

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAPRAZ YAY GRUPLARINI KULLANAN SİSMİK İZOLASYON
SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan DOLUYURT

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAPRAZ YAY GRUPLARINI KULLANAN SİSMİK İZOLASYON
SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hasan DOLUYURT
(501131020)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ercan YÜKSEL

OCAK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **501131020** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hasan DOLUYURT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇAPRAZ YAY GRUPLARINI KULLANAN SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cem YALÇIN
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **24 Kasım 2016**
Savunma Tarihi : **05 Ocak 2017**





Aileme,



ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ercan YÜKSEL'e sonsuz şükran ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamda yardımlarını ve zamanını esirgemeyen Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarının değerli çalışanlarına, tezimin her aşamasında büyük yardımı ve desteği bulunan İnş. Yük. Müh. Gülnihan GÖKDAĞ'a ve bu günlere gelmemde maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Kasım 2016

Hasan DOLUYURT
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
2. YAY KUTULARI İÇİN ÖZEL KAYMA KİLİDİNİN GELİŞTİRİLMESİ . 15	
3. KAYMA KİLİDİ MALZEME DENEYLERİ.....	17
3.1 Deney Düzeneginin Hazırlanması	18
3.2 Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	19
3.2.1 Cam elyaf çubuk deneyi	19
3.2.1.1 Φ 3mm çapında cam elyaf çubuk deneyi.....	20
3.2.2 Karbon fiber çubuk deneyleri	21
3.2.2.1 Φ 3mm çapında karbon fiber çubuk deneyleri.....	22
3.2.2.2 Φ 5mm çapında karbon fiber çubuk deneyleri.....	23
3.2.3 HSS (yüksek hızlı) tipi çelik.....	24
3.2.3.1 Φ 1mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri.....	25
3.2.3.2 Φ 1.2mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri.....	26
3.2.3.3 Φ 1.3mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri.....	26
3.2.3.4 Φ 1.4mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri.....	27
3.2.3.5 Φ 1.5mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri.....	28
3.2.3.6 Φ 1.6mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri.....	28
3.2.3.7 Φ 2mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri.....	29
3.2.4 Malzeme deneylerinin özet çizelgesi.....	30
3.3 Deneyler Sonucu Kullanılacak Malzemenin Seçimi.....	33
4. KAYMA KİLİDİ TAKILI YAY KUTULARININ EKSENEL YÜKLEME DENEYLERİ.....	35
4.1. Deney Düzeneginin Hazırlanması	35
4.2 Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	37
4.2.1. Deney sonuçlarının analitik çözüm ile karşılaştırılması.....	42
5. KAYMA KİLİDİ TAKILI ÇAPRAZ YAY KUTULARININ SİSMİK İZALATÖR KATINA EKLENMESİ	43
5.1. Kayma Kilidi Olarak Kullanılan HSS Tipi Çelik Çaplarının Belirlenmesi	44
5.1.1. Rüzgar yüklerini göz önünde bulundurarak HSS tipi çeliklerin seçimi ...	44
5.1.2 Küçük genlikli yer hareketlerinden kaynaklanan yükler	46

5.1.2.1. Servis deprem yükleri.....	46
5.1.2.2. İnsanların algılama seviyelerine göre titreşim genlikleri	50
5.2 İzolatör Katı Üzerinde İlave Kat Yokken Gerçekleştirilen Yarı-Statik Deneyler.....	52
5.2.1 Deney düzeneğinin hazırlanması	54
5.2.2 Deney sonuçları ve deney gözlemleri	54
5.2.3 Deney sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması	58
5.3 İzolatör Katı Üzerinde İki Katın Yükünün Bulunduğu Durumdaki Statik Deneyler.....	59
5.3.1 Deney düzeneğinin hazırlanması	60
5.3.2 Deney sonuçları ve deney gözlemleri	61
5.3.3 Deney sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	71



KISALTMALAR

HSS	: Yüksek hızlı çelik
SLS	: Servis limit durum
ULS	: Uç limit durum
PGA	: Maksimum yer ivmesi





SEMBOLLER

E	: Elastisite modülü
h	: Yükseklik
l	: Boyut
a	: İvme
v	: Hız
q	: Emme
P	: Kuvvet
Δ	: Yerdeğiştirme
ϕ	: Çap
k	: Yayın rijitliği
K	: Yay kutusu rijitliği
k_{HSS}	: HSS tipi çelik türünün rijitliği
K₁	: Yay kutusunun 1.HSS tipi çelik türünün kırılana kadar ki rijitliği
K₂	: Yay kutusunun 2.HSS tipi çelik türünün kırılana kadar ki rijitliği
K₃	: Yay kutusunun aksenal rijitliği
K_x¹	: Kayma kilitleri takılı yay kutusu rijitliği
K_{x(1-5)}¹	: Yay kutularında kayma kilitleri takılı izolasyon katının rijitlik değerleri
K_{x(1-5)}ⁿ	: 2. mertebe etkileri göz önünde bulundurulduğunda yay kutularında kayma kilitleri takılı izolasyon katının rijitlik değerleri



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Pasif ve aktif kontrol sistemleri.....	4
Çizelge 1.2: Çarpım faktörleri.....	6
Çizelge 1.3: Eşdeğer sönüm oranının bulunması için gerçekleştirilen deneylerde kullanılan farklı durumlar.....	12
Çizelge 3.1: Deneylerde kullanılan malzemelerin türü ve çapları.....	17
Çizelge 3.2: Cam elyaf tiplerinin bileşimi ve özellikleri.....	20
Çizelge 3.3: Karbon fiber malzemesinin özellikleri.....	21
Çizelge 3.4: 3mm çapında karbon fiber çubuk deney sonuçları.....	22
Çizelge 3.5: HSS tipi çeliğinin içerisinde bulunan alaşım elementlerinin çeliğe etkileri.....	24
Çizelge 3.6: HSS tipi çeliklerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	25
Çizelge 3.7: 1.0mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	25
Çizelge 3.8: 1.2mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	26
Çizelge 3.9: 1.3mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	26
Çizelge 3.10 : 1.4mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	27
Çizelge 3.11: 1.5mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	28
Çizelge 3.12: 1.6mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	29
Çizelge 3.13: 2mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	30
Çizelge 3.14: Cam elyaf çubuk ve karbon fiber çubuk deneyleri özet çizelge.....	31
Çizelge 3.15: HSS tipi çelik çubuk deneyleri özet çizelgesi.....	32
Çizelge 4.1: İyileştirilmiş yay kutusu HSS kırım yükleri özet çizelgesi.....	41
Çizelge 4.2: İyileştirilmiş yay kutusu eksenel rijitlikleri özet çizelgesi.....	41
Çizelge 4.3: Analitik sonuçlar ile deney sonuçlarının ortalamalarının karşılaştırılması.....	42
Çizelge 5.1: Analiz sonucu yay kutularında oluşan kuvvet değerleri.....	49
Çizelge 5.2: İnsanların yapı içerisinde oluşan hareketleri algı seviyeleri.....	50
Çizelge 5.3: SAP2000 analiz sonucu.....	52
Çizelge 5.4: Sismik izolasyon katının rijitlik değerlerinin özet çizelgesi.....	57
Çizelge 5.5: Sismik izolasyon katında kullanılan kayma kilitlerinin (HSS tipi çeliklerin) kırılma yükleri özet çizelgesi.....	57
Çizelge 5.6: Analitik sonuçlar ile deney sonuçlarının ortalamalarının karşılaştırılması.....	59
Çizelge 5.7: Yay kutularında kayma kilidi bulunan 2 kat yüklü sismik izolatör katının deneyler sonucu elde edilen rijitlik değerlerinin özet çizelgesi.....	63
Çizelge 5.8: 2 kat yüklü Sismik izolatör katında bulunan yay kutularında kayma kilidi olarak kullanılan HSS tipi çeliklerinin deneyler sonucu elde edilen kırım yüklerinin özet çizelgesi.....	64
Çizelge 5.9: Başlangıç yanal rijitliğinde tek yay kutusunun etkin olduğu 2 kat yüklü sismik izolatör katının deney sonucu elde edilen rijitlik değerleri.....	65
Çizelge 5.10: Başlangıç yanal rijitliğinde tek yay kutusunun etkin olduğu 2 kat yüklü sismik izolatör katına eklenen kayma kilitlerinin kırım yükleri.....	65

Çizelge 5.11: Analitik sonuçlar ile deney sonuçlarının ortalamalarının karşılaştırılması. 66



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Sarmal basınç yayının boyutları.....	7
Şekil 1.2: Yay kutusu boyuna kesiti.....	7
Şekil 1.3: Eksenel yükleme deneyi.....	7
Şekil 1.4: Tek yay modeli.....	8
Şekil 1.5: Yay kutusu içerisinde basınca çalışan seri bağlı yay grubu.....	8
Şekil 1.6: Çapraz yay kutuları kullanılarak oluşturulan sismik izolasyon katının bulunduğu deney numunesi.....	9
Şekil 1.7: Sismik izolasyon sisteminin ekli olduğu ve ekli olmadığı deney numunelerinin sarsma masası üzerinde deneyleri.....	10
Şekil 1.8: Uygulanan farklı deprem kayıtları altında, sarsma masası üzerindeki ivme kayıtları ile deney numunesinin en üst katında oluşan ivme kayıtları.....	11
Şekil 1.9: Deney düzeneği (deney no:1).....	13
Şekil 2.1: Kayma kilidi olarak bakalit malzemesi kullanıldığında yay kutusunun boyuna kesiti.....	15
Şekil 2.2: Yay kutularında kayma kilitleri için açılacak deliğin bölgesi.....	16
Şekil 3.1: Özel bir kayma kutusu şeklinde hazırlanan deney düzeneği.....	18
Şekil 3.2: Özel kayma kutusu deney düzeneği boyutları.....	18
Şekil 3.3: Instron (basma-eğilme makinası) ve özel kayma kutusu deney düzeneği.....	19
Şekil 3.4: Cam elyaf çubuk deney düzeneği.....	20
Şekil 3.5: 3mm çaplı cam elyaf çubuk yük-yerdeğiştirme ilişkisi.....	21
Şekil 3.6: Cam elyaf çubuğun kırılmadan sonraki saçaklanma durumu.....	21
Şekil 3.7: Çeşitli çaplarda üretilmiş olan karbon fiber çubuklar.....	22
Şekil 3.8: Karbon fiber çubuk deney düzeneği.....	22
Şekil 3.9: 3mm çapında karbon çubuk deney sonuçları.....	23
Şekil 3.10: 5mm çapında karbon fiber çubuk deney sonucu.....	23
Şekil 3.11: HSS tipi çelik.....	24
Şekil 3.12: HSS tipi çeliklerin kırımının yapıldığı deney düzeneği.....	25
Şekil 3.13: 1.0mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	26
Şekil 3.14: 1.2mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	26
Şekil 3.15: 1.3mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	27
Şekil 3.16: 1.4mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	27
Şekil 3.17: 1.5mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	28
Şekil 3.18: 1.6mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	29
Şekil 3.19: 2mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.....	30
Şekil 3.20: HSS tipi çelik çubuk deneyleri (Kayma yükü-Çap).....	33
Şekil 3.21: HSS tipi çelik çubuk deneyleri (Rijitlik-Çap).....	33
Şekil 4.1: Kayma kilidi takılı yay kutusunun kesiti ve boyutları.....	35
Şekil 4.2: Tel erozyon makinesi ile 1.6mm çapında delme işlemi.....	36
Şekil 4.3: 1.5mm HSS tipi çelik eklenmiş yay kutusu başlığı.....	36
Şekil 4.4: Deney düzeneği.....	37

Şekil 4.5:Deney_1 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	37
Şekil 4.6:Deney_2 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	38
Şekil 4.7:Deney_3 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	38
Şekil 4.8:Deney_4 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	38
Şekil 4.9:Deney_5 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	39
Şekil 4.10:Deney_6 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	39
Şekil 4.11:Deney_7 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	39
Şekil 4.12: Deney_8 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	40
Şekil 4.13: Deney_9 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	40
Şekil 4.14: Deney_10 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneyi sonucu	40
Şekil 4.15: Düşey MTS altında yapılan deneylerin grafiksel gösterimi	42
Şekil 5.1: İzolatör katı planı	43
Şekil 5.2: A aksı izolatör katı kesiti	43
Şekil 5.3: TS-498'e göre planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımı	44
Şekil 5.4.a: Deney numunesinin gerçek boyutlarına etkiyecek olan taşıyıcı sistem doğrultusundaki rüzgar yükleri dağılımları	45
Şekil 5.4.b: ¼ oranında hazırlanmış deney numunesine etkiyecek olan taşıyıcı sistem doğrultusundaki rüzgar yükleri dağılımları	45
Şekil 5.5: Deney numunesi modeli ve etkilmiş olan rüzgar yükleri	46
Şekil 5.6: Servis ve en büyük limit durumları tasarım spektrumu	47
Şekil 5.7: Olasılık ve yıllık risk durumlarına karşı gelen etkin maksimum ivme değerleri (NEHRP 1988)	47
Şekil 5.8: TCU076 Deprem ivme kaydı ve ölçeklendirilmiş servis depremi kaydı	48
Şekil 5.9: Deney numunesinin SAP2000 modeli	49
Şekil 5.10: 0.25m/s ² lik en büyük ivme değerine göre TCU076 Deprem kaydının ölçeklendirilmesi	51
Şekil 5.11: İzolatör katının yatay hidrolik veren (MTS)'e bağlı görüntüsü	53
Şekil 5.12: İzolatör katı planı	53
Şekil 5.13: İzolatör katı kesitleri	53
Şekil 5.14: Deney_1 kayma kilidi takılı yay kutularının sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu	55
Şekil 5.15: Deney_2 kayma kilidi takılı yay kutularının sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu	55
Şekil 5.16: Deney_3 kayma kilidi takılı yay kutularının sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu	56
Şekil 5.17: Deney_4 kayma kilidi takılı yay kutularının sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu	56
Şekil 5.18: Yay kutularında kayma kilidi bulunan sismik izolasyon katının deneysel sonuçlarının grafik gösterimi	58

Şekil 5.19: Yatayda 1 birim kuvvet etkitilen izolator katı.....	58
Şekil 5.20: İki kat yüklü izolator katının MTS hidrolik veren'e bağlı itme-çekme deneyi.....	60
Şekil 5.21: İzolator katı plan görünümü.....	61
Şekil 5.22: İzolator katı kesit görünümü.....	61
Şekil 5.23: Deney_1 kayma kilidi takılı yay kutularının 2 kat yüklü sismik izolator katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.....	62
Şekil 5.24: Deney_2 kayma kilidi takılı yay kutularının 2 kat yüklü sismik izolator katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.....	62
Şekil 5.25: Deney_3 kayma kilidi takılı yay kutularının 2 kat yüklü sismik izolator katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.....	62
Şekil 5.26: Deney_4 kayma kilidi takılı yay kutularının 2 kat yüklü sismik izolator katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.....	63
Şekil 5.27: Yay kutularında kayma kilidi bulunan 2 kat yüklü sismik izolator katının deneysel sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	64
Şekil 5.28: Başlangıç yanal rijitliğinde tek yay kutusunun etkin olduğu 2 kat yüklü sismik izolator katının deney sonucunun grafiksel gösterimi.....	65



ÇAPRAZ YAY GRUPLARINI KULLANAN SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Çapraz yay gruplarını kullanan sismik izolasyon sisteminin iyileştirilmesi için, yay kutuları üzerinde bir kilit mekanizması oluşturularak görece yüksek bir rijitlik sağlanmıştır. Çalışma kapsamında kuramsal ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların deneysel bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde, yay kutularında oluşturulacak kilit sistemi olarak çeşitli alternatifler irdelenmiştir. Hem etkinlik hem de maliyet bakımından diğerlerinden üstün olan çözümde; yay kutularında uygun çapta delik açarak, yay mekanizmasının çalışmasını engelleyici ve görece olarak yüksek başlangıç rijitliği sağlayabilen bir malzemenin buradan geçirilmesi amaçlanmıştır.

İkinci bölümde, yay kutusu üzerinde açılacak delikten geçirilecek farklı malzemeler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu malzeme kesme etkisine maruz kalacağından dolayı, bu etkinin oluşturulacağı basit bir deney düzeneği geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; karbon, krom, vanadyum, tungsten ve molibden alaşımı bir çelik türü olan HSS tipi çelik çubukların kullanımına karar verilmiştir. HSS tipi çelik çubukların farklı çaptaki örnekleri üzerinde deneyler gerçekleştirilerek, belirli çaplara ait kırılma yükü ve rijitlik değerleri elde edilmiştir. Böylece, seçilen düşük genlikli yer hareketlerine karşı gelen rijitlik ve kırılma yükü değerleri için uygun çapta malzeme seçimi yapılabilmektedir.

Üçüncü bölümde, kullanımı uygun bulunan HSS tipi çelik çubuklar yay kutularına kayma kilidi olarak eklenmiş ve düşey hidrolik veren (MTS) altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kayma kilidi takılmış yay kutusunun kuvvet yerdeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Böylece, HSS tipi çelikten yapılmış kayma kilidinin kırılarak devre dışı kalması için gerekli yük ve kırılma öncesindeki yay kutusu rijitlik değerleri elde edilmiştir.

Dördüncü bölümde, kayma kilidi takılı yay kutuları ¼ ölçekli sismik izolasyon katına eklenerek yatay hidrolik veren (MTS) ile statik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, kayma kilidi takılmış yay kutularının izolasyon katına eklendiğinde ortaya çıkan davranış elde edilmiştir. İzolasyon katı rijitlik değerleri ve HSS tipi çelik çubukların kırılma yükleri elde edilerek, sayısal çalışmalar ile belirlenen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde; kayma kilidi bulunan yay kutuları ile oluşturulan sismik izolasyon katına, Karayel ve diğ. (2016) çalışmasındaki iki kat yükü yüklenerek yarı-statik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, izolasyon katı üzerinde yük varken, kayma kilitlerinin davranışları ve sayısal hesaplar ile bulunan sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırılması sağlanmıştır.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda, yay kutuları için geliştirilmiş kayma kilitlerinin etkin bir şekilde çalıştığı kanıtlanmıştır.



IMPROVMENT of a LOCKING MECHANISM for the SEISMIC ISOLATION SYSTEM MADE OF SPRING TUBE BRACES

SUMMARY

In the scope of the this M.Sc. thesis, a locking mechanism that is on the new seismic isolation system made of spring tube braces has been invented and studied in order to get a relatively high initial stiffness on the system to satisfy the comfort requirements for low intensity earthquake and wind effects. Experimental and theoretical investigations was carried out during the term of the study at the Structural and Earthquake Laboratory of Istanbul Technical University, (ITU).

In the first phase, various alternatives was evaluated as locking system on the spring tube braces. When effective and low cost system is considered proper hole is opened to get through suitable material to supply high initial stiffness on the spring tubes.

In the second phase, material experiments are performed to find suitable material for locking system. At the beginning of the study, a experimental setup which has double shear effects is prepared to make material experiments. The experiments conducted show that HSS (High Speed Steel) type steel sticks which conclude carbon, chrome, vanadium, tungsten and molibden is suitable to use as the locking material. Experiments are also realized to have stiffness and ultimate load values at different diameters of the HSS type steel sticks. Therefore, according to low intensity ground motions, suitable diameter of material can be select for locking system.

In the third phase, high speed steel sticks which are suitable for use in respect to diameter are implemented (attached) to spring tube and experiments are realized under the vertical MTS. After having concluded experiments, the results show force-displacement values of spring tube. Owing to these values we deduced ultimate force and stiffness values of the spring tube that has locking mechanism.

In the fourth phase, spring tube braces which has the locking mechanism are attached to $\frac{1}{4}$ scaled isolation story. Then, the isolation story which consists of hinge-ended steel columns subjected to varying horizontal load levels is assessed in the quasi-static tests. The quasi-static tests carried out on the modified spring tubes prove that there is a relatively high stiffness between the analytical and experimental studies.

Next, representative 2 story loads which are used in Karayel et. Al, 2016 research paper take on load to isolation story and quasi-static experiments are carried out to understand behaviour of the new system. Thus, analytical and experimental results are compared to prove locking system's efficiency.

Finally, studies has been carried out regarding effect on people of low intensity ground motion and some acceleration values which has some effect on people are derived.



1. GİRİŞ

Yerkabuğu içinde fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken enerjiden dolayı ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak yer yüzeyini sarsma olayı deprem olarak adlandırılmaktadır. Deprem hadisesi, yer kabuğu üzerinde bulunan yapıların hasar görmesine ve bu yapılar içinde bulunan canlıların can ve mal kaybına uğramasına neden olabilecek bir doğa olayıdır. Dünyanın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde depremlerin ardışık olarak oluştuğu ve sonucunda da milyonlarca insanın ve binaların yok olduğu bilinmektedir.

Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı bilinmektedir. Geçmiş dönemlerde yurdumuzda birçok yıkıcı depremler ile karşılaştığımız gibi, gelecekte de depremlerin etkilerinden dolayı çok sayıda can ve mal kaybına uğrayacağımız açıkça görülmektedir.

