME, 1.56000 ACEL,,, 0.0628540 SOLVE TIME, 1.57000 ACEL,,, 0.0154569 SOLVE TIME, 1.58000 ACEL,,, 0.0102975 SOLVE TIME, 1.59000 ACEL,,, 0.0340961 SOLVE TIME, 1.60000 ACEL,,, 0.1405302 SOLVE TIME, 1.61000 ACEL,,, 0.2237525 SOLVE TIME, 1.62000 ACEL,,, 0.1334525 SOLVE TIME, 1.63000 ACEL,,, 0.1102340 SOLVE	TIME, 1.64000 ACEL,,, 0.4040832 SOLVE TIME, 1.65000 ACEL,,, 0.5830389 SOLVE TIME, 1.66000 ACEL,,, 0.5474259 SOLVE TIME, 1.67000 ACEL,,, 0.4087544 SOLVE TIME, 1.68000 ACEL,,, 0.3308725 SOLVE TIME, 1.69000 ACEL,,, 0.3669986 SOLVE TIME, 1.70000 ACEL,,, 0.3969683 SOLVE TIME, 1.71000 ACEL,,, 0.2970764 SOLVE TIME, 1.72000 ACEL,,, 0.0635502 SOLVE TIME, 1.73000 ACEL,,, 0.1834304 SOLVE TIME, 1.74000 ACEL,,, 0.2792378 SOLVE TIME, 1.75000 ACEL,,, 0.1307127 SOLVE TIME, 1.76000 ACEL,,, 0.1009586 SOLVE
--	--	--	--	--

Ek 3'ün devamı

TIME, 1.77000 ACEL,,, 0.2499576 SOLVE	TIME, 1.90000 ACEL,,, 0.3995610 SOLVE	TIME, 2.03000 ACEL,,, 2.5201821 SOLVE	TIME, 2.16000 ACEL,,, 1.9943946 SOLVE	TIME, 2.29000 ACEL,,, 1.6825474 SOLVE
TIME, 1.78000 ACEL,,, 0.2017351 SOLVE	TIME, 1.91000 ACEL,,, 0.3091709 SOLVE	TIME, 2.04000 ACEL,,, 2.4253822 SOLVE	TIME, 2.17000 ACEL,,, 1.8409917 SOLVE	TIME, 2.30000 ACEL,,, 0.4796711 SOLVE
TIME, 1.79000 ACEL,,, 0.0072737 SOLVE	TIME, 1.92000 ACEL,,, 0.4156810 SOLVE	TIME, 2.05000 ACEL,,, 2.0551332 SOLVE	TIME, 2.18000 ACEL,,, 1.5453879 SOLVE	TIME, 2.31000 ACEL,,, 2.4835771 SOLVE
TIME, 1.80000 ACEL,,, 0.1711183 SOLVE	TIME, 1.93000 ACEL,,, 0.6259267 SOLVETIME,	TIME, 2.06000 ACEL,,, 1.7017132 SOLVE	TIME, 2.19000 ACEL,,, 1.0506667 SOLVE	TIME, 2.32000 ACEL,,, 4.0491766 SOLVE
TIME, 1.81000 ACEL,,, 0.1962537 SOLVE	TIME, 1.94000 ACEL,,, 0.8539571 SOLVE	TIME, 2.07000 ACEL,,, 1.5863349 SOLVE	TIME, 2.20000 ACEL,,, 0.3023235 SOLVE	TIME, 2.33000 ACEL,,, 5.0906229 SOLVE
TIME, 1.82000 ACEL,,, 0.2592538 SOLVE	TIME, 1.95000 ACEL,,, 0.9604284 SOLVE	TIME, 2.08000 ACEL,,, 1.7153001 SOLVE	TIME, 2.21000 ACEL,,, 0.7797217 SOLVE	TIME, 2.34000 ACEL,,, 5.7698113 SOLVE
TIME, 1.83000 ACEL,,, 0.4311730 SOLVE	TIME, 1.96000 ACEL,,, 0.9988885 SOLVE	TIME, 2.09000 ACEL,,, 1.8976170 SOLVE	TIME, 2.22000 ACEL,,, 2.0049786 SOLVE	TIME, 2.35000 ACEL,,, 6.1226074 SOLVE
TIME, 1.84000 ACEL,,, 0.5930207 SOLVE	TIME, 1.97000 ACEL,,, 1.1095394 SOLVE	TIME, 2.10000 ACEL,,, 1.9927328 SOLVE	TIME, 2.23000 ACEL,,, 3.1068574 SOLVE	TIME, 2.36000 ACEL,,, 5.9962811 SOLVE
TIME, 1.85000 ACEL,,, 0.7215252 SOLVE	TIME, 1.98000 ACEL,,, 1.2735852 SOLVE	TIME, 2.11000 ACEL,,, 1.9881760 SOLVE	TIME, 2.24000 ACEL,,, 3.9803683 SOLVE	TIME, 2.37000 ACEL,,, 5.4591483 SOLVE
TIME, 1.86000 ACEL,,, 0.7847902 SOLVE	TIME, 1.99000 ACEL,,, 1.4980567 SOLVE	TIME, 2.12000 ACEL,,, 1.9911396 SOLVE	TIME, 2.25000 ACEL,,, 4.6369830 SOLVE	TIME, 2.38000 ACEL,,, 4.7248187 SOLVE
TIME, 1.87000 ACEL,,, 0.7848097 SOLVE	TIME, 2.00000 ACEL,,, 1.7927520 SOLVE	TIME, 2.13000 ACEL,,, 2.0520548 SOLVE	TIME, 2.26000 ACEL,,, 4.9818986 SOLVE	TIME, 2.39000 ACEL,,, 4.0859690 SOLVE
TIME, 1.88000 ACEL,,, 0.7937829 SOLVE	TIME, 2.01000 ACEL,,, 2.0826689 SOLVE	TIME, 2.14000 ACEL,,, 2.0756989 SOLVE	TIME, 2.27000 ACEL,,, 4.6695620 SOLVE	TIME, 2.40000 ACEL,,, 3.6315227 SOLVE
TIME, 1.89000 ACEL,,, 0.6579271 SOLVE	TIME, 2.02000 ACEL,,, 2.3448961 SOLVE	TIME, 2.15000 ACEL,,, 2.0617599 SOLVE	TIME, 2.28000 ACEL,,, 3.5436329 SOLVE	TIME, 2.41000 ACEL,,, 3.1251570 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 2.42000 ACEL,,,- 2.3041699 SOLVE	TIME, 2.55000 ACEL,,, 2.9348322 SOLVE	TIME, 2.68000 ACEL,,, 1.0754203 SOLVE	TIME, 2.81000 ACEL,,, 5.0526660 SOLVE	TIME, 2.94000 ACEL,,, 3.5988181 SOLVE
TIME, 2.43000 ACEL,,,- 1.0970258 SOLVE	TIME, 2.56000 ACEL,,, 3.3439347 SOLVE	TIME, 2.69000 ACEL,,, 0.1123676 SOLVE	TIME, 2.82000 ACEL,,, 6.0387662 SOLVE	TIME, 2.95000 ACEL,,, 3.0030647 SOLVE
TIME, 2.44000 ACEL,,, 0.2915924 SOLVE	TIME, 2.57000 ACEL,,, 3.8356364 SOLVE	TIME, 2.70000 ACEL,,,- 0.9405168 SOLVE	TIME, 2.83000 ACEL,,, 6.5830584 SOLVE	TIME, 2.96000 ACEL,,, 2.5202704 SOLVE
TIME, 2.45000 ACEL,,, 1.5902942 SOLVE	TIME, 2.58000 ACEL,,, 4.3848787 SOLVE	TIME, 2.71000 ACEL,,,- 2.0060577 SOLVE	TIME, 2.84000 ACEL,,, 6.3139191 SOLVE	TIME, 2.97000 ACEL,,, 2.2037488 SOLVE
TIME, 2.46000 ACEL,,, 2.5516448 SOLVE	TIME, 2.59000 ACEL,,, 4.9281624 SOLVE	TIME, 2.72000 ACEL,,,- 2.9688798 SOLVE	TIME, 2.85000 ACEL,,, 5.4030812 SOLVE	TIME, 2.98000 ACEL,,, 1.9955943 SOLVE