Ülkemizde yaşanan en büyük depremlerden biri 17 Ağustos 1999 tarihinde gerçekleşen İzmit Gölçük depremidir. 7.6 büyüklüğündeki bu depremin sonucunda resmi verilere göre 17118 kişi hayatını kaybetmiş, yaklaşık 50000 kişi yaralanmış ve yaklaşık 500000 insan evsiz kalmıştır. Ayrıca bu depremin verdiği ekonomik zararın 9 ila 20 milyar Türk lirası olduğu tahmin edilmektedir. 23 Ekim 2011 tarihinde ülkemizde; Van Şehir merkezinin yaklaşık 20 km kuzeyinde Ercek gölünün batısında Kasımoğlu koyu civarlarında kuvvetli bir deprem daha meydana gelmiştir. AFAD Deprem Dairesi tarafından işletilen Ulusal Sismoloji Gözlem Ağı'nın verilerine göre depremin büyüklüğü 7.0 olarak belirlenmiştir. Erciş-Tabanlı-Van bölgesinde resmi olarak en az 534 kişi ölmüş, 2300 kişi yaralanmış ve 14618 bina hasara uğramış veya çökmüştür.

Bu denli fazla can kayıplarına ve ekonomik zararlara neden olan depremler için uzun yıllardır dünya çapında çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar gerek depremlerin önceden tahmin edilmesi anlamında, gerek deprem olduğunda yapıların depreme karşı nasıl daha dayanıklı hale getirilmesi gerektiği alanlarında yapılmıştır. Şu ana kadar yapılan çalışmalardan kesin olarak depremin oluş zamanı hakkında bir

bilgi edinilmese de, yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesi açısından yapılan kuramsal ve deneysel çalışmaların birçoğundan olumlu sonuçlar alınmıştır.

Yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesi açısından yapılan geleneksel tasarım yönteminin temelini; artan deprem yükü talep ihtiyaçlarını, taşıyıcı özellikte olan yapısal elemanların kesit kapasitelerini önceden belirlenen bir süneklik düzeyine göre arttırmayı zorunlu kılan *kapasite tasarımı ilkesi* oluşturmaktadır. Bu yöntem tasarım aşamasında iki önemli sorunu ortaya çıkarmaktadır. Birincisi; bazı yapılarda artan deprem yükleriyle orantılı olarak elemanların kapasitelerini artırma zorunluluğunun hem çok pahalı hem de yapı kat ivmelerini daha da arttırıcı olması, ikincisi ise elastik dayanımın sınırlanarak sünek eleman detaylandırılmasına dayanan bu yöntemde yapı hasarının oluşumuna daha baştan izin verilmesidir. Bu durum özellikle depremden sonra hemen kullanımı gereken binaların tasarımında ekonomiklikten uzaklaşılmasına sebep olmaktadır. Son yıllarda artan deprem yükleriyle orantılı olarak kapasitenin arttırılmasını değil deprem talebinin azaltılmasını öngören sismik izolasyon sistemleri üzerinde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Deprem talebinin azaltılması depremin zeminden yapıya iletimini engelleme yoluyla amaçlanmıştır. Bu ise genellikle üst yapı ile zemin arasında oluşturulan ve yapının doğal titreşim periyodunun uzatılmasını sağlayan esnek bir sistemin varlığıyla mümkündür.

Dünya çapında sismik izolasyon sistemlerinin geliştirilmesi ve yapı içinde kullanımlarına yönelik çalışmalarda son yıllarda ciddi bir artış vardır. Fakat bu artış sismik izolatör sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı gelişmekte olan ülkelerde yeterli düzeyde değildir. Özellikle, gelişmekte olan ülkelerde depreme dayanıklı yapıların tasarlanması ve uygulanması konusunda ciddi sorunlar bulunmaktadır. Bu ülkelerde, az katlı yapıların yoğunluğu ve maddi olarak yeni sismik izolasyon sistemlerinin kullanılmasının zorluğu nedeniyle İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilen bir çalışmada (Karayel ve diğ. (2015a, 2015b ve 2016)) çelik çapraz yay grupları kullanan ve az katlı yapılar için kullanılması öngörülen düşük maliyetli sismik izolatör sistemi geliştirilmiştir. Az katlı yapıların doğal titreşim periyotları küçük olduğundan dolayı bu izolatör sistemi kullanılarak yapıların titreşim periyotlarının uzatılmasıyla yapıya etkiyecek olan deprem yüklerinin azaltılması sağlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, Karayel ve diğ. (2015a, 2015b ve 2016) tarafından geliştirilen düşük maliyetli sismik izolasyon sisteminin iyileştirilmesi amacıyla kayma kilitleri üretilmiş ve deneyleri yapılmıştır.

Geliştirilen kayma kilitleri, sismik izolasyon uygulanmış binada yaşayan insanların rüzgar ve küçük genlikli yer hareketlerinden etkilenmelerini engellemektedir. Etkin ve düşük maliyetli bir izolatör sistemi amaçlandığından, geliştirilen kayma kilitlerinin sismik yalıtım sistemine etkisi deneysel ve sayısal olarak belirlenmiştir.

Kuramsal çalışmalarda, öncelikle rüzgar yükleri ve düşük genlikli yer hareketleri tanımlanarak yapıya etkisi durumunda oluşacak yükler ve yapının davranışı belirlenmiştir. Ardından, yay grupları ile oluşturulan sismik yalıtımın hangi kuvvete kadar çalışmasının engellenmesi ve hangi kuvvetten sonra devreye girerek çalışmasına izin verilmesine dair araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Yay gruplarının çalışmasını engelleyici alternatif sistemler geliştirilmiş ve maliyetin önemli olduğu dikkate alınarak mekanik bir sisteme karar verilmiştir. İçerisinde karbon, krom, vanadyum, tungsten ve molibden elementlerinin bulunduğu özel bir çelik türünden (HSS tipi çelikler) yapılan pimlerin kesme dayanımlarına ulaşmak için malzeme deneyleri, ardından yay kutularına eklenerek eleman deneyleri ve son olarak da sisteme eklenerek farklı yükleme durumları altında statik ve dinamik deneyler yapılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Dünya çapında sismik izolasyon sistemleri üzerine yapılmış birçok tasarım ve uygulama çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelenirken öncelikle aktif, pasif, yarı aktif ve karma sistemleri içeren bir inceleme yapılmıştır. Ardından pasif enerji tüketim sistemlerinin içinde bulunan yeni geliştirilmiş çapraz yay grupları hakkında yapılan çalışmalar ile ilgili daha detaylı bir anlatıma yer verilmiştir.

Housner ve diğ. (1997) çalışmasına göre, sismik izolatörler aktif, yarı aktif, pasif ve karma sistemler olmak üzere dört ana başlık altında toplanmaktadır. Aktif kontrol sistemlerinde kontrol kuvvetlerini üretebilmek için harici bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Zemine ve yapıya yerleştirilen sensörler aracılığıyla elde edilen bilgiler kontrol bilgisayarına iletilerek daha önceden belirlenmiş bir algoritmaya göre kontrol

kuvvetleri hesaplanmaktadır. Bu kuvvetler, kuvvet üreten mekanizmalar aracılığıyla yapıya uygulanmaktadır. Yarı aktif kontrol sistemleri sönüm ve rijitlikleri deprem esnasında kontrol edilebilen sistemlerdir. Aktif kontrolde büyük enerji ihtiyacı olmakla birlikte, yarı aktif sistemlerde gereken enerji çok küçük bataryalarla bile sağlanabilmektedir. Yarı aktif sistemlerin büyük bir kısmı elektrik veya manyetik alana hassas özel sıvılar içermektedir. Önceden belirli kontrol algoritmalarına bağlı olarak elektrik veya manyetik alan şiddeti değiştirilerek yarı aktif sistemlerin mekanik özellikleri kontrol edilebilmektedir. Pasif kontrol sistemleri harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan sismik enerjiyi kendi içlerinde sönümlerler. Değişken dinamik etkilere adaptasyon kabiliyeti olmayan bu sistemler çalışma prensipleri ve malzeme özellikleri itibari ile farklılıklar gösterirler. Sönümleyicileri yapıya farklı şekillerde yerleştirmek mümkündür. Karma sistemler; aktif, yarı aktif ve pasif kontrol sistemlerinin bir arada kullanılması durumudur. Bu sistemler yüksek enerji ihtiyacı olmadan çalışabilmektedir.

Soong ve Dargush (1997), aktif ve pasif sönümleyici sistemleri kullanılan izolatör tipleri, şekilleri, kullanıldıkları yer, büyüklükleri ve yapıldıkları malzeme bakımından farklılıklarına göre Çizelge 1.1'deki gibi kategorize etmiştir.

Çizelge 1.1: Pasif ve aktif kontrol sistemleri.

Pasif Kontrol		Aktif Kontrol
Sismik İzolatör	Pasif Enerji Yutucular	Bağ Sistemleri
Elastomerik Mesnetler	Metal Sönümleyiciler	Kütle Sistemleri
Kurşun-Kauçuk Mesnetler	Sürtünme Sönümleyicileri	Değişken Rijitlik Ve Kütle Sistemleri
Elastomerik Mesnetler ve Enerji Yutucu Cihazlar	Viskoelastik Sönümleyiciler	Şok Sistemler
Sürtünme Sarkacı Mesnetleri	Viskoz Sönümleyiciler	Aerodinamik Sistemler
Yassı Kayıcı Mesnetleri Ve Yük Veren Cihazlar	Ayarlanmış Kütle Sarkacı Sönümleyiciler	
Yağlanmış Kayan Mesnetler Ve Enerji Sistemler	Ayarlanmış Sıvı Sönümleyiciler	

Aktif ve pasif kontrol sistemlerinin çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Aktif kontrol sistemleri göz önüne alındığında, yapıların deprem etkilerine karşı korunmasında olumlu sonuçlar elde edilmesi gelecek için oldukça umut verici olsa da bu sistemlerin yapı kontrolünde pratik olarak kullanılabilmesi için halledilmesi gereken bazı sorunları bulunmaktadır.

Özpalanlar (2004) bunlardan birkaçını aşağıdaki gibi sıralamıştır.

- Yapıların maruz kaldıkları kuvvetlere karşı koyabilecek büyüklükte gücün yaratılması sorunu,
- Aktif kontrol sistemini çalıştıracak olan enerjinin sürekli hazır bulundurulması gerekliliği,
- Sistemin hem kurulum, hem de işletim ve bakım maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Sıralanan bu problemler haricinde uygulama aşamasında karşılaşılabilecek başka problemler de bulunmaktadır. Bunların en önemlileri; modelleme hataları, zaman gecikmesi, yapının doğrusal davranmaması, yapı parametrelerindeki belirsizlikler, sensör ve kontrol eleman sayısının sınırlı olmasıdır.

Pasif kontrol sistemleri aktif kontrol sistemlerine göre daha düşük maliyette olsa da, onlar kadar etkin değildir. Bu sistemler sabit özelliklere sahip olduklarından dolayı ilave bir enerji kaynağına ihtiyaç duymazlar. Yapıya bir kez kurulduktan sonra modifikasyon yapılamayacağından, etkili olabilmeleri için güvenilir bir tasarım yükü tahminini gerektirirler.

Dicleli (2013) pasif sönümleyici sistemlerden metal sönümleyiciler, sürtümlü sönümleyiciler, viskoz sönümleyiciler ve viskoelastik sönümleyicilerin dezavantajları hakkında bilgi vermiştir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

Metal sönümleyicilerin dezavantajları;

- . Deprem sırasında sönümleyicinin enerji tüketme mekanizmasının hasar görme olasılığı,
- . Sönümleyicilerin doğrusal olmayan davranışları dolayısıyla, doğrusal olmayan hesap gerektirmesi,

Sürtümlü sönümleyicilerin dezavantajları;

- . Kayma yüzeyi özelliklerinin zaman içinde değişim gösterebilmesi,
- . Sönümleyicideki ani kaymanın yüksek frekanslı titreşim modlarının devreye girmesine neden olabilmesi,
- . Merkeze geri dönme özelliği olmadığı için, deprem sonrasında binada kalıcı yerdeğiştirme kalması

Viskoz sönümleyicilerin dezavantajları;

- . Periyodik bakım gerektirmesi,
- . Sönümleyicinin sıvı sızdırabilmesi ihtimali,
- . Yüksek maliyetli olmasıdır.

Viskoelastik sönümleyicilerin dezavantajları;

- . Yerdeğiştirme kapasitesinin sınırlı olması,
- . Özelliklerinin çevresel ısı ve salınım frekansından etkilenmesi,
- . Viskoelastik malzemenin yerinden sıyrılma veya yırtılma olasılığıdır.

Bu dezavantajlar çoğu pasif kontrol sistemleri için geçerli olduğundan dolayı önceki çalışmalardan elde edilen dezavantajlar da göz önünde bulundurularak, özellikle deprem riski yüksek bölgelerde inşa edilen az katlı betonarme ve çelik yapılar için düşük maliyetli ve etkin bir sismik izolasyon sistemi olarak çapraz yay grupları esasına sahip bir sistem geliştirilmiştir (Karayel ve diğ, 2015a, 2015b, 2016). Bir yumuşak kat mekanizması oluşturularak, yapının etkin periyodunun büyütülmesi ve bu sayede yapıya aktarılacak deprem kuvvetlerinin azaltılması amaçlanmıştır.

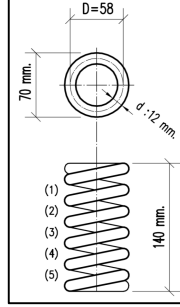
Karayel ve diğ. (2015a), geliştirdikleri sismik yalıtım katının davranışını incelemek üzere sarsma masası üzerinde $\frac{1}{4}$ ölçekli numuneler ile çalışmışlardır. Oluşturulan model ile prototip yapı arasında farklı fiziksel büyüklüklerin geçiş çarpanları Çizelge 1.2’de verilmiştir. Sismik yalıtım katında düşey yükleri iki ucu mafsallı çelik kolonlar karşılarken, yatay kararlılığı çapraz yay grupları sağlamaktadır.

Çizelge 1.2: Çarpım faktörleri.

	Sembol	Çarpım Faktörü
Boyut	l	4.0
Elastisite Modülü	E	1.0
İvme	a	1.0
Kuvvet	F	16.0
Gerilme	σ	1.0
Alan	A	16.0
Hacim	V	64.0
Atalet Momenti	I	256.0
Kütle	m	16.0
Zaman	t	2.0
Frekans	ω	0.5
Yer İvmesi	g	1.0
Sönüm	ζ	1.0

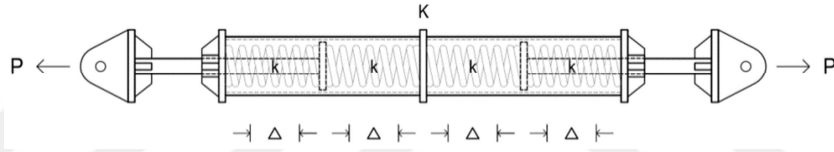
Bu çalışmanın adımları aşağıda sıralanmıştır:

i.) Yay kutularının içine özdeş rijitliğe sahip 4 adet sarmal basınç yayı yerleştirilmiştir. Sarmal basınç yayının boyutları Şekil 1.1’de verilmiştir.



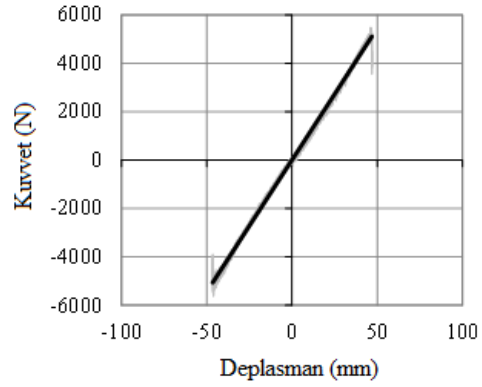
Şekil 1.1: Sarmal basınç yayının boyutları.

Şekil 1.2 de boyuna kesiti verilen yay kutusu çekme kuvvetine maruz kaldığında dıştaki iki yay basınca çalışırken, yay kutusu basınca maruz kaldığında içteki iki yay basınca çalışmaktadır.



Şekil 1.2: Yay kutusu boyuna kesiti.

Düşey hidrolik veren altında gerçekleştirilen deneylerde yay kutusunun rijitlik değeri (K) 110 kN/m olarak belirlenmiştir, Şekil 1.3. Yay kutusunun içinde iki yayın basınca çalıştığı düşünülür ise denklem 1.1’e göre bir tane sarmal yayın lineer elastik rijitlik değeri (k) 220kN/m olarak bulunmuştur.



(a) Deney düzeneği

(b) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 1.3: Eksenel yükleme deneyi

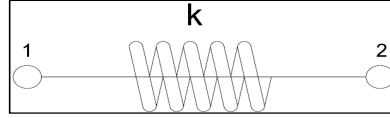
$$P = Kx2\Delta$$

$$k=P/\Delta \quad (1.1)$$

$$K = k/2$$

Yayların rijitlik matrisleri:

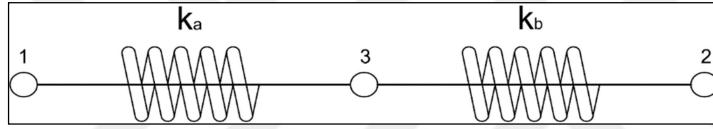
→ Tek yayın rijitlik matrisi;



Şekil 1.4: Tek yay modeli.

$$k = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

→ Seri bağlı çift yay grubunun genel rijitlik matrisi;



Şekil 1.5: Yay kutusu içerisinde basınca çalışan seri bağlı yay grubu.

$$\begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} \\ \textcircled{1} & \begin{bmatrix} k_a & 0 & -k_a \\ 0 & k_b & -k_b \\ -k_a & -k_b & k_a + k_b \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1.3)$$

→ Seri bağlı çift yay grubunun indirgenmiş rijitlik matrisi;

$$\begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} \\ \textcircled{1} & \begin{bmatrix} k_a - \frac{k_a^2}{(k_a+k_b)} & -\frac{k_a*k_b}{(k_a+k_b)} \\ -\frac{k_a*k_b}{(k_a+k_b)} & k_b - \frac{k_b^2}{(k_a+k_b)} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1.4)$$

ii.) Yay kutuları sismik izolasyon katına eklendikten sonra farklı düşey yükler altında statik deneyler yapılmıştır. Temel seviyesinde sismik izolasyon katının bulunduğu numune ile sarsma masasına ankastre bağlanan numune 7 farklı deprem kaydı için denenmiştir. Bu deneylerde, sismik izolasyon katı kolonlarının uçlarında düzlem mafsallar bulunmaktadır.



(a) Sismik izolasyon katı



(b) ¼ oranında küçültülmüş olan ve sismik izolasyon katı üzerinde bulunan 3 katlı çelik yapı

Şekil 1.6: Çapraz yay kutuları kullanılarak oluşturulan sismik izolasyon katının bulunduğu deney numunesi.

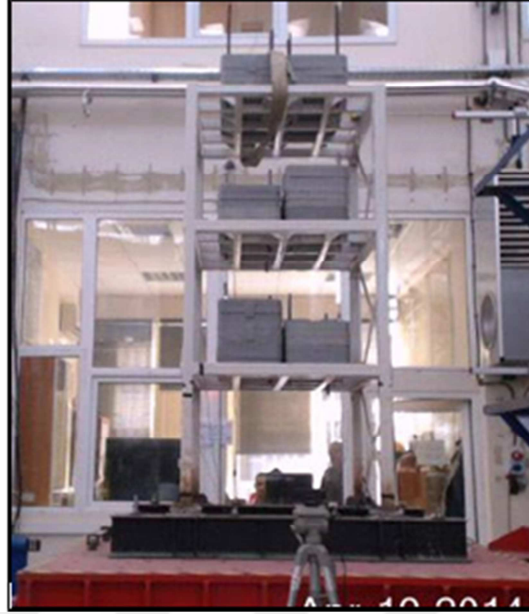
Bu deneyler sonucunda;

- . Yay kutularına uygulanan statik deney sonuçlarının analitik olarak elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu,
- . Farklı düşey yüklemeler altında, çapraz yay kutuları kullanılarak oluşturulan izolasyon katına uygulanan statik deney sonuçlarının, analitik çözümler ile uyumlu olduğu,
- . Sarsma masasında gerçekleştirilen dinamik deneylerden elde edilen sonuçlara göre, ivme genliklerinin üst katlarda önemli oranda küçüldüğü,
- . Dinamik deneyler boyunca herhangi bir sistem kararsızlığı ve merkeze geri dönme sorununun oluşmadığı,
- . Sismik izolasyon katının kendi göçme emniyet mekanizmasına sahip olduğu anlaşılmıştır.