TIME, 2.47000 ACEL,,, 3.0548418 SOLVE	TIME, 2.60000 ACEL,,, 5.2610589 SOLVE	TIME, 2.73000 ACEL,,,- 3.5484703 SOLVE	TIME, 2.86000 ACEL,,, 4.4182847 SOLVE	TIME, 2.99000 ACEL,,, 1.7889938 SOLVE
TIME, 2.48000 ACEL,,, 3.1797997 SOLVE	TIME, 2.61000 ACEL,,, 5.1524749 SOLVE	TIME, 2.74000 ACEL,,,- 3.5482937 SOLVE	TIME, 2.87000 ACEL,,, 3.8437866 SOLVE	TIME, 3.00000 ACEL,,, 1.4984638 SOLVE
TIME, 2.49000 ACEL,,, 3.0883999 SOLVE	TIME, 2.62000 ACEL,,, 4.6531469 SOLVE	TIME, 2.75000 ACEL,,,- 2.9224745 SOLVE	TIME, 2.88000 ACEL,,, 3.8301968 SOLVE	TIME, 3.01000 ACEL,,, 1.1526868 SOLVE
TIME, 2.50000 ACEL,,, 2.9558776 SOLVE	TIME, 2.63000 ACEL,,, 4.0301442 SOLVE	TIME, 2.76000 ACEL,,,- 1.7679778 SOLVE	TIME, 2.89000 ACEL,,, 4.2051978 SOLVE	TIME, 3.02000 ACEL,,, 0.8121445 SOLVE
TIME, 2.51000 ACEL,,, 2.8425829 SOLVE	TIME, 2.64000 ACEL,,, 3.4836566 SOLVE	TIME, 2.77000 ACEL,,,- 0.3254329 SOLVE	TIME, 2.90000 ACEL,,, 4.5842895 SOLVE	TIME, 3.03000 ACEL,,, 0.4624352 SOLVE
TIME, 2.52000 ACEL,,, 2.7052360 SOLVE	TIME, 2.65000 ACEL,,, 3.0129267 SOLVE	TIME, 2.78000 ACEL,,, 1.1765594 SOLVE	TIME, 2.91000 ACEL,,, 4.7330366 SOLVE	TIME, 3.04000 ACEL,,, 0.0717709 SOLVE
TIME, 2.53000 ACEL,,, 2.6152508 SOLVE	TIME, 2.66000 ACEL,,, 2.5030568 SOLVE	TIME, 2.79000 ACEL,,, 2.5978665 SOLVE	TIME, 2.92000 ACEL,,, 4.5965501 SOLVE	TIME, 3.05000 ACEL,,,- 0.3284405 SOLVE
TIME, 2.54000 ACEL,,, 2.6793033 SOLVE	TIME, 2.67000 ACEL,,, 1.8699704 SOLVE	TIME, 2.80000 ACEL,,, 3.8806555 SOLVE	TIME, 2.93000 ACEL,,, 4.1827603 SOLVE	TIME, 3.06000 ACEL,,,- 0.7250477 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 3.07000 ACEL,,, - 1.1578086 SOLVE	TIME, 3.20000 ACEL,,, - 4.5082179 SOLVE	TIME, 3.33000 ACEL,,, - 2.7532099 SOLVE	TIME, 3.46000 ACEL,,, - 2.0338955 SOLVE	TIME, 3.59000 ACEL,,, 1.0549439 SOLVE
TIME, 3.08000 ACEL,,, - 1.6342675 SOLVE	TIME, 3.21000 ACEL,,, - 3.4685139 SOLVE	TIME, 3.34000 ACEL,,, - 2.8556459 SOLVE	TIME, 3.47000 ACEL,,, - 1.6407922 SOLVE	TIME, 3.60000 ACEL,,, 1.2806857 SOLVE
TIME, 3.09000 ACEL,,, - 2.1239651 SOLVE	TIME, 3.22000 ACEL,,, - 2.1069889 SOLVE	TIME, 3.35000 ACEL,,, - 3.0277025 SOLVE	TIME, 3.48000 ACEL,,, - 1.6138176 SOLVE	TIME, 3.61000 ACEL,,, 1.5516575 SOLVE
TIME, 3.10000 ACEL,,, - 2.5818203 SOLVE	TIME, 3.23000 ACEL,,, - 0.8142638 SOLVE	TIME, 3.36000 ACEL,,, - 3.2728289 SOLVE	TIME, 3.49000 ACEL,,, - 1.9838557 SOLVE	TIME, 3.62000 ACEL,,, 1.8952273 SOLVE
TIME, 3.11000 ACEL,,, - 2.9877983 SOLVE	TIME, 3.24000 ACEL,,, 0.1422079 SOLVE	TIME, 3.37000 ACEL,,, - 3.5265488 SOLVE	TIME, 3.50000 ACEL,,, - 2.6951945 SOLVE	TIME, 3.63000 ACEL,,, 2.2895863 SOLVE
TIME, 3.12000 ACEL,,, - 3.3836436 SOLVE	TIME, 3.25000 ACEL,,, 0.6570493 SOLVE	TIME, 3.38000 ACEL,,, - 3.7363710 SOLVE	TIME, 3.51000 ACEL,,, - 3.3674885 SOLVE	TIME, 3.64000 ACEL,,, 2.6197360 SOLVE
TIME, 3.13000 ACEL,,, - 3.7827811 SOLVE	TIME, 3.26000 ACEL,,, 0.7224164 SOLVE	TIME, 3.39000 ACEL,,, - 3.9751699 SOLVE	TIME, 3.52000 ACEL,,, - 3.5922493 SOLVE	TIME, 3.65000 ACEL,,, 2.7854269 SOLVE
TIME, 3.14000 ACEL,,, - 4.0552362 SOLVE	TIME, 3.27000 ACEL,,, 0.3502629 SOLVE	TIME, 3.40000 ACEL,,, - 4.3143576 SOLVE	TIME, 3.53000 ACEL,,, - 3.3299633 SOLVE	TIME, 3.66000 ACEL,,, 2.8363761 SOLVE
TIME, 3.15000 ACEL,,, - 4.2251219 SOLVE	TIME, 3.28000 ACEL,,, - 0.3633486 SOLVE	TIME, 3.41000 ACEL,,, - 4.7018045 SOLVE	TIME, 3.54000 ACEL,,, - 2.6252306 SOLVE	TIME, 3.67000 ACEL,,, 2.9115197 SOLVE
TIME, 3.16000 ACEL,,, - 4.4427528 SOLVE	TIME, 3.29000 ACEL,,, - 1.1943498 SOLVE	TIME, 3.42000 ACEL,,, - 4.8817395 SOLVE	TIME, 3.55000 ACEL,,, - 1.6154519 SOLVE	TIME, 3.68000 ACEL,,, 3.1782222 SOLVE
TIME, 3.17000 ACEL,,, - 4.6839768 SOLVE	TIME, 3.30000 ACEL,,, - 1.8867926 SOLVE	TIME, 3.43000 ACEL,,, - 4.5538697 SOLVE	TIME, 3.56000 ACEL,,, - 0.5342503 SOLVE	TIME, 3.69000 ACEL,,, 3.7125808 SOLVE
TIME, 3.18000 ACEL,,, - 4.8957708 SOLVE	TIME, 3.31000 ACEL,,, - 2.3494793 SOLVE	TIME, 3.44000 ACEL,,, - 3.7729574 SOLVE	TIME, 3.57000 ACEL,,, 0.2917130 SOLVE	TIME, 3.70000 ACEL,,, 4.4067805 SOLVE
TIME, 3.19000 ACEL,,, - 4.9394684 SOLVE	TIME, 3.32000 ACEL,,, - 2.6166233 SOLVE	TIME, 3.45000 ACEL,,, - 2.8128704 SOLVE	TIME, 3.58000 ACEL,,, 0.7771577 SOLVE	TIME, 3.71000 ACEL,,, 4.9551468 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 3.72000 ACEL,,, 5.1122814 SOLVE	TIME, 3.86000 ACEL,,, 1.2329787 SOLVE	TIME, 4.00000 ACEL,,, 1.6054977 SOLVE	TIME, 4.14000 ACEL,,, 1.6557102 SOLVE	TIME, 4.28000 ACEL,,, 2.6418281 SOLVE
TIME, 3.73000 ACEL,,, 4.8274588 SOLVE	TIME, 3.87000 ACEL,,, 1.5992272 SOLVE	TIME, 4.01000 ACEL,,, 1.5395373 SOLVE	TIME, 4.15000 ACEL,,, 1.8464951 SOLVE	TIME, 4.29000 ACEL,,, 2.5005670 SOLVE
TIME, 3.74000 ACEL,,, 4.1777229 SOLVE	TIME, 3.88000 ACEL,,, 2.0548144 SOLVE	TIME, 4.02000 ACEL,,, 1.4845120 SOLVE	TIME, 4.16000 ACEL,,, 2.2026717 SOLVE	TIME, 4.30000 ACEL,,, 2.2283062 SOLVETIME,
TIME, 3.75000 ACEL,,, 3.3418756 SOLVE	TIME, 3.89000 ACEL,,, 2.4582496 SOLVE	TIME, 4.03000 ACEL,,, 1.3378858 SOLVE	TIME, 4.17000 ACEL,,, 2.6919533 SOLVE	4.31000 ACEL,,, 1.8430645 SOLVE
TIME, 3.76000 ACEL,,, 2.5119398 SOLVETIME,	TIME, 3.90000 ACEL,,, 2.6959008 SOLVE	TIME, 4.04000 ACEL,,, 0.9808897 SOLVE	TIME, 4.18000 ACEL,,, 3.2148626 SOLVE	TIME, 4.32000 ACEL,,, 1.3692308 SOLVE
3.77000 ACEL,,, 1.8276785 SOLVE	TIME, 3.91000 ACEL,,, 2.7143014 SOLVE	TIME, 4.05000 ACEL,,, 0.4484156 SOLVE	TIME, 4.19000 ACEL,,, 3.6707166 SOLVE	TIME, 4.33000 ACEL,,, 0.9001434 SOLVE
TIME, 3.78000 ACEL,,, 1.3624834 SOLVE	TIME, 3.92000 ACEL,,, 2.4885841 SOLVE	TIME, 4.06000 ACEL,,, 0.1245787 SOLVE	TIME, 4.20000 ACEL,,, 3.9669698 SOLVE	TIME, 4.34000 ACEL,,, 0.5225488 SOLVE
TIME, 3.79000 ACEL,,, 1.1370555 SOLVE	TIME, 3.93000 ACEL,,, 2.1043843 SOLVE	TIME, 4.07000 ACEL,,, 0.6488705 SOLVE	TIME, 4.21000 ACEL,,, 4.0763434 SOLVE	TIME, 4.35000 ACEL,,, 0.2561150 SOLVE
TIME, 3.80000 ACEL,,, 1.0709950 SOLVE	TIME, 3.94000 ACEL,,, 1.7764880 SOLVETIME,	TIME, 4.08000 ACEL,,, 1.0908877 SOLVE	TIME, 4.22000 ACEL,,, 4.0190795 SOLVE	TIME, 4.36000 ACEL,,, 0.0618569 SOLVE
TIME, 3.81000 ACEL,,, 1.0580183 SOLVE	3.95000 ACEL,,, 1.7110239 SOLVE	TIME, 4.09000 ACEL,,, 1.4267654 SOLVE	TIME, 4.23000 ACEL,,, 3.8353029 SOLVE	TIME, 4.37000 ACEL,,, 0.0594292 SOLVE
TIME, 3.82000 ACEL,,, 1.0588816 SOLVE	TIME, 3.96000 ACEL,,, 1.8555782 SOLVE	TIME, 4.10000 ACEL,,, 1.6236757 SOLVE	TIME, 4.24000 ACEL,,, 3.5582332 SOLVE	TIME, 4.38000 ACEL,,, 0.0793197 SOLVE
TIME, 3.83000 ACEL,,, 1.0472970 SOLVE	TIME, 3.97000 ACEL,,, 1.9227600 SOLVE	TIME, 4.11000 ACEL,,, 1.6659018 SOLVE	TIME, 4.25000 ACEL,,, 3.2168658 SOLVE	TIME, 4.39000 ACEL,,, 0.0152969 SOLVE
TIME, 3.84000 ACEL,,, 1.0198388 SOLVE	TIME, 3.98000 ACEL,,, 1.8461066 SOLVE	TIME, 4.12000 ACEL,,, 1.6109492 SOLVE	TIME, 4.26000 ACEL,,, 2.9231063 SOLVE	TIME, 4.40000 ACEL,,, 0.1860876 SOLVE
TIME, 3.85000 ACEL,,, 1.0485291 SOLVE	TIME, 3.99000 ACEL,,, 1.7211400 SOLVE	TIME, 4.13000 ACEL,,, 1.5899244 SOLVE	TIME, 4.27000 ACEL,,, 2.7359747 SOLVE	TIME, 4.41000 ACEL,,, 0.3398633 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 4.42000 ACEL,,,- 0.4426518 SOLVE	TIME, 4.56000 ACEL,,, 1.2363563 SOLVE	TIME, 4.70000 ACEL,,,- 3.8128193 SOLVE	TIME, 4.84000 ACEL,,, 3.8975532 SOLVETIME, 4.85000 ACEL,,, 3.7960609 SOLVE	TIME, 4.98000 ACEL,,, 2.1935395 SOLVE
TIME, 4.43000 ACEL,,,- 0.5068434 SOLVE	TIME, 4.57000 ACEL,,, 1.4169250 SOLVE	TIME, 4.71000 ACEL,,,- 3.4156674 SOLVE	TIME, 4.86000 ACEL,,, 3.9366696 SOLVE	TIME, 4.99000 ACEL,,, 2.2044914 SOLVE
TIME, 4.44000 ACEL,,,- 0.4670465 SOLVE	TIME, 4.58000 ACEL,,, 1.5368464 SOLVE	TIME, 4.72000 ACEL,,,- 3.0542326 SOLVE	TIME, 4.87000 ACEL,,, 4.2038999 SOLVE	TIME, 5.00000 ACEL,,, 2.1999043 SOLVE
TIME, 4.45000 ACEL,,,- 0.2632726 SOLVE	TIME, 4.59000 ACEL,,, 1.5486547 SOLVE	TIME, 4.73000 ACEL,,,- 2.7896540 SOLVE	TIME, 4.88000 ACEL,,, 4.3169189 SOLVE	TIME, 5.01000 ACEL,,, 2.2135166 SOLVE
TIME, 4.46000 ACEL,,, 0.0460750 SOLVE	TIME, 4.60000 ACEL,,, 1.4222783 SOLVE	TIME, 4.74000 ACEL,,,- 2.4421338 SOLVE	TIME, 4.89000 ACEL,,, 4.0586599 SOLVE	TIME, 5.02000 ACEL,,, 2.2893273 SOLVE
TIME, 4.47000 ACEL,,, 0.3325141 SOLVE	TIME, 4.61000 ACEL,,, 1.1127797 SOLVE	TIME, 4.75000 ACEL,,,- 1.7250110 SOLVE	TIME, 4.90000 ACEL,,, 3.4335530 SOLVE	TIME, 5.03000 ACEL,,, 2.4169701 SOLVE
TIME, 4.48000 ACEL,,, 0.4806075 SOLVETIME, 4.49000 ACEL,,, 0.4627001 SOLVE	TIME, 4.62000 ACEL,,, 0.6103269 SOLVE	TIME, 4.76000 ACEL,,,- 0.7521852 SOLVE	TIME, 4.91000 ACEL,,, 2.6353761 SOLVE	TIME, 5.04000 ACEL,,, 2.5572894 SOLVE
TIME, 4.50000 ACEL,,, 0.3858369 SOLVE	TIME, 4.63000 ACEL,,,- 0.0805770 SOLVE	TIME, 4.77000 ACEL,,, 0.2641494 SOLVE	TIME, 4.92000 ACEL,,, 1.9438476 SOLVE	TIME, 5.05000 ACEL,,, 2.6783615 SOLVE