Ayrıca, aynı ölçülerdeki ankastre mesnetlenmiş numune deney sonuçları ile karşılaştırmalar yapılmıştır, (Şekil 1.7).



a) Sismik izolasyon sisteminin ekli olduğu deney numunesi

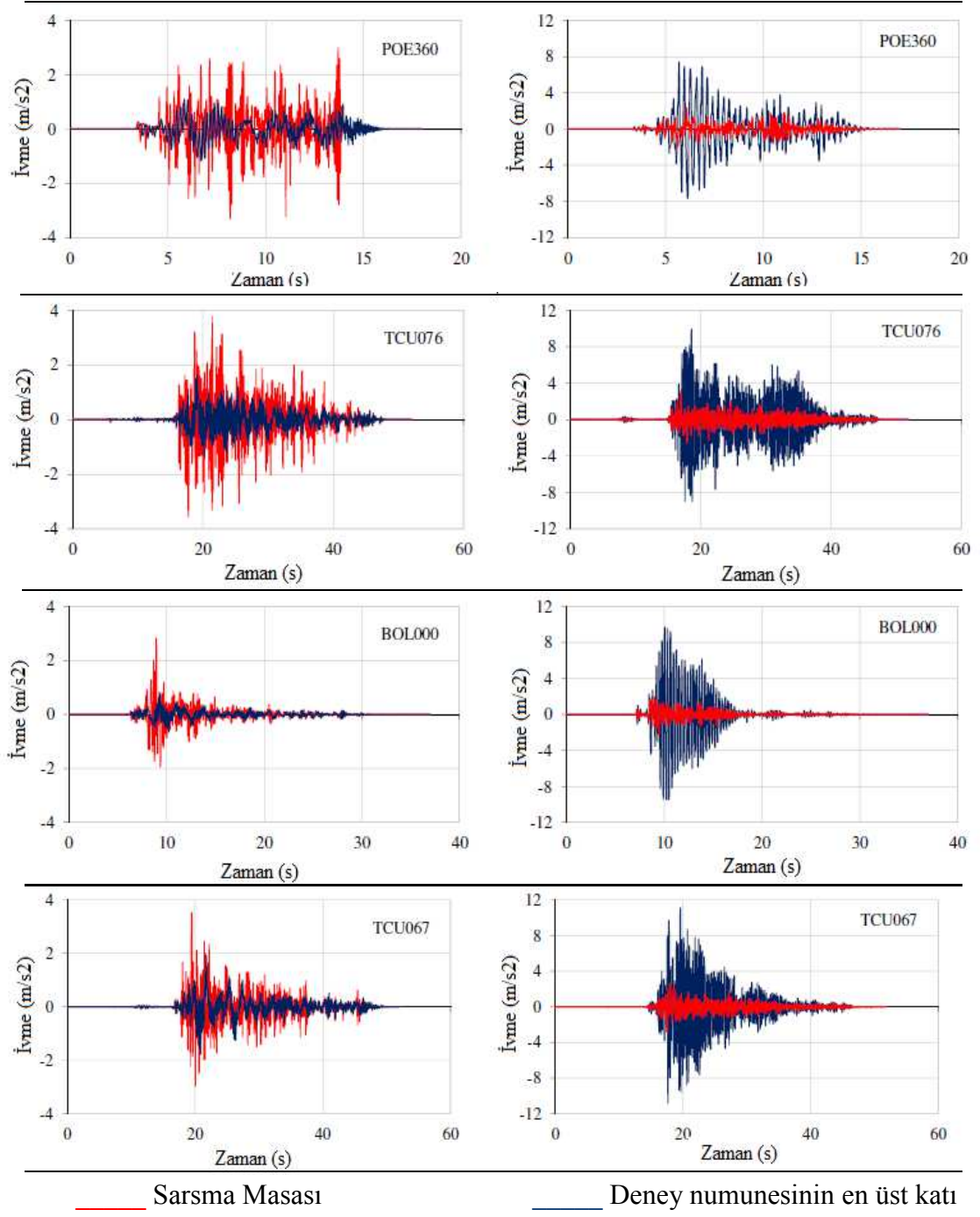


b) Sismik izolasyon sisteminin ekli olmadığı deney numunesi

Şekil 1.7: Sismik izolasyon sisteminin ekli olduğu ve ekli olmadığı deney numunelerinin sarsma masası üzerinde deneyleri

Sismik izolasyon sisteminin bulunmadığı durumda deney numunesinin doğal titreşim periyodu 0.27 s. (frekans-3.6 Hz) olarak bulunmuştur. Sismik izolasyon sisteminin ekli olduğu deney numunesinde ise doğal titreşim periyodunda ciddi oranda artış gözlenerek 1.724 s. - 1.428 s. (frekans-0.58 Hz-0.70 Hz) aralığında elde edilmiştir. Uzayan periyot sayesinde sisteme etkiyecek olan deprem kuvvetinin de azalacağı sonucuna varılmıştır.

Sarsma masasında deney numunelerine farklı deprem kayıtları uygulanmıştır. Sarsma masası üzerinde bulunan ivme ölçer ile deney numunesinin en üst katında bulunan ivme ölçer sayesinde ivme değişimleri elde edilmiştir (Şekil 1.8).



a) Sismik izolasyon sisteminin ekli olduğu deney numunesi

b) Sismik izolasyon sisteminin ekli olmadığı deney numunesi

Şekil 1.8: Uygulanan farklı deprem kayıtları altında, sarsma masası üzerindeki ivme kayıtları ile deney numunesinin en üst katında oluşan ivme kayıtları.


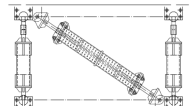
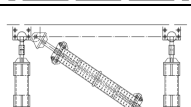

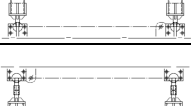
Şekil 1.8'den görüldüğü gibi sismik izolasyon katının ekli olduğu deney numunesinde üst katta ivme değerleri önemli oranda düşmektedir.

iii) Karayel ve diğ. (2016) önerilen sismik yalıtım sisteminin üç boyutlu yapılarda kullanılabilirliğini ispatlamak amacıyla, bir küresel mafsallı detayı tasarlanmış, üretilmiş ve sismik izolasyon katını oluşturan kolonların uçlarına yerleştirmiştir. Mevcut sarsma masası tek eksenli çalıştığından dolayı, sistemin iki eksenli yükler etkisinde davranışını ortaya çıkarabilmek için, numune sarsma masasının hareket doğrultusuna 45⁰'lik bir açı ile monte edilmiştir. Deneysel sonuçları;

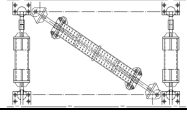
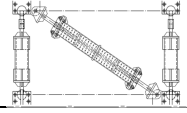



- . Düzlem mafsallı sistemde olduğu gibi merkeze dönme sorunu yaşanmamıştır.
- . Uygulanan ivme kayıtları deney numunesinin üst katlarında önemli ölçüde küçülmüştür.
- . Küresel mafsallar ve yay kutuları her iki doğrultuda uyumlu olarak çalışmıştır.

Küresel mafsallardaki sürtünmeden kaynaklanan %18~20 mertebesindeki eşdeğer sönüm oranının deneysel olarak ispatlanması için başka deneyler de yapılmıştır. Bu deneylerde Çizelge 1.3'de gösterilen farklı durumlar dikkate alınmıştır.

Çizelge 1.3: Eşdeğer sönüm oranının bulunması için gerçekleştirilen deneylerde kullanılan farklı durumlar.

Deney No	İzolasyon Katı Üzerinde Bulunan Kütle (ton)	Sistem	Frekans (Hz)	Genlik (mm)
1	4.98		0.2 Hz	50
2	4.98		0.2 Hz	50
3	3.95		0.2 Hz	50
4	3.95		0.2 Hz	50
5	2.91		0.2 Hz	50

Çizelge 1.3 (devam): Eşdeğer sönüm oranının bulunması için gerçekleştirilen deneylerde kullanılan farklı durumlar.

Deney No	İzolator Katı Üzerinde Bulunan Kütle (ton)	Sistem	Frekans (Hz)	Genlik (mm)
6	2.91		0.2 Hz	50
7	1.87		0.2 Hz	50
8	1.87		0.2 Hz	50
9	0		0.2 Hz	50
10	0		0.2 Hz	50

Deney numunesinde yay kutusu varken ve yokken kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri elde edilip, sistemin tükettiği enerji miktarı bulunmuştur. Bu sayede sönümlenen enerjinin izolasyon katına eklenen yay gruplarından ziyade kolon uçlarında oluşturulan küresel mafsallardan kaynaklandığı kanıtlanmıştır, Şekil 1.9.



Şekil 1.9: Deney düzeneği (deney no:1)

Deneyler sonucu, eşdeğer sönüm oranı %18~20 civarında olduğu ve kolon uçlarındaki küresel mafsallardan kaynaklandığı gösterilmiştir.

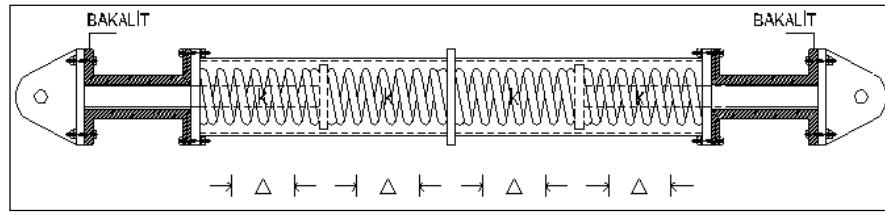
Karayel ve diğ. (2016) ayrıca, geliştirilen sismik izolasyon sisteminin betonarme bir binada kullanımını örneklemek üzere, 5 katlı bir binanın sismik izolasyon katlı ve alttan ankastre durumları için sayısal hesap yapmıştır. Deneyleerde de kullanılan deprem kayıtları ile zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Sayısal modelde, deneysel sonuçlara dayalı olarak %20 mertebesinde eşdeğer sönüm oranı kullanılmıştır. Analiz sonuçları incelenerek yapının güvenli ve ekonomik kesitler ile tasarlanabileceğini göstermişlerdir.



2. YAY KUTULARI İÇİN ÖZEL KAYMA KİLİDİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Karayel ve diğ. (2015a,2015b ve 2016) geliştirdiği, çapraz yay grupları kullanan düşük maliyetli sismik izolasyon sisteminin rüzgar ve küçük depremler gibi etkilerde çalışmasını önlemek ve daha rijit davranmasını sağlamak üzere bir kilit mekanizması oluşturulması amaçlanmıştır. Çapraz yay kutularının özel kayma kilidi detayı için farklı alternatifler düşünülmüştür. Bunlar;

- Elektronik bir sistem kullanarak yay gruplarının hareketinin engellenmesi; yükölçerler ile üretilecek yük verisi otomasyon sisteminde değerlendirilerek hareketli rodun hareketinin engellenmesi düşünülmüştür. Yay grupları başlıkları arasında bulunan rodta oluşacak kuvvetleri okuyabilecek ve amaçlanan kuvvete gelindiğinde kilidin devre dışı kalmasını sağlayacak mekanizma pahalı olacağı için vazgeçilmiştir.
- Bakalit malzemesi kullanarak geliştirilen detay ile yay gruplarının hareketinin engellenmesi; yay kutularının başlıkları arasındaki rodun etrafına hareketi engelleyici fakat istenilen yükten sonra sistemin çalışmasına engel olmayacak bir malzeme yerleştirilmesi düşünülmüştür. Bu amaçla gerçek bir malzeme olan bakalit öngörülmüştür. Geliştirilen sistem Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1: Kayma kilidi olarak bakalit malzemesi kullanıldığında yay kutusunun boyuna kesiti.

Bakalit malzemesi ile oluşturulan sistemin etkin bir şekilde çalışacağı öngörülmüş olsa da sistemin oluşturulabilmesi için özel geometriye sahip bakalit parçalara ihtiyaç vardır. Bakalit dökümü için gereken kalıbın hazırlanma maliyeti büyük olduğundan bu alternatif çözümden de vazgeçilmiştir.

Yukarıda anlatılan iki çözüm önerisi, tezin amacı olan düşük maliyetli ve etkin çalışan bir sistem için uygun olmadığından, çapraz yay kutusunda uygun çapta açılacak deliklerden geçirilecek özel bir malzemenin yay gruplarının çalışmasını engelleyerek görece yüksek rijitlik sağlanması yoluna gidilmiştir. Oluşturulan bu sistemle, çapraz yay kutularının görece daha büyük bir başlangıç rijitliğine sahip olması ve öngörülmuş bir kuvvet değerine erişildiğinde devre dışı kalarak, yay kutusunun çalışmasına izin verilmesi amaçlanmıştır. Şekil 2.2’de yay kutularında açılacak deliğin konumu gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Yay kutularında kayma kilidleri için açılacak deliğin bölgesi.

3. KAYMA KİLİDİ MALZEME DENEYLERİ

Karayel ve diğ. (2015a,2015b ve 2016) geliştirdiği, çapraz yay grupları kullanan düşük maliyetli sismik izolasyon sisteminin rüzgar ve küçük depremler gibi etkilerde çalışmasını önlemek ve daha rijit davranmasını sağlamak üzere bir kilit mekanizması oluşturulması amaçlanmıştır. Çapraz yay kutularının özel kayma kilidi detayı için farklı alternatifler düşünülmüştür.

Alternatif malzemelerin sismik izolasyon sisteminin etkin çalışabilmesi için tanımlanmış özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunlar;

- Kayma kilidi kapasitesine ulaşıldığında; çapraz yay kutularının kendi rijitlikleriyle devreye girebilmesi için, kırılmanın ani olması istenmektedir. Bu nedenle seçilecek malzemenin gevrek olması gerekmektedir.
- Kırılma gerçekleşikten sonra, malzemenin çapraz yay kutusunun çalışmasını engelleyici bir şekilde sıkışmaması gerekmektedir.
- Kullanılacak malzeme için yapılacak kayma dayanımını belirlemeye yönelik deneylerde sonuçların saçılmaması gerekmektedir.
- Düşük maliyetli sismik izolasyon sistemi geliştirilmesi ana fikrine uygun olarak maliyetinin düşük olması gerekmektedir.

Bu amaçla cam elyaf çubuklar, karbon fiber çubuklar ve HSS türü özel çeliklerin uygun olacağı öngörüldüğünden deneylerde bu üç malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 3.1: Deneylerde kullanılan malzemelerin türü ve çapları.

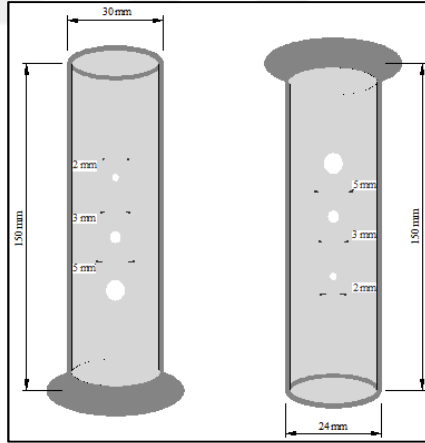
Malzeme Türü	Malzeme Çapı Φ
Cam Elyaf Çubuk	3mm
Karbon Fiber Çubuk	3mm ve 5mm
HSS(yüksek hızlı) Tipi Çelik	1mm, 1.2mm, 1.3mm, 1.4mm, 1.5mm, 1.6mm ve 2mm

3.1 Deney Düzeneginin Hazirlanmasi

Kayma kilidi olarak kullanılacak malzemeyi seçebilmek üzere öncelikle uygun bir deney düzenegi tasarlanmiştir. Özel bir kayma kutusu şeklinde hazirlanan düzenek, çapraz yay kutularında uygulanacak detaylara uygun olacak şekilde düşünölmüştür. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de göröldüğü gibi, hazirlanan kayma kutusu üzerinde çeşitli çaplarda (1.3mm, 1.4mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm, 5.5mm ve 6.5mm) delikler açılmıştır.



Şekil 3.1: Özel bir kayma kutusu şeklinde hazirlanan deney düzenegi.



Şekil 3.2: Özel kayma kutusu deney düzenegi boyutları.

Bu deliklerden kayma kilidi olarak kullanılacak alternatif malzemeler geçirilerek, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarındaki INSTRON makinasında 49mm/dk (0.8167mm/s.) hızla aksenal basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir, Şekil 3.3.

Özel kayma kutusu ile gerçekleştirilen deneylerde seçilen malzemelerin kayma dayanımları bulunmuştur. Instron deney makinası ile özel kayma kutusuna etkiyen

eksenel basınç kuvveti ve karşı gelen yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Eksenel basınç kuvveti, i içe geçirilmiş iki elik tüpteki boşluklardan geçirilen alternatif malzemelerde iki kesitte kesme kuvveti oluşturmuştur. Gerçek sistemdeki yay kutularında da çift taraflı kayma etkisine maruz kalınacağından, alternatif malzemelerin yük-yerdeğiştirme ilişkileri ve kırılma yükleri gerçek durumu yansıtılmaktadır.



şekil 3.3: Instron (basma-eğilme makinası) ve özel kayma kutusu deney düzeneği.

3.2 Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

3.2.1 Cam elyaf çubuk deneyi

Cam elyaflar, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Cam elyaf silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir.

Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur. Bunlar A(Alkali), C(Korozyon), E(Elektrik) ve S(Mukavemet) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, bünyelerini oluşturan bileşimler bakımından fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler için yapılmaktadır. Farklı cam elyaf tiplerinin bileşimi ve özellikleri izelge 3.2'de verilmiştir (Akdoğan, 2008).

Çizelge 3.2: Cam elyaf tiplerinin bileşimi ve özellikleri.

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69	72.4	85.5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033	3033	3448	4585
Isıl genişleme katsayısı (m/m/°Cx10 ⁻⁶)	8.6	7.2	5	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727	749	841	970
Katkı Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0.6	4.1	14.4	25
CaO	10	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3

Deneylerde kullanılan cam elyaf çubuklar E tipi cam elyaf özelliğine sahiptirler. Bu tipteki cam elyafların dayanımları oldukça yüksek olup, ısıl dirençleri de düşüktür.

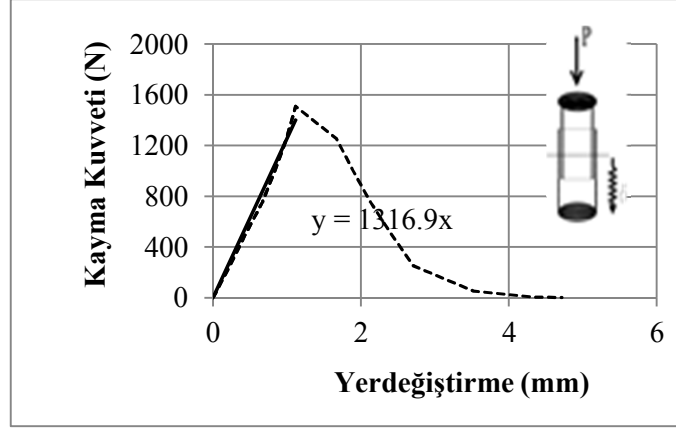
3.2.1.1 Φ 3mm çapında cam elyaf çubuk deneyi

Cam elyaf çubuk deneyinin gerçekleştirildiği deney düzeneği Şekil 3.4’de görülmektedir.



Şekil 3.4: Cam elyaf çubuk deney düzeneği.

Kayma kutusunda iki kesitte kesme etkisine maruz kalan 3mm çapındaki cam elyaf çubuğun yük yerdeğiştirme eğrisi Şekil 3.5’de verilmiştir. Deney sonucunda 1507.01N yükte cam elyaf lifin kırıldığı görülmüştür. Yük yerdeğiştirme ilişkisinden yararlanılarak, cam elyaf çubuğun çift taraflı kesmeye maruz kaldığında rijitliği 1316.9N/mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.5: 3mm çaplı cam elyaf çubuk yük-yerdeğiştirme ilişkisi.

Cam elyaf malzemesi kırılmadan sonra Şekil 3.6'daki gibi ince iplikciklere ayrılmıştır. Bu saçaklanma durumu, çapraz yay kutularında sıkışmaya neden olabileceğinden farklı çap deneylerine gerek görülmeden kullanılmamasına karar verilmiştir.



Şekil 3.6: Cam elyaf çubuğun kırılmadan sonraki saçaklanma durumu.

3.2.2 Karbon fiber çubuk deneyleri

Karbon fiber çubukların ana bileşenleri; karbonlanmış akrilik elyaf (Orlon), katran ve naylondur. İleri teknoloji ürünü olan bu malzeme, ipliksi bir tür plastik madde olup akrilik elyafın belli süreçlerden geçirilmesiyle elde edilir. Yüksek dayanıklılık, düşük yoğunluk, düşük sürtünme ve düşük ağırlık özelliklerinden dolayı uzay, havacılık, savunma ve otomotiv sanayilerinde, spor gereçlerinde (tenis raketi, board) ve binaların güçlendirilmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Çizelge 3.3'de verilen mekanik özelliklere sahiptir.

Çizelge 3.3: Karbon fiber malzemesinin özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastik Modülü	Mukavemet
		(N/mm ²)	(MPa)
Karbon Fiber	1,5	75000~180000	1500



Şekil 3.7: Çeşitli çaplarda üretilmiş olan karbon fiber çubuklar.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi çubuk şeklinde farklı çaplarda üretiminin yapılmasından dolayı kayma kilidi olarak yay kutularında kullanılabileceği düşünülerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.1 Φ 3mm çapında karbon fiber çubuk deneyleri

Malzemenin ortalama kırılma yükü olarak 1507.6N, en küçük kırılma yükü 1253.75N ve en büyük kırılma yükü 1764.36N olarak belirlenmiştir. Malzemenin ortalama rijitliği 1265N/mm, en küçük rijitlik olarak 1014.7N/mmm ve en büyük rijitlik olarak da 1595.9N/mm değerleri elde edilmiştir. Çizelge 3.4’de yapılmış olan 10 deneyin sonuçları verilmiştir.



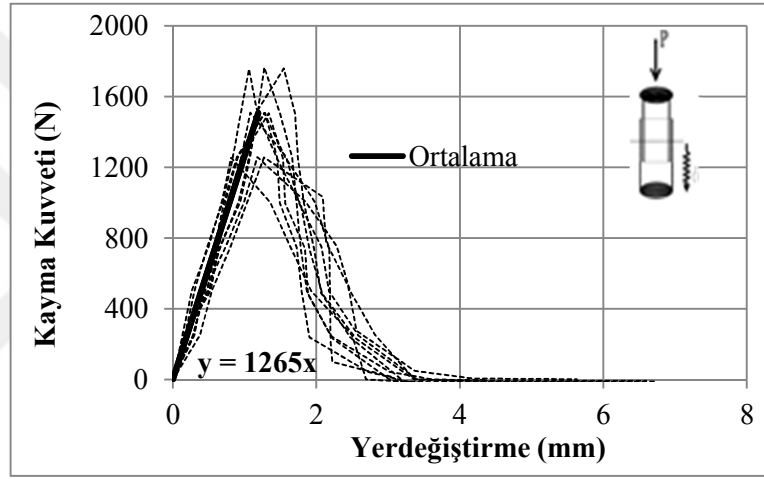
Şekil 3.8: Karbon fiber çubuk deney düzeneği.