TIME, 4.51000 ACEL,,, 0.3740317 SOLVE	TIME, 4.64000 ACEL,,,- 0.9109294 SOLVE	TIME, 4.78000 ACEL,,, 1.2898247 SOLVE	TIME, 4.93000 ACEL,,, 1.6000924 SOLVE	TIME, 5.06000 ACEL,,, 2.7681485 SOLVE
TIME, 4.52000 ACEL,,, 0.4803733 SOLVE	TIME, 4.65000 ACEL,,,- 1.8003430 SOLVE	TIME, 4.79000 ACEL,,, 2.3654431 SOLVE	TIME, 4.94000 ACEL,,, 1.6647482 SOLVE	TIME, 5.07000 ACEL,,, 2.8305156 SOLVE
TIME, 4.53000 ACEL,,, 0.6576756 SOLVE	TIME, 4.66000 ACEL,,,- 2.7373873 SOLVE	TIME, 4.80000 ACEL,,, 3.3703982 SOLVE	TIME, 4.95000 ACEL,,, 1.9303431 SOLVE	TIME, 5.08000 ACEL,,, 2.8966183 SOLVE
TIME, 4.54000 ACEL,,, 0.8459090 SOLVE	TIME, 4.67000 ACEL,,,- 3.5927349 SOLVE	TIME, 4.81000 ACEL,,, 4.0375566 SOLVE	TIME, 4.96000 ACEL,,, 2.1270474 SOLVE	TIME, 5.09000 ACEL,,, 2.9830817 SOLVE
TIME, 4.55000 ACEL,,, 1.0357104 SOLVE	TIME, 4.68000 ACEL,,,- 4.0796935 SOLVE	TIME, 4.82000 ACEL,,, 4.2548099 SOLVE	TIME, 4.97000 ACEL,,, 2.1865882 SOLVE	TIME, 5.10000 ACEL,,, 3.0636238 SOLVE
	TIME, 4.69000 ACEL,,,- 4.1016238 SOLVE	TIME, 4.83000 ACEL,,, 4.1296873 SOLVE		TIME, 5.11000 ACEL,,, 3.0588227 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 5.12000 ACEL,,, 2.9036511 SOLVE	TIME, 5.26000 ACEL,,, 1.2446114 SOLVE	TIME, 5.40000 ACEL,,, 1.0965696 SOLVE	TIME, 5.54000 ACEL,,, 2.4335098 SOLVE	TIME, 5.68000 ACEL,,, 4.5525718 SOLVE
TIME, 5.13000 ACEL,,, 2.6149938 SOLVE	TIME, 5.27000 ACEL,,, 1.0393214 SOLVE	TIME, 5.41000 ACEL,,, 1.2212283 SOLVE	TIME, 5.55000 ACEL,,, 2.5826404 SOLVE	TIME, 5.69000 ACEL,,, 4.6977647 SOLVE
TIME, 5.14000 ACEL,,, 2.2940626 SOLVE	TIME, 5.28000 ACEL,,, 0.7943760 SOLVE	TIME, 5.42000 ACEL,,, 1.2494183 SOLVE	TIME, 5.56000 ACEL,,, 2.7483647 SOLVETIME,	TIME, 5.70000 ACEL,,, 4.7241968 SOLVE
TIME, 5.15000 ACEL,,, 2.0696451 SOLVE	TIME, 5.29000 ACEL,,, 0.5022428 SOLVE	TIME, 5.43000 ACEL,,, 1.2113672 SOLVE	5.57000 ACEL,,, 2.9090025 SOLVE	TIME, 5.71000 ACEL,,, 4.5919688 SOLVE
TIME, 5.16000 ACEL,,, 1.9912044 SOLVE	TIME, 5.30000 ACEL,,, 0.2328675 SOLVE	TIME, 5.44000 ACEL,,, 1.1417202 SOLVE	TIME, 5.58000 ACEL,,, 3.0385494 SOLVE	TIME, 5.72000 ACEL,,, 4.3479460 SOLVE
TIME, 5.17000 ACEL,,, 2.0299313 SOLVE	TIME, 5.31000 ACEL,,, 0.0297092 SOLVE	TIME, 5.45000 ACEL,,, 1.0944615 SOLVE	TIME, 5.59000 ACEL,,, 3.1553904 SOLVE	TIME, 5.73000 ACEL,,, 4.0761394 SOLVE
TIME, 5.18000 ACEL,,, 2.1091098 SOLVE	TIME, 5.32000 ACEL,,, 0.1340486 SOLVE	TIME, 5.46000 ACEL,,, 1.1332404 SOLVE	TIME, 5.60000 ACEL,,, 3.2841790 SOLVE	TIME, 5.74000 ACEL,,, 3.8757142 SOLVE TIME,
TIME, 5.19000 ACEL,,, 2.1383318 SOLVE	TIME, 5.33000 ACEL,,, 0.2767590 SOLVE	TIME, 5.47000 ACEL,,, 1.2890056 SOLVE	TIME, 5.61000 ACEL,,, 3.4052835 SOLVE	5.75000 ACEL,,, 3.8066793 SOLVE
TIME, 5.20000 ACEL,,, 2.0719878 SOLVETIME,	TIME, 5.34000 ACEL,,, 0.3772368 SOLVE	TIME, 5.48000 ACEL,,, 1.5214005 SOLVE	TIME, 5.62000 ACEL,,, 3.5202302 SOLVE	TIME, 5.76000 ACEL,,, 3.8686991 SOLVE
5.21000 ACEL,,, 1.9161363 SOLVE	TIME, 5.35000 ACEL,,, 0.4224066 SOLVE	TIME, 5.49000 ACEL,,, 1.7549433 SOLVE	TIME, 5.63000 ACEL,,, 3.6486382 SOLVE	TIME, 5.77000 ACEL,,, 4.0297881 SOLVE
TIME, 5.22000 ACEL,,, 1.7440591 SOLVE	TIME, 5.36000 ACEL,,, 0.4786867 SOLVE	TIME, 5.50000 ACEL,,, 1.9483925 SOLVE	TIME, 5.64000 ACEL,,, 3.7829087 SOLVE	TIME, 5.78000 ACEL,,, 4.2253750 SOLVE
TIME, 5.23000 ACEL,,, 1.6083907 SOLVE	TIME, 5.37000 ACEL,,, 0.5881459 SOLVE	TIME, 5.51000 ACEL,,, 2.1015463 SOLVE	TIME, 5.65000 ACEL,,, 3.9386748 SOLVE	TIME, 5.79000 ACEL,,, 4.3705649 SOLVE
TIME, 5.24000 ACEL,,, 1.5165083 SOLVE	TIME, 5.38000 ACEL,,, 0.7388714 SOLVE	TIME, 5.52000 ACEL,,, 2.2106276 SOLVE	TIME, 5.66000 ACEL,,, 4.1381101 SOLVE	TIME, 5.80000 ACEL,,, 4.4381549 SOLVE
TIME, 5.25000 ACEL,,, 1.4101208 SOLVE	TIME, 5.39000 ACEL,,, 0.9170526 SOLVE	TIME, 5.53000 ACEL,,, 2.3117402 SOLVE	TIME, 5.67000 ACEL,,, 4.3532827 SOLVE	TIME, 5.81000 ACEL,,, 4.4327643 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 5.82000 ACEL,,, - 4.3665036 SOLVE	TIME, 5.96000 ACEL,,, - 4.1833941 SOLVE	TIME, 6.10000 ACEL,,, 1.0047785 SOLVETIME,	TIME, 6.24000 ACEL,,, 3.4432060 SOLVE	TIME, 6.38000 ACEL,,, 3.1579459 SOLVE
TIME, 5.83000 ACEL,,, - 4.2545666 SOLVE	TIME, 5.97000 ACEL,,, - 3.6944087 SOLVE	6.11000 ACEL,,, 1.1631374 SOLVE	TIME, 6.25000 ACEL,,, 3.4184004 SOLVE	TIME, 6.39000 ACEL,,, 3.0441931 SOLVE
TIME, 5.84000 ACEL,,, - 4.0852254 SOLVE	TIME, 5.98000 ACEL,,, - 3.1112317 SOLVE	TIME, 6.12000 ACEL,,, 1.3271782 SOLVE	TIME, 6.26000 ACEL,,, 3.3779626 SOLVE	TIME, 6.40000 ACEL,,, 2.8918252 SOLVE
TIME, 5.85000 ACEL,,, - 3.8233053 SOLVE	TIME, 5.99000 ACEL,,, - 2.5809090 SOLVE	TIME, 6.13000 ACEL,,, 1.5134740 SOLVE	TIME, 6.27000 ACEL,,, 3.3819337 SOLVE	TIME, 6.41000 ACEL,,, 2.6961412 SOLVE
TIME, 5.86000 ACEL,,, - 3.5089948 SOLVE	TIME, 6.00000 ACEL,,, - 2.1804903 SOLVE	TIME, 6.14000 ACEL,,, 1.7141347 SOLVE	TIME, 6.28000 ACEL,,, 3.4981361 SOLVE	TIME, 6.42000 ACEL,,, 2.4765002 SOLVE
TIME, 5.87000 ACEL,,, - 3.2655646 SOLVE	TIME, 6.01000 ACEL,,, - 1.8870712 SOLVE	TIME, 6.15000 ACEL,,, 1.9161226 SOLVE	TIME, 6.29000 ACEL,,, 3.6923967 SOLVE	TIME, 6.43000 ACEL,,, 2.2481675 SOLVE
TIME, 5.88000 ACEL,,, - 3.1557102 SOLVE	TIME, 6.02000 ACEL,,, - 1.6066180 SOLVE	TIME, 6.16000 ACEL,,, 2.1329608 SOLVE	TIME, 6.30000 ACEL,,, 3.8874136 SOLVE	TIME, 6.44000 ACEL,,, 2.0457735 SOLVE
TIME, 5.89000 ACEL,,, - 3.1858868 SOLVE	TIME, 6.03000 ACEL,,, - 1.2418871 SOLVE	TIME, 6.17000 ACEL,,, 2.3636567 SOLVE	TIME, 6.31000 ACEL,,, 4.0189098 SOLVE	TIME, 6.45000 ACEL,,, 1.9080568 SOLVE
TIME, 5.90000 ACEL,,, - 3.3563424 SOLVE	TIME, 6.04000 ACEL,,, - 0.7892610 SOLVE	TIME, 6.18000 ACEL,,, 2.5983168 SOLVE	TIME, 6.32000 ACEL,,, 4.0586334 SOLVE	TIME, 6.46000 ACEL,,, 1.8647613 SOLVE
TIME, 5.91000 ACEL,,, - 3.6463407 SOLVE	TIME, 6.05000 ACEL,,, - 0.3089561 SOLVE	TIME, 6.19000 ACEL,,, 2.8447440 SOLVE	TIME, 6.33000 ACEL,,, 3.9865456 SOLVE	TIME, 6.47000 ACEL,,, 1.9026220 SOLVE
TIME, 5.92000 ACEL,,, - 3.9789125 SOLVETIME,	TIME, 6.06000 ACEL,,, 0.1129950 SOLVE	TIME, 6.20000 ACEL,,, 3.1114122 SOLVE	TIME, 6.34000 ACEL,,, 3.8069667 SOLVE	TIME, 6.48000 ACEL,,, 1.9729048 SOLVE
5.93000 ACEL,,, - 4.2556692 SOLVE	TIME, 6.07000 ACEL,,, 0.4423892 SOLVE	TIME, 6.21000 ACEL,,, 3.3321068 SOLVE	TIME, 6.35000 ACEL,,, 3.5873973 SOLVE	TIME, 6.49000 ACEL,,, 2.0176816 SOLVE
TIME, 5.94000 ACEL,,, - 4.4338473 SOLVE	TIME, 6.08000 ACEL,,, 0.6776981 SOLVE	TIME, 6.22000 ACEL,,, 3.4401747 SOLVE	TIME, 6.36000 ACEL,,, 3.3988619 SOLVE	TIME, 6.50000 ACEL,,, 2.0031353 SOLVE
TIME, 5.95000 ACEL,,, - 4.4382765 SOLVE	TIME, 6.09000 ACEL,,, 0.8495961 SOLVE	TIME, 6.23000 ACEL,,, 3.4560228 SOLVE	TIME, 6.37000 ACEL,,, 3.2618731 SOLVE	TIME, 6.51000 ACEL,,, 1.9379753 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 6.52000 ACEL,,, 1.8450854 SOLVE	TIME, 6.66000 ACEL,,, 1.7103568 SOLVE	TIME, 6.80000 ACEL,,, 0.7436450 SOLVE	TIME, 6.94000 ACEL,,, 1.8140554 SOLVE	TIME, 7.08000 ACEL,,, 0.3298739 SOLVE
TIME, 6.53000 ACEL,,, 1.7426033 SOLVE	TIME, 6.67000 ACEL,,, 1.3324903 SOLVE	TIME, 6.81000 ACEL,,, 0.7662045 SOLVE	TIME, 6.95000 ACEL,,, 1.9624640 SOLVE	TIME, 7.09000 ACEL,,, 0.2745045 SOLVE
TIME, 6.54000 ACEL,,, 1.6381032 SOLVE	TIME, 6.68000 ACEL,,, 0.9474305 SOLVE	TIME, 6.82000 ACEL,,, 0.7119285 SOLVE	TIME, 6.96000 ACEL,,, 2.0656976 SOLVE	TIME, 7.10000 ACEL,,, 0.2325494 SOLVE
TIME, 6.55000 ACEL,,, 1.5618462 SOLVE	TIME, 6.69000 ACEL,,, 0.6086564 SOLVE	TIME, 6.83000 ACEL,,, 0.6497140 SOLVE	TIME, 6.97000 ACEL,,, 2.0903717 SOLVE	TIME, 7.11000 ACEL,,, 0.2711163 SOLVE
TIME, 6.56000 ACEL,,, 1.5142294 SOLVE	TIME, 6.70000 ACEL,,, 0.3516934 SOLVE	TIME, 6.84000 ACEL,,, 0.6503121 SOLVE	TIME, 6.98000 ACEL,,, 2.0161286 SOLVE	TIME, 7.12000 ACEL,,, 0.4366701 SOLVE
TIME, 6.57000 ACEL,,, 1.4854920 SOLVE	TIME, 6.71000 ACEL,,, 0.1828730 SOLVE	TIME, 6.85000 ACEL,,, 0.7534087 SOLVE	TIME, 6.99000 ACEL,,, 1.8462332 SOLVE	TIME, 7.13000 ACEL,,, 0.7151950 SOLVE
TIME, 6.58000 ACEL,,, 1.4883359 SOLVE	TIME, 6.72000 ACEL,,, 0.0760244 SOLVE	TIME, 6.86000 ACEL,,, 0.9062403 SOLVE	TIME, 7.00000 ACEL,,, 1.5803331 SOLVE	TIME, 7.14000 ACEL,,, 1.0411677 SOLVE
TIME, 6.59000 ACEL,,, 1.5180749 SOLVE	TIME, 6.73000 ACEL,,, 0.0054651 SOLVE	TIME, 6.87000 ACEL,,, 1.0435289 SOLVE	TIME, 7.01000 ACEL,,, 1.2323077 SOLVE	TIME, 7.15000 ACEL,,, 1.3940481 SOLVE
TIME, 6.60000 ACEL,,, 1.5775206 SOLVE	TIME, 6.74000 ACEL,,, 0.0468788 SOLVE	TIME, 6.88000 ACEL,,, 1.1506767 SOLVE	TIME, 7.02000 ACEL,,, 0.8366525 SOLVE	TIME, 7.16000 ACEL,,, 1.8515561 SOLVE
TIME, 6.61000 ACEL,,, 1.6853296 SOLVE	TIME, 6.75000 ACEL,,, 0.0949429 SOLVE	TIME, 6.89000 ACEL,,, 1.2342344 SOLVE	TIME, 7.03000 ACEL,,, 0.4577843 SOLVE	TIME, 7.17000 ACEL,,, 2.5201812 SOLVE