Çizelge 3.4: 3mm çapında karbon fiber çubuk deney sonuçları.

Deney Numarası	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yükü (N)	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri (N/mm)
1	1754.70	1595.9
2	1759.43	1199.4
3	1253.75	1463.9

Çizelge 3.4 (devam): 3mm çapında karbon fiber çubuk deney sonuçları.

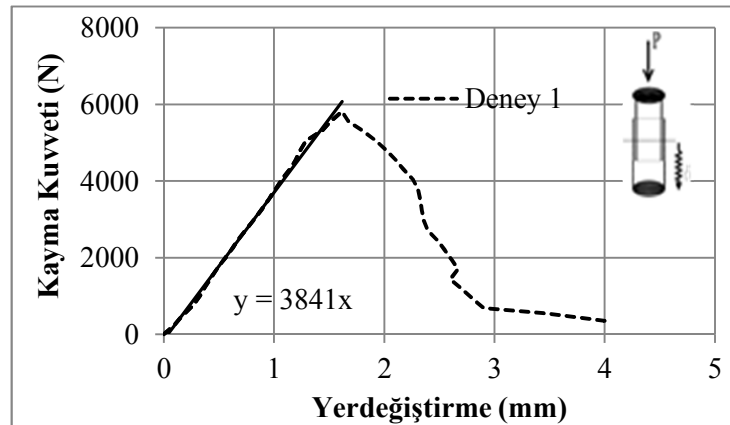
Deney Numarası	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü (N)	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri (N/mm)
4	1258.36	1055.4
5	1256.72	1014.7
6	1764.36	1280.9
7	1505.74	1176.2
8	1507.70	1226.3
9	1508.44	1403.4
10	1506.91	1233.4
Ortalama	1507.6	1265
Standart Sapma	194.9	170.2
Ort.+1.28*Stand.Sapma	1757.1	1482.8
Ort.-1.28*Stand.Sapma	1258.1	1047.1



Şekil 3.9: 3mm çapında karbon çubuk deney sonuçları.

3.2.2.2 $\Phi 5$ mm çapında karbon fiber çubuk deneyleri

Malzemenin kırılma yüğü 5818.4N, ortalama rijitliğı 3841N/mm olarak elde edilmiştir. Şekil 3.10'da yapılmış olan deneyin sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.10: 5mm çapında karbon fiber çubuk deney sonucu.

5mm çaplı numune deneyinde kırılma gerçekleştikten sonra karbon fiberlerin bir kısmının deney düzeneğinde sıkışma yaptığı gözlemlenmiştir. Bu istenilmeyen bir durum olduğundan, karbon fiber çubuklar için ilave deneyler yapılmamıştır.

3.2.3 HSS (yüksek hızlı) tipi çelik

HSS çeliklerini birleşimleri bakımından çeşitli özelliklere sahiptir. İçerisinde bulunan alaşım elementlerinin çeliğe etkileri Çizelge 3.5’de verilmiştir (Koçak, 2006).

Çizelge 3.5: HSS tipi çeliğinin içerisinde bulunan alaşım elementlerinin çeliğe etkileri.

Karbon (C)	Karbon oranına bağlı olarak sertlik artar. Karbon, karbür oluşumunda önemli rol oynar. Karbon oranının artması darbe dayanıklılığını düşürür, fakat kesme özelliğini ve aşınma direncini artırır.
Wolfram (W)	Yüksek hız çeliklerinin temperleme direncini artırır. Sıcak sertliğin artması ince taneli bir iç yapı oluşturur.
Molibden (Mo)	Yüksek hız çeliklerinde wolfram yerine kullanılır. Etkisi wolfram gibidir.
Krom (Cr)	Hız çeliklerinin her çeşidinde %3-4 arasında bulunur. Sertlik ve kesme verimini artırır.
Vanadyum (V)	Kesme verimini artırır. Vanadyum çelik bünyesindeki karbonu kendine bağlar, diğer metal karbürlerin oluşmasını azaltır.
Kobalt (Co)	Kobaltın etkisi sıcak sertliği artırmasıdır. Bu nedenle kesici takımın kesme verimini artırır.

Deneylerde kullanılan HSS çelikleri, Molibden Yüksek Hızlı Çelik olarak adlandırılmaktadır. Bileşiminde C (Karbon-%0.85), Cr (Krom-%4), V (Vanadyum-%2), W (Tungsten-%6.25) ve Mo (Molibden-%5) bulunmaktadır. Molibden HSS çelikler aşınma dayanımı yüksek, sürtünmeye, yumuşamaya veya mekanik etkilere karşı direnç özelliği yüksek olan malzemelerdir, (Tayanç ve Zeytin, 2000).



Şekil 3.11: HSS tipi çelik.

HSS tipi çelikler sanayide delme, kesme, tornalama, frezeleme ve zımbalama işlemlerinde matkap uçları, diş açma takımları, freze bıçakları, raybalar, torna ve planya takımları olarak kullanılmaktadır.

Deneylerde kullanılan HSS tipi çeliklerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir (www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6174, 2012).

Çizelge 3.6: HSS tipi çeliklerin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk	8.16 g/cm ³
Erime sıcaklığı	4680 °C
Mekanik Özellikler	
Basınç altında akma dayanımı	3250 MPa
Poisson oranı	0.27~0.30
Elastisite modülü	190000~210000 MPa
Rijitlik modülü	78740 MPa
Çekme dayanımı	800~1000 MPa

Deney düzeneğine yerleştirilmiş olan HSS tipi çelik Şekil 3.12’de görülmektedir. Bu deney düzeneği kullanılarak 1.0mm, 1.2mm, 1.3mm, 1.4mm, 1.5mm, 1.6mm ve 2.0mm çaplarında HSS tipi çeliklerin deneyleri gerçekleştirilmiştir.



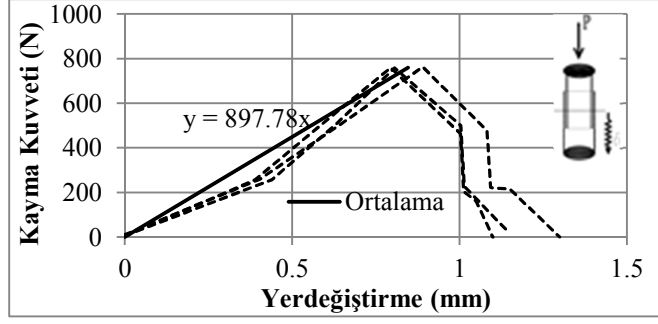
Şekil 3.12: HSS tipi çeliklerin kırımının yapıldığı deney düzeneği

3.2.3.1 Φ 1mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri

Çizelge 3.7’de yapılmış olan 3 adet deneyin sonuçları verilmiştir. Malzemenin ortalama kırılma yükü 759.63N ve ortalama başlangıç rijitliği 897.78N/mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.7: 1.0mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

Deney Numarası	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yükü (N)	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri (N/mm)
1	758.60	943.24
2	757.89	905.66
3	762.42	844.44
Ortalama	759.63	897.78



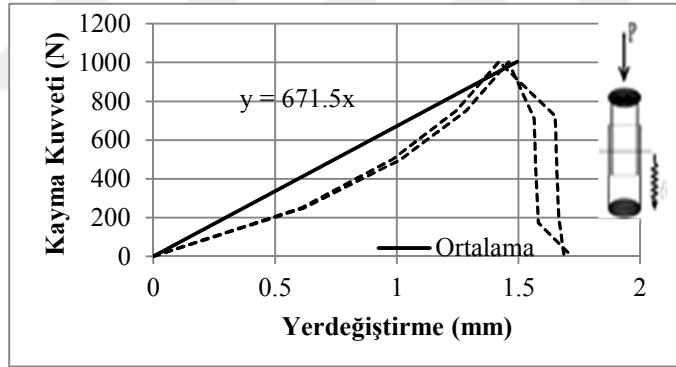
Şekil 3.13: 1.0mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

3.2.3.2 Φ1.2mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri

Çizelge 3.8’de yapılan iki adet deneyin sonuçları verilmiştir. Malzemenin ortalama kırılma yükü 1003.4N ve ortalama başlangıç rijitliği 671.5N/mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.8: 1.2mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

Deney Numarası	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yükü (N)	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri (N/mm)
1	1004.7	682.3
2	1002.0	660.7
Ortalama	1003.4	671.5



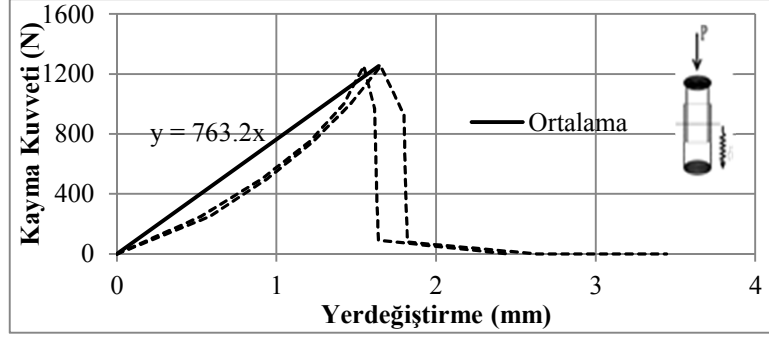
Şekil 3.14: 1.2mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

3.2.3.3 Φ1.3mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri

Çizelge 3.9’da yapılmış olan 2 adet deneyin sonuçları verilmiştir. Malzemenin ortalama kırılma yükü 1252.5N ve malzemenin ortalama rijitliği 763.2N/mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.9: 1.3mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

Deney Numarası	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yükü (N)	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri (N/mm)
1	1252.6	749.7
2	1252.3	776.7
Ortalama	1252.5	763.2



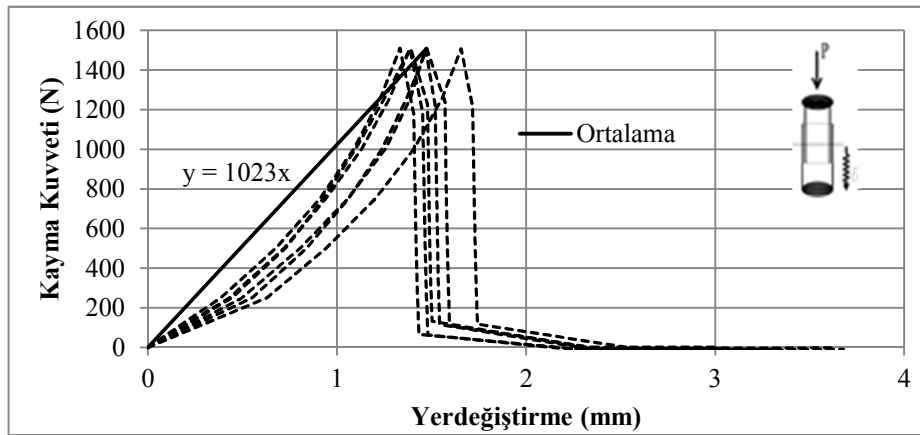
Şekil 3.15: 1.3mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

3.2.3.4 Φ 1.4mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri

Malzemenin ortalama kırılma yükü 1507.81N, en küçük kırılma yükü 1505.42N ve en büyük kırılma yükü 1509.99N' dur. Ortalama başlangıç rijitliği 1023N/mm, en küçük malzeme rijitliği 886.19N/mm ve en büyük malzeme rijitliği 1102.80N/mm olarak elde edilmiştir. Çizelge 3.10'da yapılmış olan 6 deneyin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.10 : 1.4mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

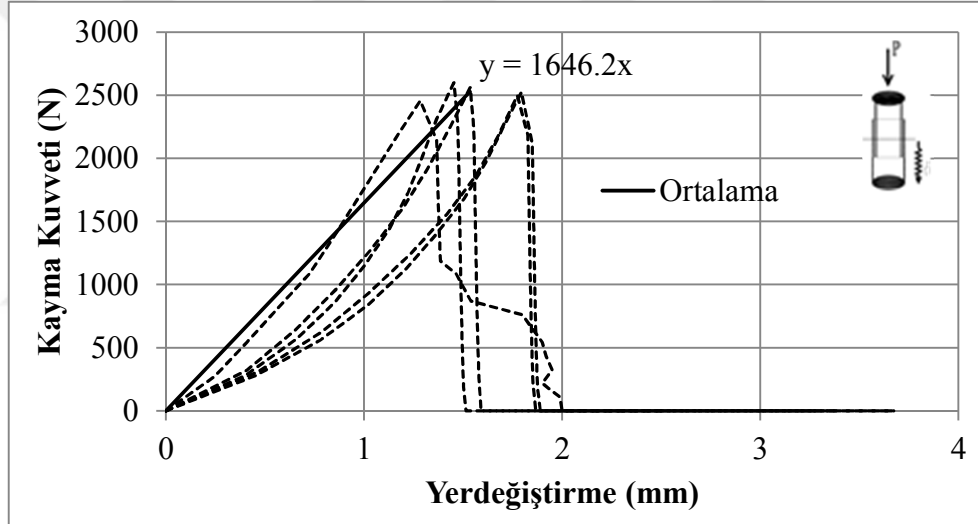
Deney Numarası	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yükü (N)	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri (N/mm)
1	1506.39	886.19
2	1507.69	987.15
3	1509.99	1090.40
4	1509.73	1102.80
5	1505.42	1002.10
6	1507.64	1069.20
Ortalama	1507.81	1023
Standart Sapma	1.64	74.70
Ort.+1.28*Stand.Sapma	1509.91	1118.59
Ort.-1.28*Stand.Sapma	1505.71	927.35



Şekil 3.16: 1.4mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

Çizelge 3.12: 1.6mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

Deney Numarası	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü (N)	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri (N/mm)
1	2456.00	1962.7
2	2599.32	1796
3	2498.00	1391.9
4	2560.00	1680.5
5	2526.00	1400.0
Ortalama	2528	1646
Standart Sapma	49.39	223.2
Ort.+1.28*Stand.Sapma	2591.09	1931.9
Ort.-1.28*Stand.Sapma	2464.64	1360.5



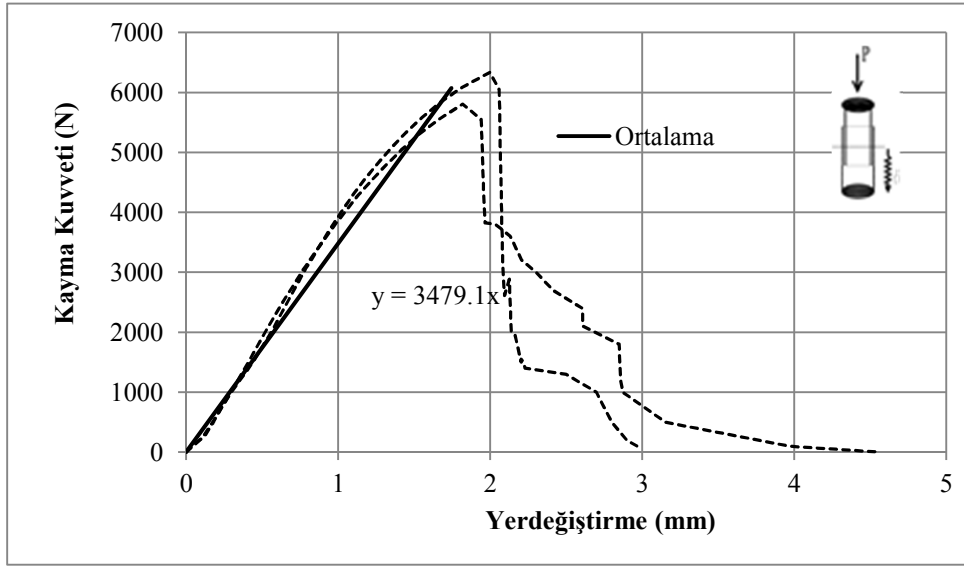
Şekil 3.18: 1.6mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

3.2.3.7 $\Phi 2$ mm çapında HSS(yüksek hızlı) tipi çelik deneyleri

Çizelge 3.13’de yapılmış olan iki adet deneyin sonuçları verilmiştir. Malzemenin ortalama kırılma yüğü 6070.25N ve malzemenin ortalama rijitliği 3479.05N/mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.13: 2mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

Deney Numarası	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü (N)	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri (N/mm)
1	6336.24	3511.60
2	5804.25	3446.50
Ortalama	6070.25	3479.05



Şekil 3.19: 2mm çapında HSS tipi çelik deney sonuçları.

3.2.4 Malzeme deneylerinin özet çizelgesi

Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15’de yay kutusu kilidi olarak kullanılmak üzere incelenen alternatif malzemelerin deney sonuçlarının özeti verilmiştir. Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15’de bulunan deney sonuçları malzemelerin çift taraflı kesme etkisi altındaki değerleridir.

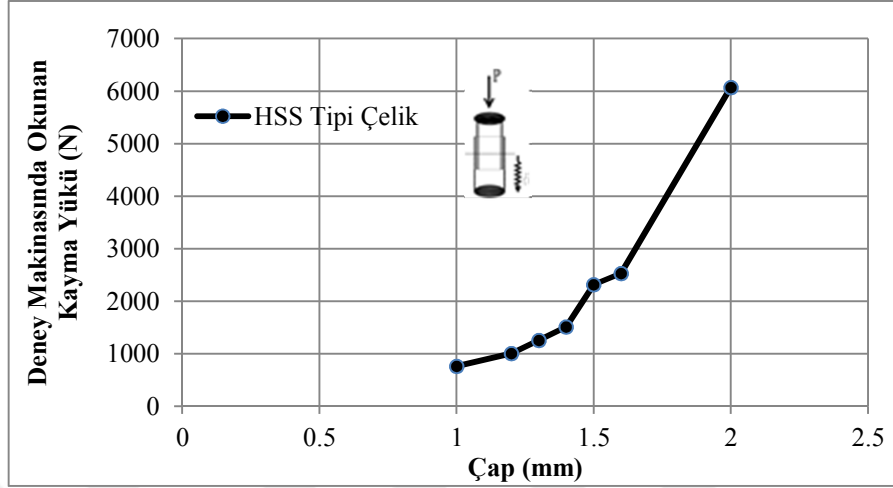
Çizelge 3.14: Cam elyaf çubuk ve karbon fiber çubuk deneyleri özet çizelge.

Deney Numarası	Cam Elyaf Çubuk		Karbon Fiber Çubuk			
	Ø3mm Çap		Ø3mm Çap		Ø5mm Çap	
	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri
	N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm
1	1507.016	1316.90	1754.7	1595.9	5818.40	3841.00
2	-	-	1759.43	1199.4	-	-
3	-	-	1253.75	1463.9	-	-
4	-	-	1258.36	1055.4	-	-
5	-	-	1256.72	1014.7	-	-
6	-	-	1764.36	1280.9	-	-
7	-	-	1505.74	1176.2	-	-
8	-	-	1507.7	1226.3	-	-
9	-	-	1508.44	1403.4	-	-
10	-	-	1506.91	1233.4	-	-
Ortalama	1507.016	1316.90	1507.6	1265	5818.40	3841.00
Standart Sapma	-	-	194.9	170.2	-	-
Ort.+ 1.28*Stan. Sapma	-	-	1757.1	1482.8	-	-
Ort.- 1.28*Stan. Sapma	-	-	1258.1	1047.1	-	-

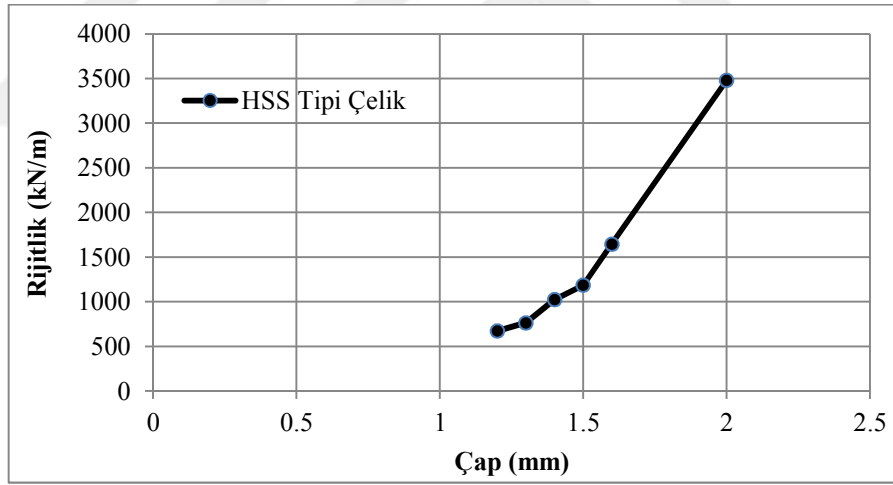
Çizelge 3.15: HSS tipi çelik çubuk deneyleri özet çizelgesi.