TIME, 6.62000 ACEL,,, 1.8385824 SOLVE	TIME, 6.76000 ACEL,,, 0.1732018 SOLVE	TIME, 6.90000 ACEL,,, 1.3038589 SOLVE	TIME, 7.04000 ACEL,,, 0.1534337 SOLVE	TIME, 7.18000 ACEL,,, 3.3920469 SOLVE
TIME, 6.63000 ACEL,,, 1.9870979 SOLVE	TIME, 6.77000 ACEL,,, 0.3022255 SOLVE	TIME, 6.91000 ACEL,,, 1.3802807 SOLVE	TIME, 7.05000 ACEL,,, 0.0712116 SOLVE	TIME, 7.19000 ACEL,,, 4.2629041 SOLVE
TIME, 6.64000 ACEL,,, 2.0620708 SOLVE	TIME, 6.78000 ACEL,,, 0.4703290 SOLVE	TIME, 6.92000 ACEL,,, 1.4910356 SOLVE	TIME, 7.06000 ACEL,,, 0.2305133 SOLVE	TIME, 7.20000 ACEL,,, 4.9635059 SOLVE
TIME, 6.65000 ACEL,,, 1.9766444 SOLVE	TIME, 6.79000 ACEL,,, 0.6306028 SOLVE	TIME, 6.93000 ACEL,,, 1.6456059 SOLVE	TIME, 7.07000 ACEL,,, 0.3223166 SOLVE	TIME, 7.21000 ACEL,,, 5.4816024 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 7.22000 ACEL,,, 5.8445410 SOLVE	TIME, 7.36000 ACEL,,, 0.1227648 SOLVE	TIME, 7.50000 ACEL,,, 1.5307965 SOLVE	TIME, 7.64000 ACEL,,, 0.2668818 SOLVE	TIME, 7.78000 ACEL,,, 0.9139471 SOLVE
TIME, 7.23000 ACEL,,, 6.0189598 SOLVE	TIME, 7.37000 ACEL,,, 0.1264455 SOLVE	TIME, 7.51000 ACEL,,, 1.5928262 SOLVE	TIME, 7.65000 ACEL,,, 0.5235307 SOLVE	TIME, 7.79000 ACEL,,, 1.0556198 SOLVE
TIME, 7.24000 ACEL,,, 5.9175617 SOLVE	TIME, 7.38000 ACEL,,, 0.3088628 SOLVE	TIME, 7.52000 ACEL,,, 1.5536823 SOLVE	TIME, 7.66000 ACEL,,, 0.6957808 SOLVE	TIME, 7.80000 ACEL,,, 1.2613757 SOLVE
TIME, 7.25000 ACEL,,, 5.4995282 SOLVE	TIME, 7.39000 ACEL,,, 0.3947532 SOLVE	TIME, 7.53000 ACEL,,, 1.4503879 SOLVE	TIME, 7.67000 ACEL,,, 0.7881894 SOLVE	TIME, 7.81000 ACEL,,, 1.5159991 SOLVE
TIME, 7.26000 ACEL,,, 4.8407808 SOLVE	TIME, 7.40000 ACEL,,, 0.3872121 SOLVE	TIME, 7.54000 ACEL,,, 1.3439710 SOLVE	TIME, 7.68000 ACEL,,, 0.8104804 SOLVE	TIME, 7.82000 ACEL,,, 1.8008825 SOLVE
TIME, 7.27000 ACEL,,, 4.0735397 SOLVE	TIME, 7.41000 ACEL,,, 0.3185765 SOLVE	TIME, 7.55000 ACEL,,, 1.2964101 SOLVE	TIME, 7.69000 ACEL,,, 0.8076787 SOLVE	TIME, 7.83000 ACEL,,, 2.0391576 SOLVE
TIME, 7.28000 ACEL,,, 3.3038687 SOLVE	TIME, 7.42000 ACEL,,, 0.2266707 SOLVE	TIME, 7.56000 ACEL,,, 1.3462234 SOLVE	TIME, 7.70000 ACEL,,, 0.8193477 SOLVE	TIME, 7.84000 ACEL,,, 2.1912067 SOLVE
TIME, 7.29000 ACEL,,, 2.5792599 SOLVE	TIME, 7.43000 ACEL,,, 0.1355207 SOLVE	TIME, 7.57000 ACEL,,, 1.4917439 SOLVE	TIME, 7.71000 ACEL,,, 0.8604325 SOLVE	TIME, 7.85000 ACEL,,, 2.3055050 SOLVE
TIME, 7.30000 ACEL,,, 1.9600351 SOLVE	TIME, 7.44000 ACEL,,, 0.0330174 SOLVE	TIME, 7.58000 ACEL,,, 1.6406901 SOLVE	TIME, 7.72000 ACEL,,, 0.9168245 SOLVE	TIME, 7.86000 ACEL,,, 2.4493824 SOLVE
TIME, 7.31000 ACEL,,, 1.4829875 SOLVE	TIME, 7.45000 ACEL,,, 0.1354300 SOLVE	TIME, 7.59000 ACEL,,, 1.6308801 SOLVE	TIME, 7.73000 ACEL,,, 0.9724682 SOLVE	TIME, 7.87000 ACEL,,, 2.6827721 SOLVE
TIME, 7.32000 ACEL,,, 1.1381994 SOLVE	TIME, 7.46000 ACEL,,, 0.3896080 SOLVE	TIME, 7.60000 ACEL,,, 1.4096313 SOLVE	TIME, 7.74000 ACEL,,, 1.0087466 SOLVE	TIME, 7.88000 ACEL,,, 2.9955041 SOLVE
TIME, 7.33000 ACEL,,, 0.8799453 SOLVE	TIME, 7.47000 ACEL,,, 0.7092301 SOLVE	TIME, 7.61000 ACEL,,, 1.0156234 SOLVE	TIME, 7.75000 ACEL,,, 0.9974994 SOLVE	TIME, 7.89000 ACEL,,, 3.3576147 SOLVE
TIME, 7.34000 ACEL,,, 0.6400519 SOLVE	TIME, 7.48000 ACEL,,, 1.0512268 SOLVE	TIME, 7.62000 ACEL,,, 0.5412594 SOLVE	TIME, 7.76000 ACEL,,, 0.9423335 SOLVE	TIME, 7.90000 ACEL,,, 3.8104983 SOLVE
TIME, 7.35000 ACEL,,, 0.3883929 SOLVE	TIME, 7.49000 ACEL,,, 1.3446057 SOLVE	TIME, 7.63000 ACEL,,, 0.0893818 SOLVE	TIME, 7.77000 ACEL,,, 0.8868767 SOLVE	TIME, 7.91000 ACEL,,, 4.3526117 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 7.91000 ACEL,,,- 4.3526117 SOLVE	TIME, 8.05000 ACEL,,,- 1.5762188 SOLVE	TIME, 8.19000 ACEL,,,- 0.4259542 SOLVE	TIME, 8.33000 ACEL,,, 0.3843679 SOLVE	TIME, 8.47000 ACEL,,, 1.0708959 SOLVE
TIME, 7.92000 ACEL,,,- 4.9249447 SOLVE	TIME, 8.06000 ACEL,,,- 1.7980111 SOLVE	TIME, 8.20000 ACEL,,,- 0.4506463 SOLVE	TIME, 8.34000 ACEL,,, 0.4496988 SOLVE	TIME, 8.48000 ACEL,,, 1.0627359 SOLVE
TIME, 7.93000 ACEL,,,- 5.3998429 SOLVE	TIME, 8.07000 ACEL,,,- 2.0269854 SOLVE	TIME, 8.21000 ACEL,,,- 0.4725839 SOLVE	TIME, 8.35000 ACEL,,, 0.5432445 SOLVE	TIME, 8.49000 ACEL,,, 1.0643487 SOLVE
TIME, 7.94000 ACEL,,,- 5.7330081 SOLVE	TIME, 8.08000 ACEL,,,- 2.1694079 SOLVE	TIME, 8.22000 ACEL,,,- 0.4397908 SOLVE	TIME, 8.36000 ACEL,,, 0.6383967 SOLVE	TIME, 8.50000 ACEL,,, 1.0553716 SOLVE
TIME, 7.95000 ACEL,,,- 5.9126979 SOLVE	TIME, 8.09000 ACEL,,,- 2.1691048 SOLVE	TIME, 8.23000 ACEL,,,- 0.3130377 SOLVE	TIME, 8.37000 ACEL,,, 0.7379263 SOLVE	TIME, 8.51000 ACEL,,, 1.0114061 SOLVE
TIME, 7.96000 ACEL,,,- 5.8881592 SOLVE	TIME, 8.10000 ACEL,,,- 2.0171557 SOLVE	TIME, 8.24000 ACEL,,,- 0.1103692 SOLVE	TIME, 8.38000 ACEL,,, 0.8457257 SOLVE	TIME, 8.52000 ACEL,,, 0.9401239 SOLVE
TIME, 7.97000 ACEL,,,- 5.5810709 SOLVE	TIME, 8.11000 ACEL,,,- 1.7574625 SOLVE	TIME, 8.25000 ACEL,,, 0.1223320 SOLVE	TIME, 8.39000 ACEL,,, 0.9420241 SOLVE	TIME, 8.53000 ACEL,,, 0.8617873 SOLVE
TIME, 7.98000 ACEL,,,- 5.0020670 SOLVE	TIME, 8.12000 ACEL,,,- 1.4524225 SOLVE	TIME, 8.26000 ACEL,,, 0.3282742 SOLVE	TIME, 8.40000 ACEL,,, 0.9920304 SOLVE	TIME, 8.54000 ACEL,,, 0.7967568 SOLVE
TIME, 7.99000 ACEL,,,- 4.2224967 SOLVE	TIME, 8.13000 ACEL,,,- 1.1370418 SOLVE	TIME, 8.27000 ACEL,,, 0.4659580 SOLVE	TIME, 8.41000 ACEL,,, 1.0051189 SOLVE	TIME, 8.55000 ACEL,,, 0.7393930 SOLVE
TIME, 8.00000 ACEL,,,- 3.3659582 SOLVE	TIME, 8.14000 ACEL,,,- 0.8357196 SOLVE	TIME, 8.28000 ACEL,,, 0.5218691 SOLVE	TIME, 8.42000 ACEL,,, 1.0178169 SOLVE	TIME, 8.56000 ACEL,,, 0.6578849 SOLVE
TIME, 8.01000 ACEL,,,- 2.5818762 SOLVE	TIME, 8.15000 ACEL,,,- 0.5992966 SOLVE	TIME, 8.29000 ACEL,,, 0.5088101 SOLVE	TIME, 8.43000 ACEL,,, 1.0516173 SOLVE	TIME, 8.57000 ACEL,,, 0.5425756 SOLVE
TIME, 8.02000 ACEL,,,- 1.9697479 SOLVE	TIME, 8.16000 ACEL,,,- 0.4643984 SOLVE	TIME, 8.30000 ACEL,,, 0.4556314 SOLVE	TIME, 8.44000 ACEL,,, 1.0831417 SOLVE	TIME, 8.58000 ACEL,,, 0.4264322 SOLVE
TIME, 8.03000 ACEL,,,- 1.5918648 SOLVE	TIME, 8.17000 ACEL,,,- 0.4231253 SOLVE	TIME, 8.31000 ACEL,,, 0.3998655 SOLVE	TIME, 8.45000 ACEL,,, 1.0937179 SOLVE	TIME, 8.59000 ACEL,,, 0.3411410 SOLVE
TIME, 8.04000 ACEL,,,- 1.4747049 SOLVE	TIME, 8.18000 ACEL,,,- 0.4253810 SOLVE	TIME, 8.32000 ACEL,,, 0.3695211 SOLVE	TIME, 8.46000 ACEL,,, 1.0874562 SOLVE	TIME, 8.60000 ACEL,,, 0.2751603 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 8.61000 ACEL,,, 0.1818741 SOLVE	TIME, 8.75000 ACEL,,, 0.0912241 SOLVE	TIME, 8.89000 ACEL,,, 0.5043926 SOLVE	TIME, 9.03000 ACEL,,, 0.5955590 SOLVE	TIME, 9.17000 ACEL,,, 0.0755933 SOLVE
TIME, 8.62000 ACEL,,, 0.0538943 SOLVE	TIME, 8.76000 ACEL,,, 0.1926666 SOLVE	TIME, 8.90000 ACEL,,, 0.2690151 SOLVE	TIME, 9.04000 ACEL,,, 0.5064050 SOLVE	TIME, 9.18000 ACEL,,, 0.1521083 SOLVE
TIME, 8.63000 ACEL,,, 0.0590351 SOLVE	TIME, 8.77000 ACEL,,, 0.3271090 SOLVE	TIME, 8.91000 ACEL,,, 0.0452991 SOLVE	TIME, 9.05000 ACEL,,, 0.3686688 SOLVE	TIME, 9.19000 ACEL,,, 0.2634141 SOLVE
TIME, 8.64000 ACEL,,, 0.1103791 SOLVE	TIME, 8.78000 ACEL,,, 0.4654456 SOLVE	TIME, 8.92000 ACEL,,, 0.1194459 SOLVE	TIME, 9.06000 ACEL,,, 0.2347041 SOLVE	TIME, 9.20000 ACEL,,, 0.3702400 SOLVE
TIME, 8.65000 ACEL,,, 0.1182340 SOLVE	TIME, 8.79000 ACEL,,, 0.5677195 SOLVE	TIME, 8.93000 ACEL,,, 0.1983544 SOLVE	TIME, 9.07000 ACEL,,, 0.1279461 SOLVE	TIME, 9.21000 ACEL,,, 0.4258932 SOLVE
TIME, 8.66000 ACEL,,, 0.1269893 SOLVE	TIME, 8.80000 ACEL,,, 0.6321332 SOLVE	TIME, 8.94000 ACEL,,, 0.2316673 SOLVE	TIME, 9.08000 ACEL,,, 0.0585310 SOLVE	TIME, 9.22000 ACEL,,, 0.3904696 SOLVE
TIME, 8.67000 ACEL,,, 0.1520743 SOLVE	TIME, 8.81000 ACEL,,, 0.6929215 SOLVE	TIME, 8.95000 ACEL,,, 0.2661274 SOLVE	TIME, 9.09000 ACEL,,, 0.0629407 SOLVE	TIME, 9.23000 ACEL,,, 0.2889954 SOLVE
TIME, 8.68000 ACEL,,, 0.1750191 SOLVE	TIME, 8.82000 ACEL,,, 0.7645746 SOLVE	TIME, 8.96000 ACEL,,, 0.2760668 SOLVE	TIME, 9.10000 ACEL,,, 0.1387360 SOLVE	TIME, 9.24000 ACEL,,, 0.1721108 SOLVE
TIME, 8.69000 ACEL,,, 0.1745589 SOLVE	TIME, 8.83000 ACEL,,, 0.8403736 SOLVE	TIME, 8.97000 ACEL,,, 0.2542718 SOLVE	TIME, 9.11000 ACEL,,, 0.2271086 SOLVE	TIME, 9.25000 ACEL,,, 0.0892261 SOLVE
TIME, 8.70000 ACEL,,, 0.1353152 SOLVE	TIME, 8.84000 ACEL,,, 0.8985918 SOLVE	TIME, 8.98000 ACEL,,, 0.2564516 SOLVE	TIME, 9.12000 ACEL,,, 0.2780104 SOLVE	TIME, 9.26000 ACEL,,, 0.0793264 SOLVE
TIME, 8.71000 ACEL,,, 0.0823322 SOLVE	TIME, 8.85000 ACEL,,, 0.9097416 SOLVE	TIME, 8.99000 ACEL,,, 0.3169770 SOLVE	TIME, 9.13000 ACEL,,, 0.2626796 SOLVE	TIME, 9.27000 ACEL,,, 0.1439426 SOLVE