Deney Numarası	HSS Tipi Çelik													
	Φ1mm Çap		Φ1.2mm Çap		Φ1.3mm Çap		Φ1.4mm Çap		Φ1.5mm Çap		Φ1.6mm Çap		Φ2mm Çap	
	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri	Deney Makinasında Okunan Kırılma Yüğü	Malzemenin Ortalama Rijitlik Değeri
	N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm	N	N/mm
1	758.6	943.24	1004.7	682.3	1252.6	749.7	1506.39	886.19	2518.15	1227.6	2456	1962.7	6336.24	3511.6
2	757.89	905.66	1002	660.7	1252.3	776.7	1507.69	987.15	2260.92	1107.4	2599.32	1796	5804.25	3446.5
3	762.42	844.44	-	-	-	-	1509.99	1090.4	2266.24	1110.6	2498	1391.9	-	-
4	-	-	-	-	-	-	1509.73	1102.8	2508.53	1237.6	2560	1680.5	-	-
5	-	-	-	-	-	-	1505.42	1002.1	2012.067	1241.6	2526	1400	-	-
6	-	-	-	-	-	-	1507.64	1069.2	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama	759.63	897.78	1003.4	671.5	1252.5	763.2	1507.81	1023	2313.18	1185	2528	1646	6070.25	3479.05
Standart Sapma	-	-	-	-	-	-	1.64	74.7	187.5	62.2	49.39	223.2	-	-
Ort.+1.28*Standart Sapma	-	-	-	-	-	-	1509.91	1118.59	2553.18	1264.6	2591.09	1931.9	-	-
Ort.-1.28*Standart Sapma	-	-	-	-	-	-	1505.71	927.35	2073.18	1105.3	2464.64	1360.5	-	-

HSS çelikleri için kayma dayanımı ve başlangıç rijitliğinin çapa göre değişimleri de Şekil 3.20 ve Şekil 3.21 de verilmiştir.



Şekil 3.20: HSS tipi çelik çubuk deneyleri (Kayma yükü-Çap).



Şekil 3.21: HSS tipi çelik çubuk deneyleri (Rijitlik-Çap).

3.3 Deneyler Sonucu Kullanılacak Malzemenin Seçimi

Deneylerden elde edilen sonuçlar ve gözlemler sonucu HSS tipi çeliklerin kayma kilidi malzemesi olarak kullanılması uygun görülmüştür. HSS tipi çeliklerin seçilmesinde rol oynayan durumlar aşağıda ifade edilmiştir.

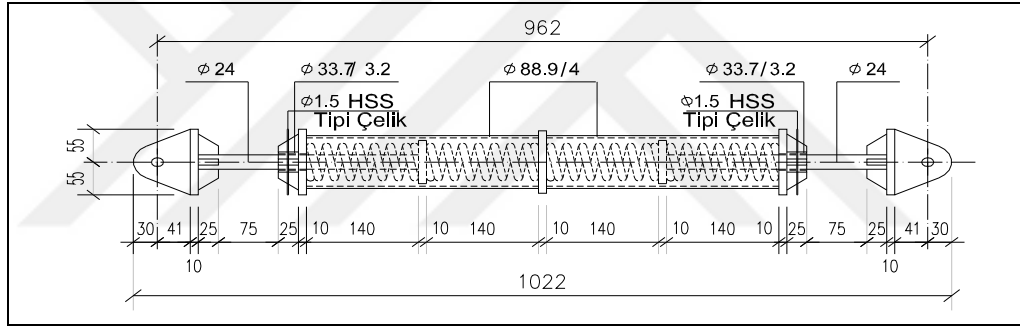
- Kırılma yükü ve malzeme rijitliği değerlerinde aynı çap için standart sapmanın düşük olması

- Diğer alternatiflere göre daha gevrek davranış göstermesi
- Kırılma gerçekleştikten sonra sistemde sıkışma oluşturmaması
- Alternatif malzemelere göre daha küçük çaplarda daha büyük kayma dayanımına sahip olması. Bu durum, yay kutularında açılacak delik çaplarının daha küçük olmasını mümkün kılacaktır.
- Yay kutularına eklenecek kayma kilidi malzemesi yapının servis ömrü boyunca çok sayıda küçük yk çevrimine maruz kalacaktır. HSS tipi çelikler diğer alternatiflere göre daha yüksek aşınma direncine sahiptir.
- Yapının mr içerisinde oluşabilecek depremlerde kırılma gerçekleştikten sonra, yay kutusuna tekrar yerleştirilecektir. Ekleme işlemi matkap ucu şeklinde yapılacaktır.
- Genel amaçlardan biri olan düşük maliyet fikri korunmaktadır. Kayma kilidi maliyeti yay kutusu maliyetinin %10'unun altında kalmaktadır.

Tüm bu özellikler dikkate alınarak; etkin çalışabilen, düşük maliyetli HSS tipi çeliklerin kayma kilidi olarak kullanımına karar verilmiştir.

4. KAYMA KİLİDİ TAKILI YAY KUTULARININ EKSENEL YÜKLEME DENEYLERİ

Önceki bölümlerde ifade edildiği gibi Karayel ve diğ. (2015a), Karayel ve diğ. (2015b) ve Karayel ve diğ. (2016) çalışmalarının devamı niteliğindeki bu tez çalışmasında, kayma kilidi olarak seçilen HSS tipi çeliklerin eklenmesi ile iyileştirilen çapraz yay kutularının eleman deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.1’de tipik boyuna kesiti ve boyutları verilen yay kutusunda yay gruplarının çalışmasını engelleyen ve belirli bir kuvvete kadar sistemin görelî olarak yüksek eksenel rijitliğe sahip olmasını sağlayan HSS tipi çeliklerin konumları görülmektedir.



Şekil 4.1: Kayma kilidi takılı yay kutusunun kesiti ve boyutları.

Yapılan deneysel çalışmalarda, HSS tipi çeliklerin eklendiği yay kutusuna eksenel kuvvet uygulanmış ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi elde edilmiştir. HSS tipi çelikler eklendiğinde sistemdeki rijitlik artışlarını ve belirli bir kuvvetten sonra yay gruplarının devreye girerek sistem rijitlik değerinin düştüğünü göstermek amacıyla, sistem deneylerinde 1.5mm çaplı HSS tipi çelikler kullanılmıştır.

Sismik izolatör olarak kullanılan kayma kilidi takılmış çapraz yay kutusunun, rüzgar ve küçük deprem yükleri etkisinde hangi kuvvet maruz kalacağını belirlemek üzere bir araştırma yapılmıştır.

4.1. Deney Düzenekinin Hazırlanması

Yay kutularına 1.5mm çapındaki HSS tipi çeliklerin geçebilmesi için tel erozyon makinası ile 1.6mm çapında delik açılmıştır. Bu işlem Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Tel erozyon makinesi ile 1.6mm çapında delme işlemi.

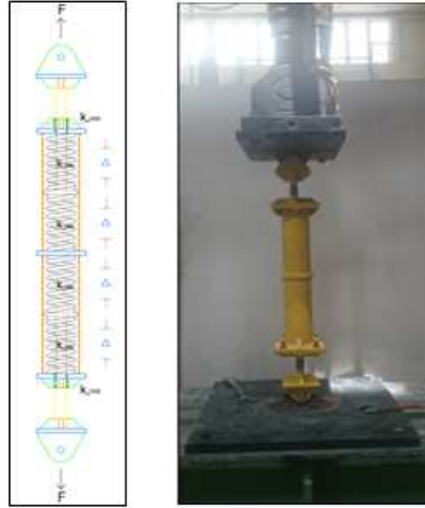
Tel erozyon işlemi, üzerinden yüksek yoğunlukta akım geçirilen bir tel yardımıyla kesme yöntemidir. Şekil 4.3’de tel erozyon işleminden sonra 1.5mm çaplı HSS tipi çeliğin geçirildiği başlık görünmektedir.



Şekil 4.3: 1.5mm HSS tipi çelik eklenmiş yay kutusu başlığı.

Deneyler boyunca aynı yay kutuları kullanıldığından, matkap ile uygun çaptaki HSS tipi çelikler delinerek yerinde bırakılmamıştır. Her delme işlemi yay kutusunda aksenal yükü aktaran rodun kesitini azaltacağından dolayı, uygun çapın 0.1mm daha büyüğü bir çapla tel erozyon makinası yardımı ile düzgün bir delme işlemi gerçekleştirilmiştir.

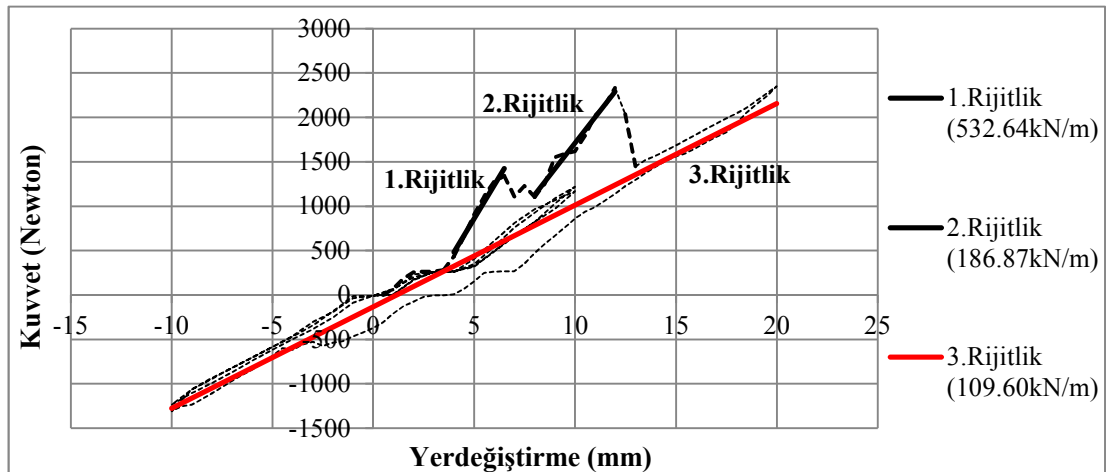
Kayma kilidi takılı yay kutularının aksenal yükleme deneyleri için MTS (hidrolik veren) makinası kullanılmıştır. Şekil 4.4’de görünen deney düzeneği kayma kilidi eklenmiş yay kutularının bir uçtan MTS (hidrolik veren) makinasına diğer uçtan ise sağlam bir çelik platforma bağlanmasıyla oluşturulmuştur.



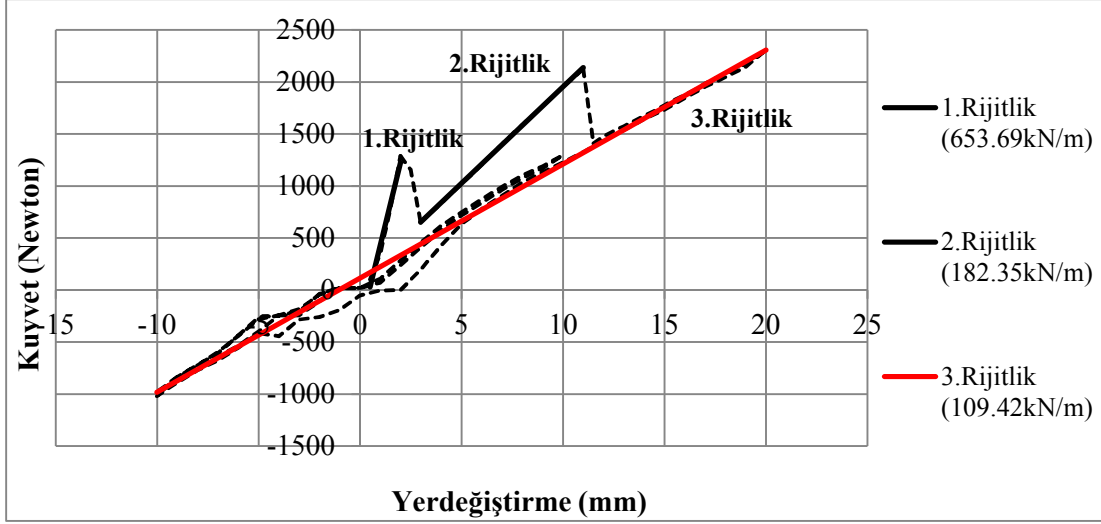
Şekil 4.4: Deneş düzeneği.

4.2 Deneş Sonuçları ve Değerlendirilmesi

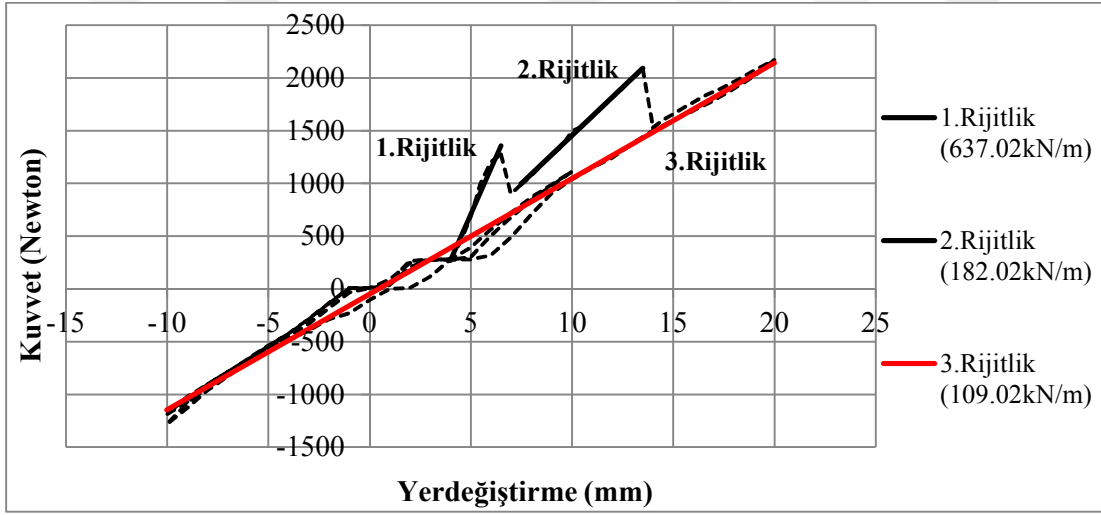
Toplamda 10 adet deneş yapılmıştır. Başlangıç durumunda sıfır konumunda bulunan deneş numunesine 20mm'ye kadar çekme kuvveti uygulanıp HSS tipi çeliklerin kırımı gerçekleştikten sonra ± 10 mm aralığında basınç ve çekme şeklinde 3 tam çevrim uygulanmıştır. Uygulanan yerdeğiştirme protokolü ve karşı gelen yük değerleri ile birlikte elde edilen rijitlik değerleri aşağıda ayrı ayrı grafiksel olarak verilmiştir. Yapılan deneşlerde, kayma kilidi olarak eklenen HSS tipi çeliklerin aynı anda kırılmadığı gözlemlenmiştir. Bu sebepten grafiklerde de 3 farklı rijitlik değerleri elde edilmiştir. 1.Rijitlik değeri ilk HSS tipi elik kırılana kadarki yay kutusu eksenel rijitliğini, 2.rijitlik değerü ikinci HSS tipi çeliğin kırılana kadarki yay kutusu eksenel rijitliğini göstermektedir. Ardından basına çalışan yay grupları devreye girmektedir ve 3. olarak elde edilen rijitlik yay kutusunun rijitlik değeridir.



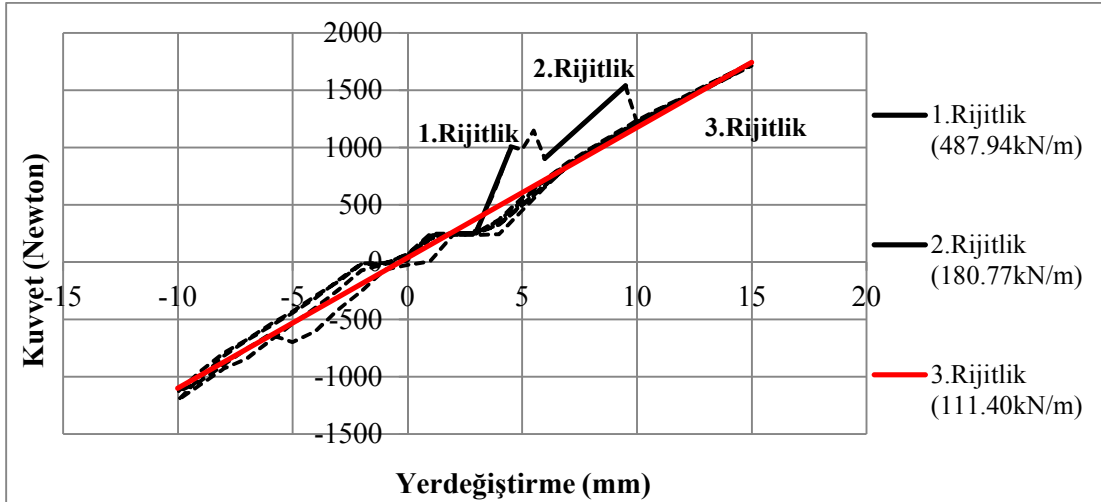
Şekil 4.5: Deneş_1 kayma kilidi takılı yay kutusunun eksenel yükleme deneş sonucu



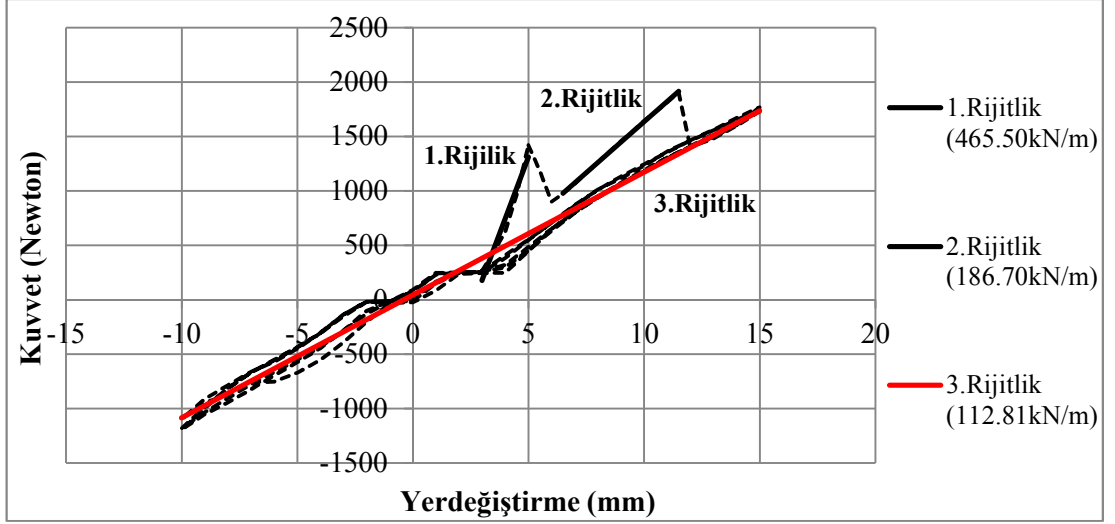
Şekil 4.6:Deney_2 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yükleme deneyi sonucu



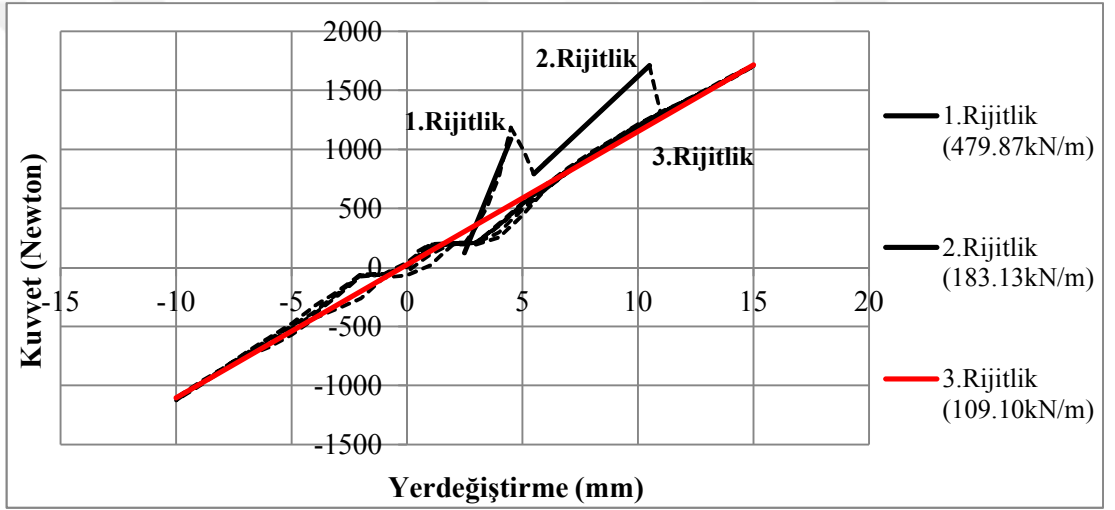
Şekil 4.7:Deney_3 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yükleme deneyi sonucu