TIME, 8.72000 ACEL,,, 0.0420169 SOLVE	TIME, 8.86000 ACEL,,, 0.8794438 SOLVE	TIME, 9.00000 ACEL,,, 0.4229728 SOLVE	TIME, 9.14000 ACEL,,, 0.1822178 SOLVE	TIME, 9.28000 ACEL,,, 0.2085214 SOLVE
TIME, 8.73000 ACEL,,, 0.0259060 SOLVE	TIME, 8.87000 ACEL,,, 0.8201412 SOLVE	TIME, 9.01000 ACEL,,, 0.5347207 SOLVE	TIME, 9.15000 ACEL,,, 0.0977831 SOLVE	TIME, 9.29000 ACEL,,, 0.2132920 SOLVE
TIME, 8.74000 ACEL,,, 0.0359016 SOLVE	TIME, 8.88000 ACEL,,, 0.6977385 SOLVE	TIME, 9.02000 ACEL,,, 0.6029937 SOLVE	TIME, 9.16000 ACEL,,, 0.0585461 SOLVE	TIME, 9.30000 ACEL,,, 0.1734139 SOLVE

Ek 3'ün devamı

TIME, 9.31000 ACEL,,, 0.1141648 SOLVE	TIME, 9.45000 ACEL,,, 0.4075095 SOLVE	TIME, 9.59000 ACEL,,, 0.5443502 SOLVE	TIME, 9.73000 ACEL,,, 0.9036149 SOLVE	TIME, 9.87000 ACEL,,, 0.6627466 SOLVE
TIME, 9.32000 ACEL,,, 0.0437278 SOLVE	TIME, 9.46000 ACEL,,, 0.5461688 SOLVE	TIME, 9.60000 ACEL,,, 0.6203759 SOLVE	TIME, 9.74000 ACEL,,, 1.0236117 SOLVE	TIME, 9.88000 ACEL,,, 0.5769136 SOLVE
TIME, 9.33000 ACEL,,, 0.0369251 SOLVE	TIME, 9.47000 ACEL,,, 0.6564550 SOLVE	TIME, 9.61000 ACEL,,, 0.7459658 SOLVE	TIME, 9.75000 ACEL,,, 1.0853647 SOLVE	TIME, 9.89000 ACEL,,, 0.5204897 SOLVE
TIME, 9.34000 ACEL,,, 0.1071723 SOLVE	TIME, 9.48000 ACEL,,, 0.6584234 SOLVE	TIME, 9.62000 ACEL,,, 0.9051962 SOLVE	TIME, 9.76000 ACEL,,, 1.0423645 SOLVE	TIME, 9.90000 ACEL,,, 0.4651643 SOLVE
TIME, 9.35000 ACEL,,, 0.1635607 SOLVE	TIME, 9.49000 ACEL,,, 0.5221692 SOLVE	TIME, 9.63000 ACEL,,, 1.0730325 SOLVE	TIME, 9.77000 ACEL,,, 0.9018814 SOLVE	TIME, 9.91000 ACEL,,, 0.4163040 SOLVE
TIME, 9.36000 ACEL,,, 0.2449952 SOLVE	TIME, 9.50000 ACEL,,, 0.2876786 SOLVE	TIME, 9.64000 ACEL,,, 1.2268445 SOLVE	TIME, 9.78000 ACEL,,, 0.7377578 SOLVE	TIME, 9.92000 ACEL,,, 0.3968325 SOLVE
TIME, 9.37000 ACEL,,, 0.3637630 SOLVE	TIME, 9.51000 ACEL,,, 0.0299974 SOLVE	TIME, 9.65000 ACEL,,, 1.3336450 SOLVE	TIME, 9.79000 ACEL,,, 0.6367166 SOLVE	TIME, 9.93000 ACEL,,, 0.4343044 SOLVE
TIME, 9.38000 ACEL,,, 0.4635293 SOLVE	TIME, 9.52000 ACEL,,, 0.1942994 SOLVE	TIME, 9.66000 ACEL,,, 1.3699518 SOLVE	TIME, 9.80000 ACEL,,, 0.6454722 SOLVE	TIME, 9.94000 ACEL,,, 0.5221752 SOLVE
TIME, 9.39000 ACEL,,, 0.4970258 SOLVE	TIME, 9.53000 ACEL,,, 0.3778567 SOLVE	TIME, 9.67000 ACEL,,, 1.3119511 SOLVE	TIME, 9.81000 ACEL,,, 0.7378601 SOLVE	TIME, 9.95000 ACEL,,, 0.6199151 SOLVE
TIME, 9.40000 ACEL,,, 0.4558960 SOLVE	TIME, 9.54000 ACEL,,, 0.4999800 SOLVE	TIME, 9.68000 ACEL,,, 1.1638770 SOLVE	TIME, 9.82000 ACEL,,, 0.8575050 SOLVE	TIME, 9.96000 ACEL,,, 0.6832743 SOLVE
TIME, 9.41000 ACEL,,, 0.3779033 SOLVE	TIME, 9.55000 ACEL,,, 0.5507454 SOLVE	TIME, 9.69000 ACEL,,, 0.9762746 SOLVE	TIME, 9.83000 ACEL,,, 0.9427803 SOLVE	TIME, 9.97000 ACEL,,, 0.6942512 SOLVE
TIME, 9.42000 ACEL,,, 0.3001485 SOLVE	TIME, 9.56000 ACEL,,, 0.5486821 SOLVE	TIME, 9.70000 ACEL,,, 0.8285331 SOLVE	TIME, 9.84000 ACEL,,, 0.9551729 SOLVE	TIME, 9.98000 ACEL,,, 0.6693741 SOLVE
TIME, 9.43000 ACEL,,, 0.2643610 SOLVE	TIME, 9.57000 ACEL,,, 0.5243403 SOLVE	TIME, 9.71000 ACEL,,, 0.7673667 SOLVE	TIME, 9.85000 ACEL,,, 0.8869841 SOLVE	TIME, 9.99000 ACEL,,, 0.6647498 SOLVE
TIME, 9.44000 ACEL,,, 0.3041800 SOLVE	TIME, 9.58000 ACEL,,, 0.5131792 SOLVE	TIME, 9.72000 ACEL,,, 0.8012698 SOLVE	TIME, 9.86000 ACEL,,, 0.7779757 SOLVE	TIME, 10.00000 ACEL,,, 0.7249464 SOLVE

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet KUVAT 1987 yılında Elazığ'da doğdu. İlköğrenimini 1994-2001 yılları arasında Elazığ Selçuklular İlk Öğretim Okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Elazığ Korgeneral Hulusi Sayın Lisesi'nde 2001-2004 yılları arasında tamamladı. 2005-2006 eğitim öğretim yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında lisans öğrenimini başarıyla tamamladıktan sonra aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. 2010 yılı Temmuz ayında Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı kapsamında Gümüşhane Üniversitesi'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2011-2012 öğretim yılında ara verdiği yüksek lisans eğitimine KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yeniden başlayarak 2013 yılında tamamladı. 2013 yılında Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı kapsamında 35. madde ile görevlendirildiği Karadeniz Teknik Üniversitesinde halen Araştırma Görevlisi olarak çalışan Ahmet KUVAT evli ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.