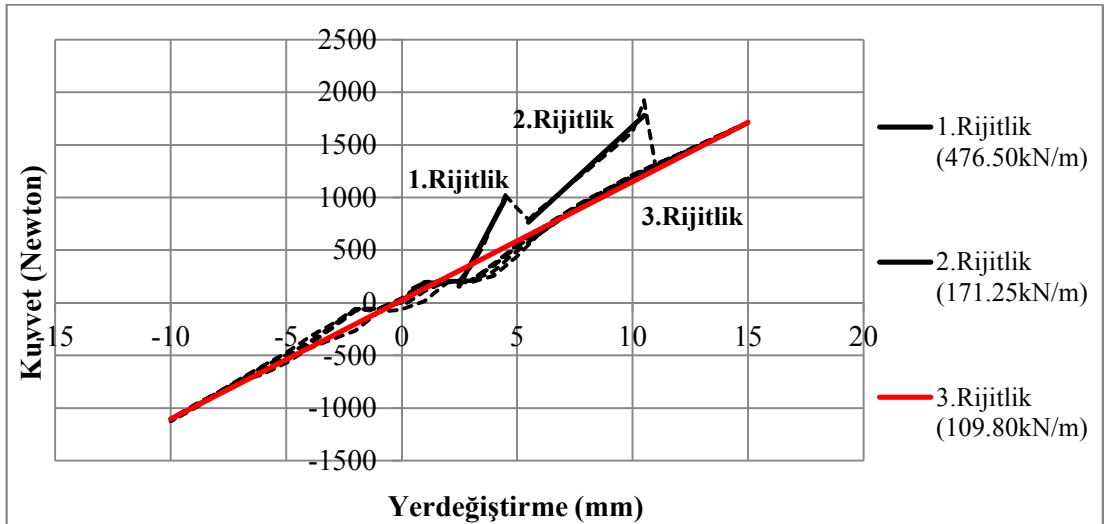
Şekil 4.8:Deney_4 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yükleme deneyi sonucu



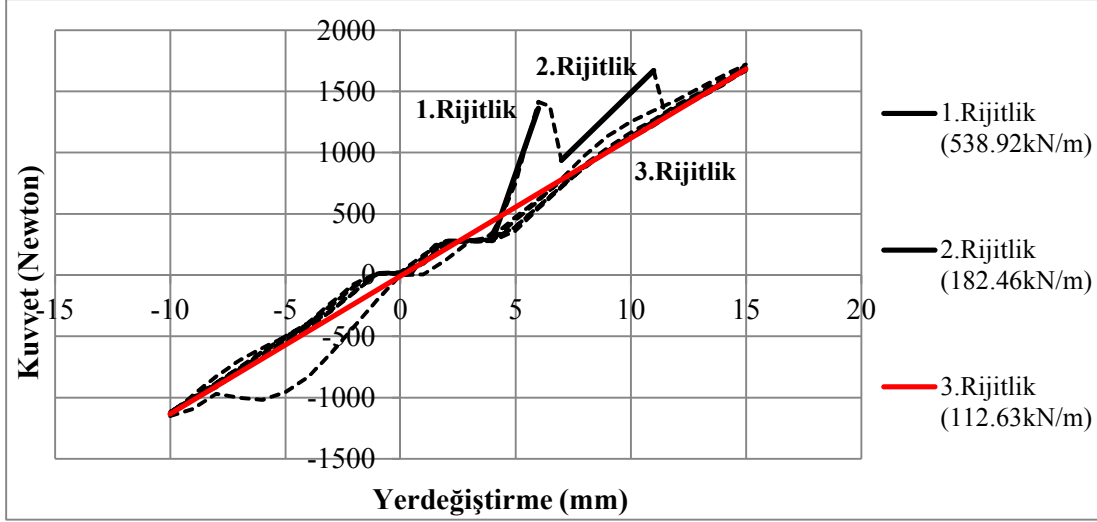
Şekil 4.9:Deney_5 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yüklemeye deneyi sonucu.



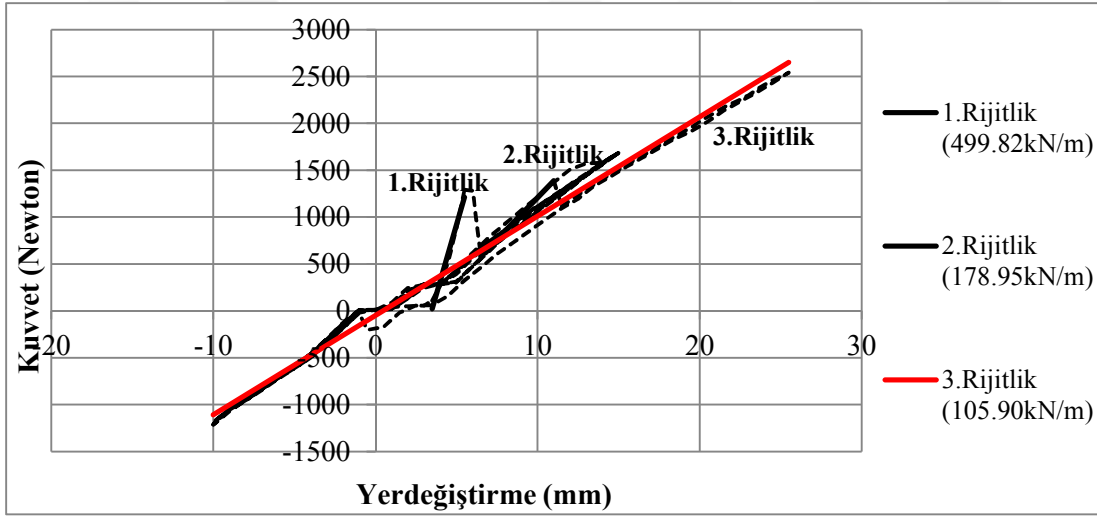
Şekil 4.10:Deney_6 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yüklemeye deneyi sonucu.



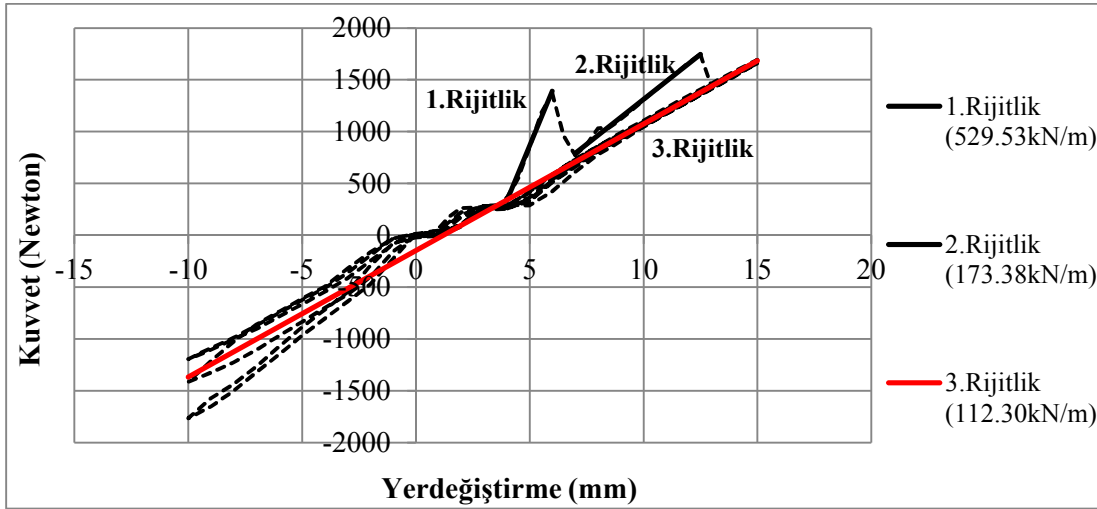
Şekil 4.11:Deney_7 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yüklemeye deneyi sonucu.



Şekil 4.12: Deney_8 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yükleme deneyi sonucu.



Şekil 4.13: Deney_9 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yükleme deneyi sonucu.



Şekil 4.14: Deney_10 kayma kilidi takılı yay kutusunun aksenal yükleme deneyi sonucu.

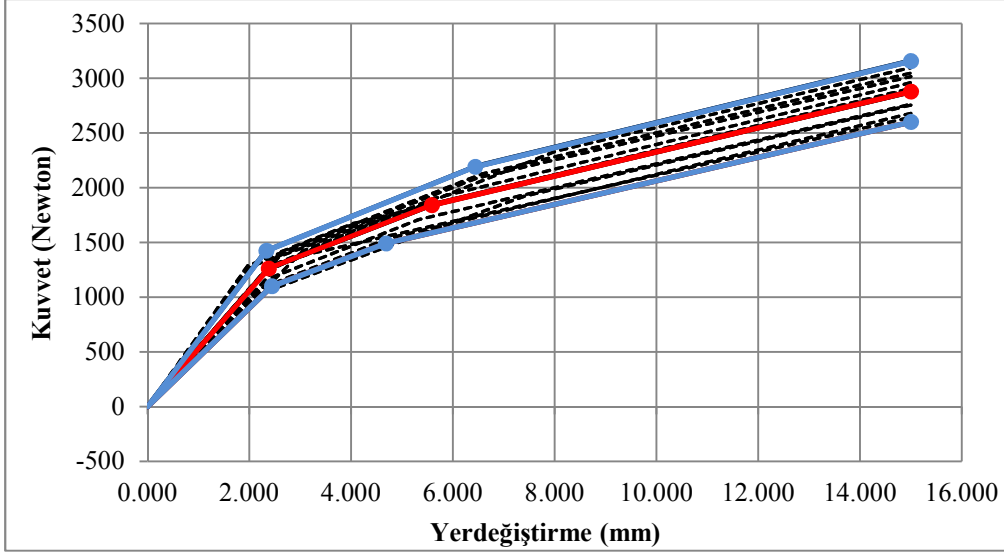
Yapılan 10 adet deneye ait özet bilgi Çizelge 4.1’de ve ortalama rijitlik değerleri de Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgelerde bu değerlere ait ortalama ve standart sapma değerleri mevcuttur. Elde edilen sonuçlardan hareketle %90 gerçekleşme olasılığı olan değerler de hesaplanmıştır. Şekil 4.15’de çizelgedeki değerlerin grafiksel gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.1: İyileştirilmiş yay kutusu HSS kırım yükleri özet çizelgesi.

DENEY NO	HSS KIRILMA YÜKLERİ (N)	
	1.Kırılma Yüğü	2.Kırılma Yüğü
Deney_1	1285	2332.50
Deney_2	1287.50	2127.50
Deney_3	1273	2087.50
Deney_4	1078.75	1537.50
Deney_5	1420	1905
Deney_6	1185	1707.50
Deney_7	1020	1920
Deney_8	1415	1670
Deney_9	1290	1387.50
Deney_10	1372.50	1745
Standard_Sapma	126.80	273.60
Ortalama	1262.70	1842
Ort.+1.28*Stand._Sapma	1425	2192.30
Ort.-1.28*Stand._Sapma	1100.40	1491.70

Çizelge 4.2: İyileştirilmiş yay kutusu aksenal rijitlikleri özet çizelgesi.

DENEY NO	ORTALAMA RİJİTLİKLER (kN/m)		
	1.Rijitlik	2.Rijitlik	Yay Kutusu Rijitliğı
Deney_1	532.64	186.87	109.60
Deney_2	653.69	182.35	109.42
Deney_3	637.02	182.02	109.02
Deney_4	487.94	180.77	111.40
Deney_5	465.50	186.70	112.81
Deney_6	479.87	183.13	109.10
Deney_7	476.50	171.25	109.80
Deney_8	538.92	182.46	112.63
Deney_9	499.82	178.95	105.90
Deney_10	529.53	173.38	112.30
Standart Sapma	62.49	4.83	2.02
Ortalama	530.14	180.79	110.20
Ort.+1.28*Std_Sapma	610.13	186.97	112.78
Ort.-1.28*Std_Sapma	450.15	174.60	107.61



Şekil 4.15: Düşey MTS altında yapılan deneylerin grafiksel gösterimi.

4.2.1. Deney sonuçlarının analitik çözüm ile karşılaştırılması

Yay kutusuna kayma kilidi olarak iki taraftan HSS tipi çelikler eklendiğinde, yay kutusunda ilk kırılma gerçekleşene kadarki eksenel rijitlik denklem 4.1, ikinci kırım olana kadarki rijitlik de denklem 4.2 ve yay grupları devreye girdiğinde ise yay kutusunun rijitliği denklem 4.3’de verilen ifadeler ile elde edilebilir.

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{k_{HSS}} + \frac{1}{k_{HSS}} \rightarrow K_1 = \frac{k_{HSS}}{2} \quad (4.1)$$

$$\frac{1}{K_2} = \frac{1}{k_{HSS}} + \frac{1}{k_{yay}} \quad (4.2)$$

$$\frac{1}{K_3} = \frac{1}{k_{yay}} + \frac{1}{k_{yay}} \rightarrow K_3 = \frac{k_{yay}}{2} \quad (K_3 : \text{Yay grubunun eksenel rijitliği}) \quad (4.3)$$

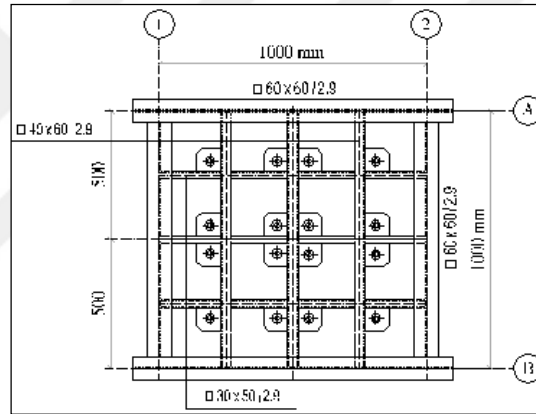
Çizelge 4.3: Analitik sonuçlar ile deney sonuçlarının ortalamalarının karşılaştırılması.

	Analitik Sonuç (kN/m)	DeneySEL Sonuç (kN/m)	Fark (%)
1. Rijitlik	592.50	530.14	10.52%
2. Rijitlik	185.55	180.79	2.57%
3. Rijitlik	110	110.20	0.18%

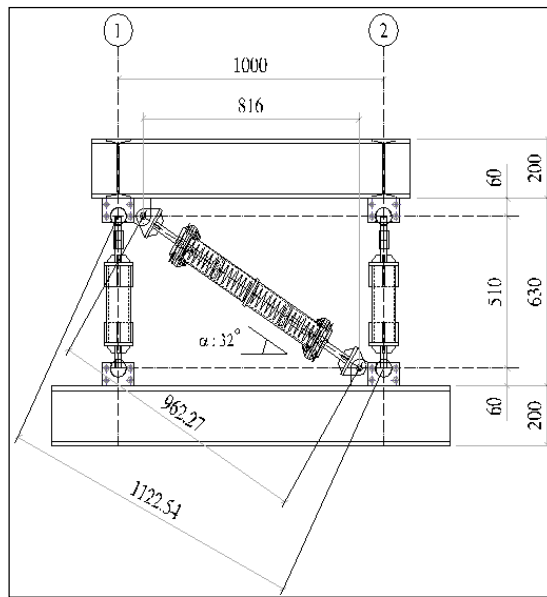
Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi, dENEYSEL sonuçlar ile analitik hesapların sonuçları karşılaştırıldığında maksimum %10.52’lik bir fark bulunmaktadır. Bu fark kabul edilebilir sınırlar içindedir.

5. KAYMA KİLİDİ TAKILI ÇAPRAZ YAY KUTULARININ SİSMİK İZALATÖR KATINA EKLENMESİ

Karayel ve diğ. (2016) tarafından oluşturulan $\frac{1}{4}$ ölçekli sismik izolasyon katı kullanılmıştır. Bu çalışmada izolatör katında bulunan çapraz yay gruplarına kayma kilitleri takılarak, kayma kilitlerinin düzgün bir şekilde çalıştığı gösterilmiştir. İzolatör katına ait plan ve kesit çizimleri sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmiştir. İzolatör katını oluşturan çelik döşeme kirişlerinin toplam ağırlığı 129kg'dır.



Şekil 5.1: İzolatör katı planı.



Şekil 5.2: A aksı izolatör katı kesiti.

Deneylerde öncelikle izolatör katı üzerinde ilave kat eklenmeden yarı statik deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra iki katın yükü izolatör katına eklenerek yarı statik ve dinamik deneyler yapılmıştır.

5.1. Kayma Kilidi Olarak Kullanılan HSS Tipi Çelik Çaplarının Belirlenmesi

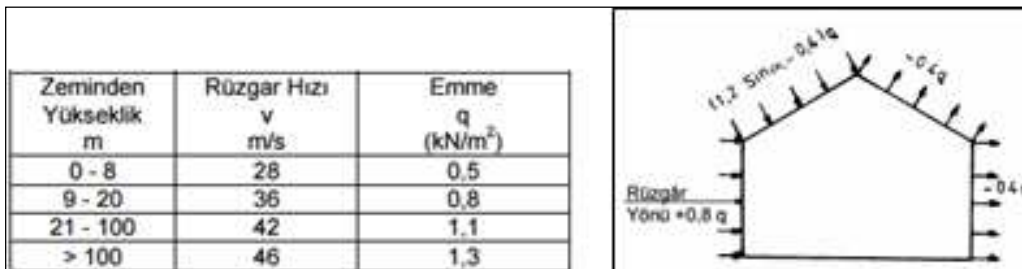
Kayma kilidi olarak kullanılan HSS tipi çeliklerin çapı, yapıya etkiyecek yüklerden dolayı çapraz yay kutularında oluşacak kuvvete göre belirlenecektir. Tasarım aşamasında farklı durumlar göz önünde tutulabilir. Bunlar, rüzgar yükleri ve düşük genlikli yer hareketleridir.

Yapıya etkiyecek yükler belirlendikten sonra, iteratif bir işlemle uygun çaptaki HSS tipi çeliklerin çapı seçilebilir. Başlangıçta kayma kilidi olarak bir HSS tipi çelik çapı seçilir. Bu çapa karşı gelen ve Çizelge 3.15’de verilen deneysel sonuçlardan yay kutusunun rijitliği alınır. Bu rijitlik değerleri dikkate alınarak yapıya rüzgar yükleri ve küçük genlikli yer hareketi etkililir. Yay kutularında oluşacak iç kuvvetler belirlenir. Bulunan bu iç kuvvetlere göre kayma kilidi çapları güncellenir. Yay kutularının eksenel rijitlikleri değişeceğinden yapılan analiz tekrarlanmalıdır. Hesap, iç kuvvetler değişmeyene kadar sürdürülür.

5.1.1. Rüzgar yüklerini göz önünde bulundurarak HSS tipi çeliklerin seçimi

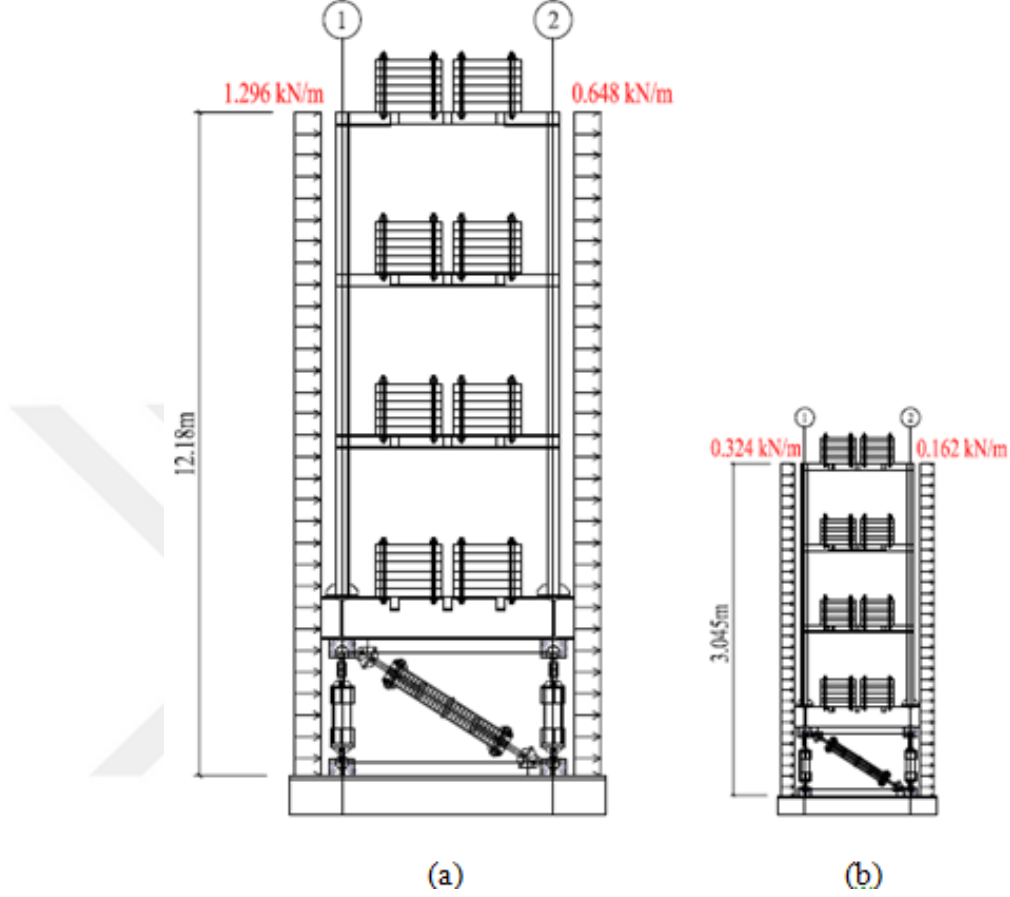
Rüzgar yükleri için Türk Standardı-498 “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” şartnamesinde önerilen yüklere göre çapraz yay kutusunda oluşacak kuvvetler bulunmuştur.

Deney numunesi olarak kullanılmakta olan ¼ ölçekli numuneneye karşı gelen prototip yapı için TS-498’de verilen kurallar uygulanmıştır.



Şekil 5.3: TS-498’e göre planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımı.

Yük dağılımları Şekil 5.4.a'da verilmiştir. TS-498'e göre yapı yüksekliği 9~20m aralığında olduğundan, rüzgar hızı (v) 36m/s ve emme(q) 0.8kN/m² olarak Şekil 5.3'den alınmıştır.



Şekil 5.4.a: Deney numunesinin gerçek boyutlarına etkiyecek olan taşıyıcı sistem doğrusundaki rüzgar yükleri dağılımları.

Şekil 5.4.b: 1/4 oranında hazırlanmış deney numunesine etkiyecek olan taşıyıcı sistem doğrusundaki rüzgar yükleri dağılımları.

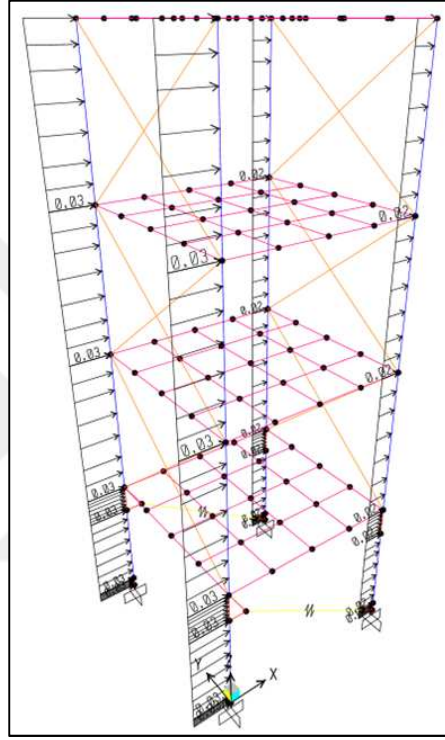
1/4 ölçekli deney numunesine etkiyecek olan rüzgar yükleri Çizelge 1.2'de verilen çarpım faktörlerine göre;

$$\text{Basınç (1.296kN/m)} \rightarrow 1.296 * 4(\text{boyut}) / 16(\text{kuvvet}) = 0.324 \text{ kN/m}$$

$$\text{Emme (0.648kN/m)} \rightarrow 1.296 * 4(\text{boyut}) / 16(\text{kuvvet}) = 0.162 \text{ kN/m olarak elde edilmiştir.}$$

Deney numunesi, sonlu elemanlar yöntemini kullanan (SAP2000) yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir, Şekil 5.5.

Başlangıçta yay kutusu rijitliği seçilirken, kayma kilidi olarak 1.5mm çapta HSS tipi çelik kullanılmıştır. Bu durum için Çizelge 4.2'den 530.14kN/m rijitliği çekilmiştir. Bu rijitlik değeri kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir ve yay kutusunda oluşan kuvvet 1829 N olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de 1.5mm çaplı HSS tipi çelik için 1.kırılma yükü 1262.7 N olarak belirlendiğinden, yay kutularında kullanılacak HSS çelik çapı arttırılacaktır. Takip eden adımda arttırılmış HSS çapına göre yay kutusunun rijitliği değiştirilerek hesap tekrarlanmıştır.



Şekil 5.5: Deney numunesi modeli ve etkililmiş olan rüzgar yükleri.

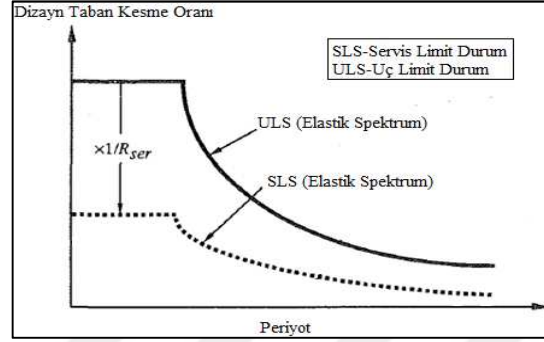
5.1.2 Küçük genlikli yer hareketlerinden kaynaklanan yükler

Küçük genlikli yer hareketleri göz önünde bulundurularak yapılacak tasarımda, servis deprem yükleri veya insanların titreşimleri algılama seviyelerine göre seçilmiş yükler kullanılacaktır.

5.1.2.1. Servis deprem yükleri

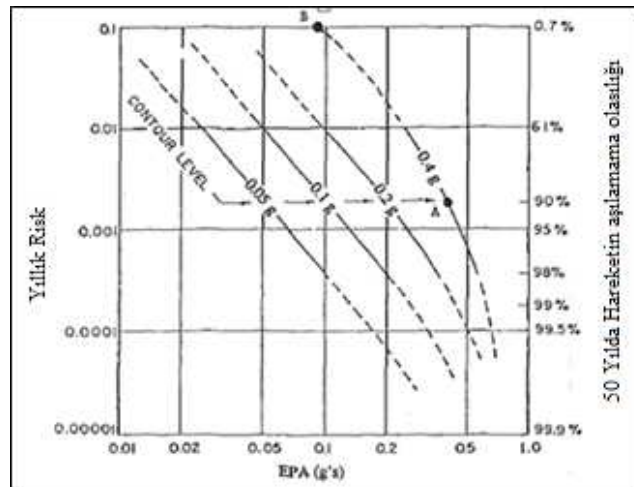
Küçük genlikli yer hareketlerinde sistemin taban izolasyon rijitliğiyle salınım yapmaması için, bir eşik tanımlanması gerekmektedir. Bu eşğin altında sistemin görel olarak rijit, üzerinde ise görel olarak yumuşak davranış sergilemesi sağlanacaktır.

Chia-Ming Uang ve Bertero (2012) binalara etkiyen yer ivmesini en büyük limit durum ve servis limit durumu olarak, UBC 1988 (Uniform Building Code, 1988) ve BSL 1981 (Building Standard Law, 1981) şartnameleri ile Algermissen ve Perkins (NEHRP, 1988)'in çalışmalarından karşılaştırmıştır. Şekil 5.6'da, UBC 1988'e göre deprem riski yüksek bölgelerde servis ve en büyük limit durumlarının gösterildiği tasarım spektrumu verilmiştir.



Şekil 5.6: Servis ve en büyük limit durumları tasarım spektrumu.

Bu spektruma göre, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan limit durumda 0.4g'lik bir maksimum yer ivmesi değeri tanımlanmaktadır. Servis limit durumu için BSL 1981'de önerilmekte olan 5 azaltma faktörü (R_{ser}) kullanıldığında 0.08g'lik bir ivme değeri elde edilmektedir. NEHRP de, olasılık durumları dikkate alınarak belirlenen servis ve en büyük limit durum değerlerine bakıldığında 50 yılda aşılmama olasılığı %90 olan maksimum yer ivmesi değeri Şekil 5.7'de 0.4g olarak görülmektedir. Servis limit durumu için, yılda bir gerçekleşme olasılığı %10 olan bir risk durumu seçildiğinde 0.08g değerinde bir ivmeye ulaşılmaktadır, (Şekil 5.7).

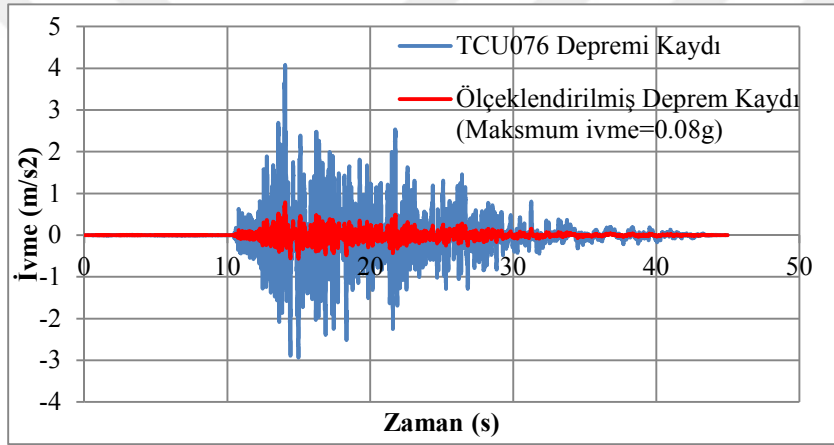


Şekil 5.7: Olasılık ve yıllık risk durumlarına karşı gelen etkin maksimum ivme değerleri (NEHRP 1988).

Bu çalışmalardan hareketle, 0.08g'lik maksimum yer ivmesi servis deprem yükü olarak kabul edilmiştir.

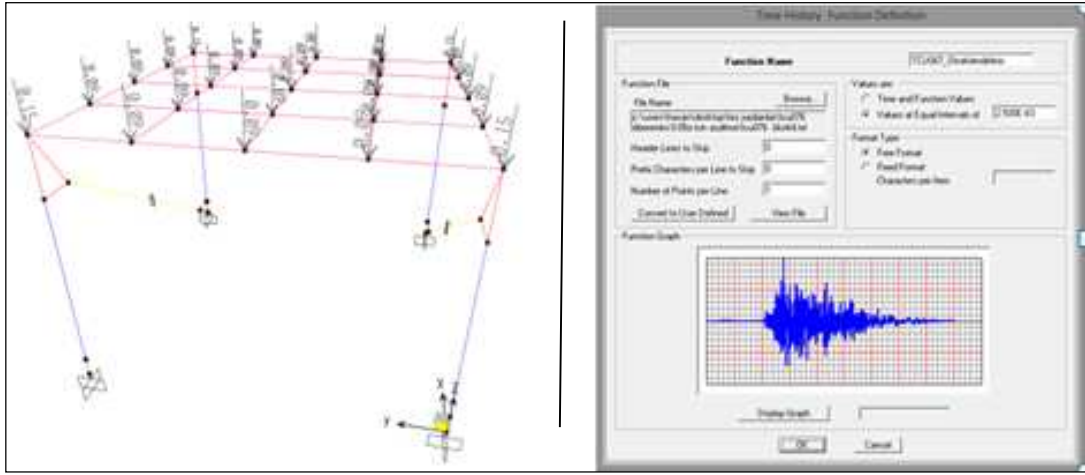
5.1.2.1.1 Hesap modeline servis depreminin etkililmesi

Karayel ve diğ. (2016) çalışmasında kullanılan deprem kayıtlarından biri olan Chi-Chi, Taiwan, 1999 en büyük ivme genliği 0.08g olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Chi-Chi, Taiwan, 1999 TCU076 depremin maksimum ivme değeri olan 4.079m/s^2 ($0.4158 \times g$)'lik değeri 0.1924 katsayısı ile çarpılarak 0.7848 m/s^2 ($0.08 \times g$)'lik maksimum ivmeye sahip bir deprem kaydına dönüştürülmüştür. Şekil 5.8'de TCU076 deprem kaydı ile servis deprem kaydı olarak kullanılacak ölçeklendirilmiş kayıt verilmiştir.



Şekil 5.8: TCU076 Deprem ivme kaydı ve ölçeklendirilmiş servis depremi kaydı.

Tasarım aşamasında, deney numunesi üzerinde Karayel ve diğ. (2016) çalışmasına göre seçilmiş iki kat yükünü temsil eden 24.36kN luk düşey yükün bulunduğu düşünülmüştür. İlk analizde, yay kutularına kayma kilidi olarak 1.5mm çaplı HSS tipi çeliklerin eklendiği varsayımı ile Çizelge 4.2'den alınan 530.14kN/m lik rijitlik değeri, yay kutusu aksenal rijitliği olarak ilgili elemanlara atanmıştır, Şekil 5.9a. Doğal titreşim periyodu 0.381 sn olan yapı modeli, %2 sönüm oranı ve ikinci mertbe etkiler de göz önünde bulundurularak ölçeklendirilmiş TCU076 deprem kaydı (Şekil 5.9b) etkisinde zaman tanım alanında analiz edilmiştir.



a) Deneysel numunesinin
SAP2000 hesap modeli

b) Hesap modeline atılan
ölçeklendirilmiş deprem kaydı

Şekil 5.9: Deneysel numunesinin SAP2000 modeli.

Analiz sonucunda yay kutularında oluşan en büyük kuvvet 1.588kN olarak elde edilmiştir, Çizelge 5.1.

Çizelge 5.1: Analiz sonucu yay kutularında oluşan kuvvet değerleri.

Eleman	Uc	Max/Min	P
			kN
1	I	Max	0.1588
1	J	Max	0.1588
1	I	Min	-0.0962
1	J	Min	-0.0962
2	I	Max	0.1588
2	J	Max	0.1588
2	I	Min	-0.0962
2	J	Min	-0.0962

Bu değer Çizelge 4.1’de 1.5mm çaplı HSS tipi çeliklerin kırılma yükü ile karşılaştırılmıştır. Seçilen çap 1.2627kN taşıyabildiğinden ($1.588\text{kN} > 1.2627\text{kN}$), çapın büyütülmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılacak deneysel çalışmada sistemin genel davranışı inceleneceğinden, farklı çapta HSS çelik kullanılarak tekrar hesap yapılmamıştır. Gerekli HSS çapı belirlenmek istediğinde, Çizelge 3.15’de yer alan daha büyük çaplı çeliklerin rijitlik değerleri denklem 4.1 de yerine konularak yay kutusunun başlangıç rijitliği belirlenerek, bu değer SAP2000 modelinde yay kutularını temsil eden link elemana atanacaktır.

Ardışık yaklaşıma dayalı analiz sonucunda, yay kutularında oluşan en büyük kuvvet bulunarak, seçilen HSS tipi çelik çapının birinci kırılma yükü ile karşılaştırılır ve uygunluğu kontrol edilir.

5.1.2.2. İnsanların algılama seviyelerine göre titreşim genlikleri

Küçük genlikli yer hareketlerinden dolayı yapılarda oluşan salınımlar ivme büyüklüklerine bağlı olarak insanlar üzerinde olumsuz etkiler yapabilir. Bu nedenle insanların düşük genlikli yer hareketlerinden kaynaklı yapı titreşimlerini algılama seviyeleri ile ilgili yapılmış olan Adnan ve Wei (2003) çalışması ve Japon Meteoroloji Ajansının sismik yoğunluk ölçeklendirme çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmalarda insanların titreşimleri algılayabilmelerinde en baskın parametrenin ivme olduğu söylenmektedir. Ayrıca insanların hangi aralıktaki ivme değerlerini algılayarak nasıl tepkiler verdiğine dair sonuçlar da bu çalışmalarda verilmiştir. Çizelge 5.2’de ivme değerlerine göre insanların hareketi algı seviyeleri ve insanlar üzerindeki etkileri verilerek yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Çizelge 5.2: İnsanların yapı içerisinde oluşan hareketleri algı seviyeleri.

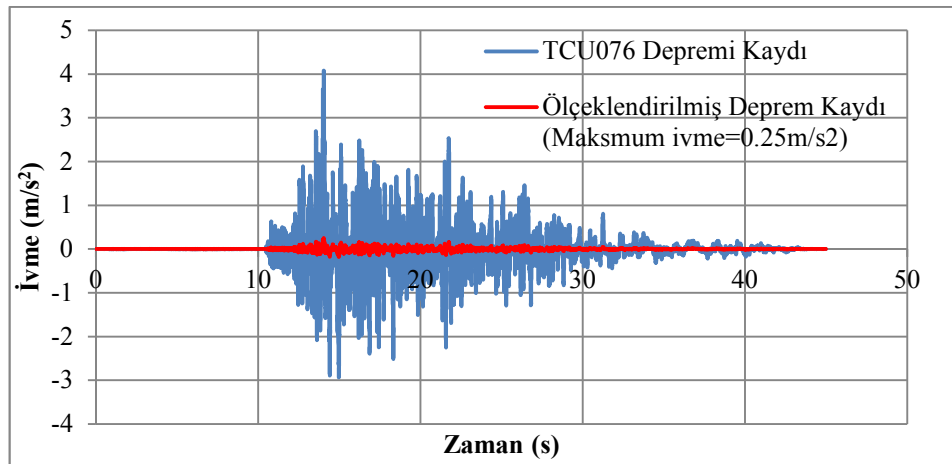
Aralık	İvme (m/s ²)	Etkiler
1	< 0.05	İnsanlar hareketi algılayamazlar.
2	0.05-0.10	Hassas insanlar hareketi algılayabilir ve asılı objelerde sallanmalar gözlenebilir.
3	0.10-0.25	İnsanların çoğu hareketi algılayabilir ve masa üzerinde yapılan çalışmaları olumsuz etkileyerek uzun süreli etkisi halinde insanlarda rahatsızlık oluşturur.
4	0.25-0.40	Masa üzerinde çalışma yapmak neredeyse imkânsızdır, ancak yapı içerisinde insanların dolaşması mümkündür.
5	0.40-0.50	İnsanlar çok kuvvetli olarak hareketi algılar ve yapı içerisinde yürümek çok zorlaşır.
6	0.50-0.60	İnsanların yapı içerisindeki yürüyüşleri çok daha zorlaşır.
7	0.60-0.70	İnsanların yapı içerisinde yürüyemez.
8	> 0.85	Yapı içerisindeki eşyalar veya objeler devrilir ve insanlar yaralanabilir.

Çizelge 5.2’de görüldüğü üzere 0.05 m/s² ye kadar ivme büyüklüğünü insanlar algılayamamaktadır.

Karayel ve diğ. (2015b) iki farklı deney düzeneği üzerinde çalışmalar yapmıştır. İlk olarak 3 katlı çelik çerçeve sistemi sismik izolatör katı olmadan sarsma masasına sabit bir şekilde bağlanarak çeşitli yer ivmesi kayıtları uygulanmıştır. Uygulanan yer ivmesi genliği üst katlara doğru çıktıkça daha büyük genlikli ivmeler doğurmaktadır. Ardından 3 katlı çelik çerçeve sistemin altına çapraz yay gruplarından oluşmuş sismik izolasyon katı eklenerek aynı yer ivme kayıtları etkilmiştir. İzolasyon katının üzerinde ivme kayıtlarının önemli ölçüde küçüldüğü görülmüştür.

Bu tez çalışması kapsamında sismik yalıtım katını oluşturan çapraz yay kutularına kayma kilitleri eklendiğinden yalıtım katı görel olarak yüksek bir yatay rijitliğe sahip olmuştur. Görel olarak büyük yatay rijitlikten dolayı, ivme genliklerinin üst katlara doğru artması beklenmektedir. Bu sebeple insanların algılayabilecekleri ivme sınırları dikkatlice belirlenmiştir. Yer hareketinden dolayı ivme değerleri insanları rahatsız edecek düzeylere ulaştığında, kayma kilidi devre dışı kalarak yay gruplarının çalışmasına izin verilmektedir. Böylece üst katlara aktarılan ivme genlikleri küçülecektir.

İnsanların çoğunun hareketi algıladığı duruma karşı gelen 0.25m/s^2 lik yer ivmesi eşik değer olarak seçilmiştir. Seçilen bu ivme değerine göre üst katlarda oluşacak ivme büyüklüğü artacağından, insanlar üzerindeki etkisi masa çalışmalarının zorlaştığı aralığa gireceğinden, 0.25m/s^2 lik ivme değerinden sonra yay kutularına takılan HSS tipi çeliklerin kırılarak devre dışı kalması öngörülmüştür. Bu sebeple önceki bölümde kullanılan TCU076 deprem kaydı, 0.0612857 katsayı ile çarpılarak 0.25m/s^2 'lik maksimum yer ivmesi değeri elde edilmiştir, Şekil 5.10.



Şekil 5.10: 0.25m/s^2 lik en büyük ivme değerine göre TCU076 Deprem kaydının ölçeklendirilmesi.

Ölçeklendirilmiş deprem kaydı SAP2000 modeline girilerek zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Analiz sonucu yay kutularında maksimum 0.506kN'luk kuvvet olduğu görülmüştür, Çizelge 5.3.

Çizelge 5.3: SAP2000 analiz sonucu.

Eleman	Uc	Max/Min	P
			kN
1	I	Max	0.506
1	J	Max	0.506
1	I	Min	-0.306
1	J	Min	-0.306
2	I	Max	0.506
2	J	Max	0.506
2	I	Min	-0.306
2	J	Min	-0.306

Bulunan 0.506kN'luk kuvvet 1.5mm çaplı HSS tipi çelik takılı yay kutusunun birinci kırılma yükü 1.2627kN değerinden oldukça küçüktür. 0.25m/s² lik ivme değerinden sonra yay gruplarının devreye girebilmesi için daha küçük çaplı bir HSS çapı seçilmesi gerekmektedir.

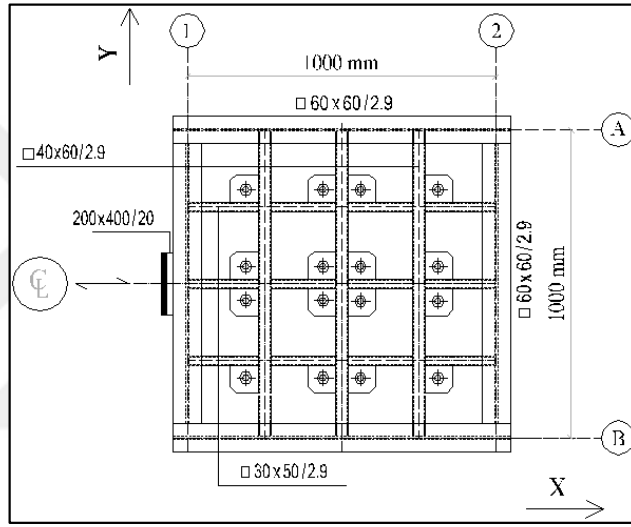
Yukarıda sıralanan servis deprem yükleri, rüzgâr yükleri ve insanların hissedebilecekleri sarsıntı durumları için, tasarım aşamasında kayma kilidi olarak kullanılacak HSS tipi çelik çapı değiştirilebilir. Bu çalışmada, kayma kilidi olarak HSS tipi çelikler kullanıldığında sistemin düzgün çalıştığını göstermek olduğundan yeni çözüm yapılmamıştır.

5.2 İzolatör Katı Üzerinde İlave Kat Yokken Gerçekleştirilen Yarı-Statik Deneyler

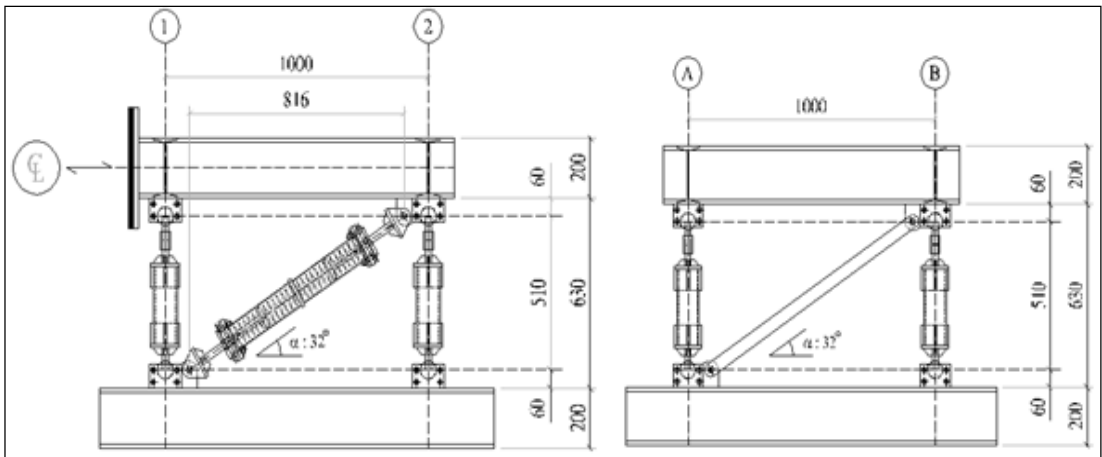
Kayma kilidi olarak 1.5mm çaplı HSS tipi çeliklerin kullanıldığı yay kutularından oluşan sismik izolasyon katı yatay konumlu MTS hidrolik verenine bağlanmıştır. Farklı yerdeğiştirme eşiklerinde sismik izolasyon katının bütünsel davranışı deneysel olarak irdelenmiştir.



Şekil 5.11: İzolator katının yatay hidrolik veren (MTS)'e bağlı görüntüsü.



Şekil 5.12: İzolator katı planı.



(a) İzolator katı A-aksı kesiti

(b) İzolator katı 2-aksı kesiti

Şekil 5.13: İzolator katı kesitleri.

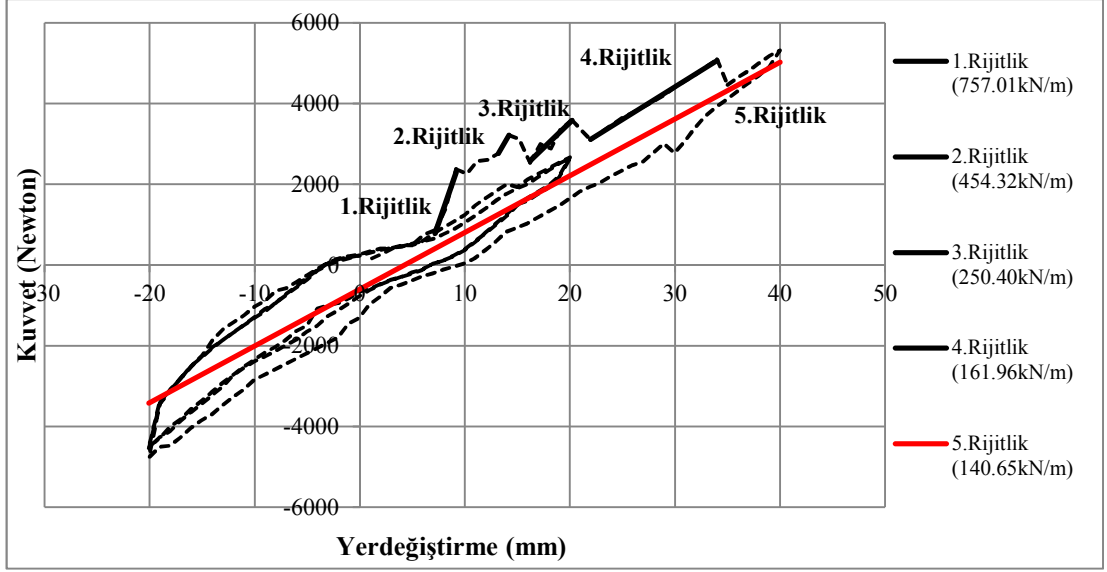
5.2.1 Deney düzeneğinin hazırlanması

MTS hidrolik vereni, izolasyon katını Şekil 5.12'deki plan görüntüsünden de görülebileceği gibi, X doğrultusunda iteceğinden yay kutuları bu doğrultuda yerleştirilmiştir. Deney numunesinin hidrolik veren hareket doğrultusuna dik doğrultuda büyük yerdeğiştirme yapmasını engellemek için Y doğrultusunda rijit çelik çaprazlar kullanılmıştır. İlave çelik çaprazların hareket doğrultusunda rijitlik oluşturmaması için, bu doğrultuda serbest hareket edebilmelerine dikkat edilmiştir. Şekil 5.11 de deney düzeneği görülmektedir. İzolatör katını oluşturan çelik döşemelerin ağırlıkları 129kg'dır.

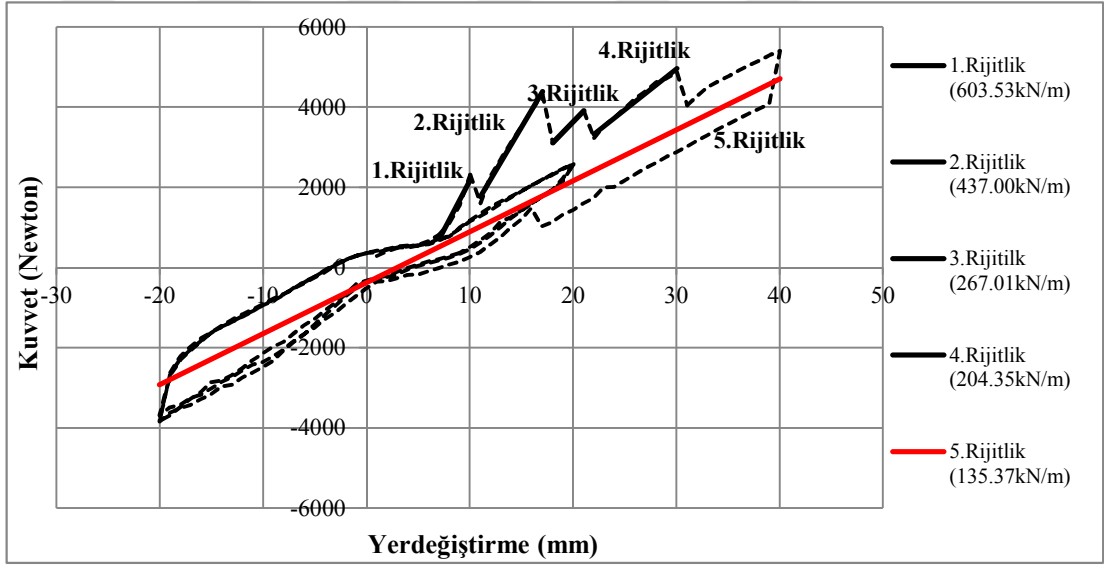
5.2.2 Deney sonuçları ve deney gözlemleri

Toplam dört deney gerçekleştirilmiştir. Numunelere 40mm'ye kadar öteleme hareketi verilip HSS tipi çeliklerin kırılması gerçekleştirildikten sonra da ± 20 mm lik üç tam çevrim gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yerdeğiştirme protokolü, karşı gelen yük değerleri ve elde edilen rijitlik değerleri grafiksel olarak aşağıda verilmiştir. Yapılan deneylerde, kayma kilidi olarak kullanılan HSS tipi çeliklerin aynı anda kırılmadığı gözlemlenmiştir. HSS tipi çelikteki ilk kırılmadan sonra ikinci kırılmanın başka bir yay kutusunda gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu sebeple grafiklerde 5 farklı rijitlik değeri yer almaktadır. Birinci rijitlik değeri ilk HSS çeliği kırılana kadarki çerçeve yatay rijitliğini, ikinci rijitlik değeri ilk kırılmayı takip eden durumdaki yatay rijitliği temsil etmektedir. Tüm HSS çelik kırılmaları gerçekleştirildikten sonra yay gruplarının yatay rijitliği kalmıştır.

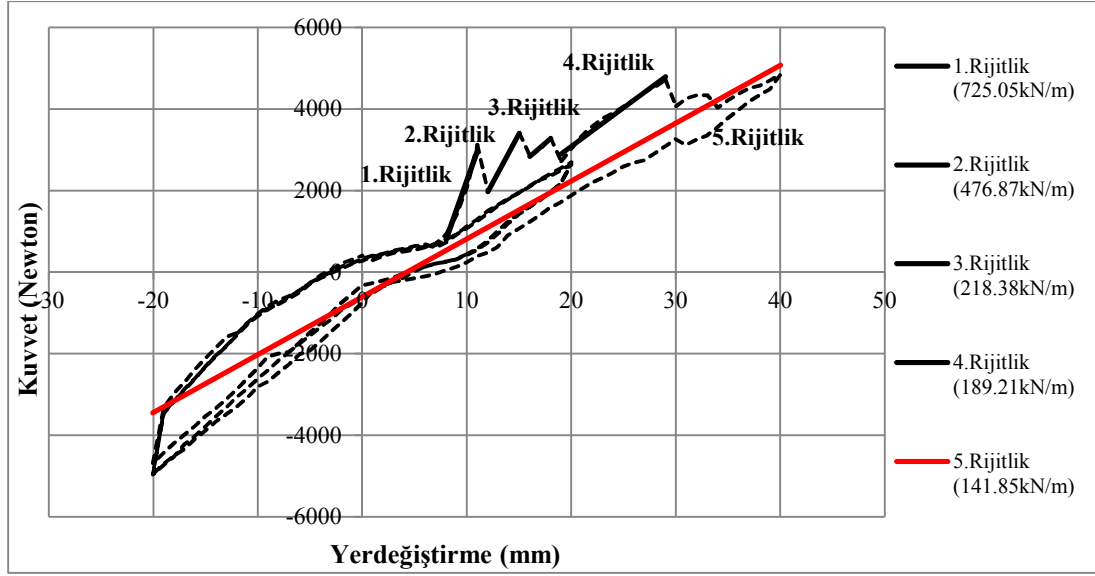
Deneyler boyunca, kayma kilidi olarak kullanılan HSS tipi çelikler kırıldıktan sonra sistemin çalışmasını engelleyici bir sıkışma mekanizması gözlemlenmiştir.



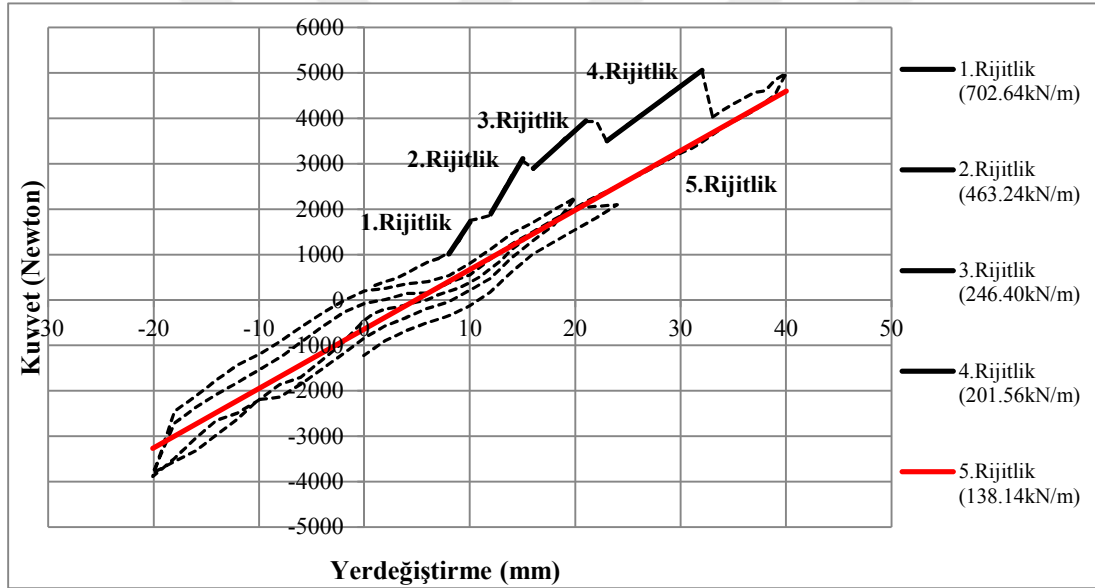
Şekil 5.14: Deney_1 kayma kilidi takılı yay kutularının sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.



Şekil 5.15: Deney_2 kayma kilidi takılı yay kutularının sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.



Şekil 5.16: Deneysel_3 kayma kilidi takılı yay kutularının sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.



Şekil 5.17: Deneysel_4 kayma kilidi takılı yay kutularının sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.

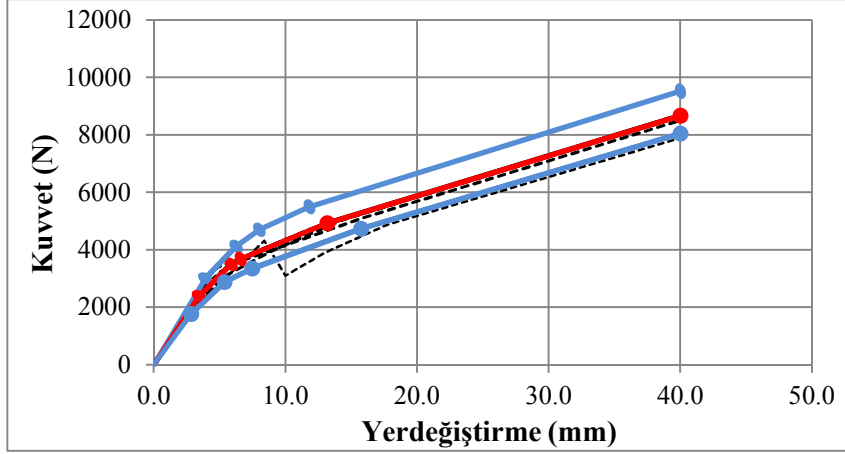
Yapılan dört deneye ait ortalama rijitlik değerleri Çizelge 5.4'de, kırılma yük değerleri de Çizelge 5.5'de verilmiştir. Çizelgelerde deneylerden elde edilen sonuçların ortalamaları ve standart sapma değerleri de mevcuttur. Şekil 5.18'de çizelgedeki değerlerin grafiksel gösterimi verilmiştir.

Çizelge 5.4: Sismik izolasyon katının rijitlik değerlerinin özet çizelgesi.

Deney No	Kırım Yok	1 HSS Kırıldığında	2 HSS Kırıldığında	3 HSS Kırıldığında	4 HSS Kırıldığında (Yay Grupları Çalıştığında)
	1.Rijitlik (kN/m)	2.Rijitlik (kN/m)	3.Rijitlik (kN/m)	4.Rijitlik (kN/m)	5.Rijitlik (kN/m)
Deney_1	757.01	454.32	250.40	161.96	140.65
Deney_2	603.53	437.00	267.01	204.35	135.37
Deney_3	725.05	476.87	218.38	189.21	141.85
Deney_4	702.64	463.24	246.40	201.56	140.51
Ortalama	697.06	457.86	245.55	189.27	139.60
Standart_Sapma	57.35	14.47	17.49	16.77	2.49
Ort.+1.28×Std_Sapma	770.47	476.38	267.93	210.73	142.79
Ort.-1.28×Std_Sapma	623.65	439.33	223.17	167.81	136.40

Çizelge 5.5: Sismik izolasyon katında kullanılan kayma kilitlerinin (HSS tipi çeliklerin) kırılma yükleri özet çizelgesi.

Deney No	Kırım Yükleri (N)			
	1.Yay Kutusu (A Başlığı)	2.Yay Kutusu (A Başlığı)	1.Yay Kutusu (B Başlığı)	2.Yay Kutusu (B Başlığı)
Deney-1	2370	3212.50	3590	5092.50
Deney-2	2315	4315	3900	4865
Deney-3	3117.50	3410	3295	4712.50
Deney_4	1750	3065	3930	5035
Ortalama	2388.12	3500.62	3678.75	4926.25
Standart_Sapma	486.02	485.85	258.47	149.09
Ort.+1.28×Std_Sapma	3010.23	4122.51	4009.59	5117.08
Ort.-1.28×Std_Sapma	1766.02	2878.74	3347.91	4735.42



Şekil 5.18: Yay kutularında kayma kilidi bulunan sismik izolasyon katının deneysel sonuçlarının grafik gösterimi.

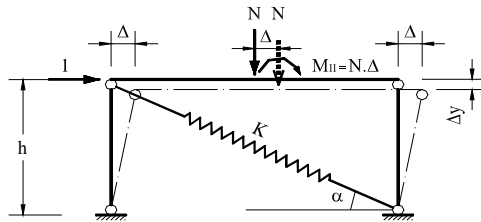
5.2.3 Deney sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması

Yay kutusuna kayma kilidi olarak iki ucundan HSS tipi çelikler eklendiğinde, yay kutusunun 1.kırılma olana kadarki aksel rijitliği denklem 4.1, ikinci kırılma olana kadarki rijitliği denklem 4.2 ve yay grupları devreye girdiğinde ise yay kutusunun rijitliği denklem 4.3’de verilen ifadeler ile elde edilebilir.

Yay kutularına kayma kilitleri eklendiğinde sismik izolatör katının yatay rijitliği 2.mertebe etkileri ve yay kutularının eğim açısı (α) göz önünde alınarak denklem 5.2 ile hesaplanabilir. Sismik izolatör katının yatay rijitliği ($K_{x(1\sim5)}^I$), kayma kilidi takılı yay kutularının değişen rijitlikleri ($K_{1\sim5}$) ve eğim açısı (α) göz önünde bulundurularak denklem 5.1’deki gibi hesaplanabilir. İkinci mertebe etkileri de göz önünde bulundurulduğu takdirde denklem 5.2 kullanılmalıdır. Denklem 5.2’de bulunan (N/h) oranı düşey yüklerden kaynaklı ikinci mertebe etkisini ifade etmektedir (Wilson ve Habibullah, 1987).

$$K_{x(1\sim5)}^I = K_{1\sim5} * \cos^2\alpha \quad (5.1)$$

$$K_{x(1\sim5)}^{II} = K_{1\sim5} * \cos^2\alpha - \left(\frac{N}{h}\right) \quad (5.2)$$



Şekil 5.19: Yatayda 1 birim kuvvet etkilenen izolatör katı.

Sismik izolatör katının değişen yatay rijitlik değerleri kayma kilidi takılı yay kutularının rijitlikleri ($K_{1\sim5}$) değiştirilerek, yatayda 1 birim yükleme sonucu elde edilen yerdeğiştirme ($\Delta_{1\sim5}$) değerine göre denklem 5.3 ile de bulunabilir.

$$K_{x(1\sim5)} = \frac{1}{\Delta_{1\sim5}} \quad (5.3)$$

Çizelge 5.6: Analitik sonuçlar ile deney sonuçlarının ortalamalarının karşılaştırılması.

Yatay Rijitlik		Deneysel Sonuçlar (kN/m)	Analitik Sonuçlar (kN/m)	Fark
		$K_{x(1\sim5)} = 1/\Delta_{1\sim5}$	$K''_{x(1\sim5)} = K_{1\sim5} \times \cos^2 \alpha - (N/h)$	%
1.Rijitlik	Kırılma Yok	697.06	760.00	8.28%
2.Rijitlik	1 HSS Kırıldığında	457.86	508.66	9.99%
3.Rijitlik	2 HSS Kırıldığında	245.55	257.51	4.65%
4.Rijitlik	3 HSS Kırıldığında	189.27	206.75	8.45%
5.Rijitlik	4 HSS kırıldığında	139.60	156.00	10.52%

Elde edilen deneysel sonuçlar analitik sonuçlara ile karşılaştırıldığında en fazla 10.52%'lik bir farkın olduğu görülmektedir.

5.3 İzolatör Katı Üzerinde İki Katın Yükünün Bulunduğu Durumdaki Statik Deneyler

Uygulamada izolatör katının üzerinde üst katların yükleri olacağından, kayma kilitlerinin ve yay gruplarının beklenen şekilde çalıştığını göstermek üzere Karayel ve diğ. (2016) çalışmasında kullanılan kat yüklemelerinden iki katın yüküne karşı gelen ağırlık izolatör katının üzerine konulmuştur. Bu yüklerden dolayı ikinci merteye merteye etkilerin de daha fazla olması beklenmektedir. Deneyler sonucu elde edilen kayma kilitleri kırılma yükleri ve sistemin değişen rijitlik değerleri, analitik hesaplar sonucu bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır.

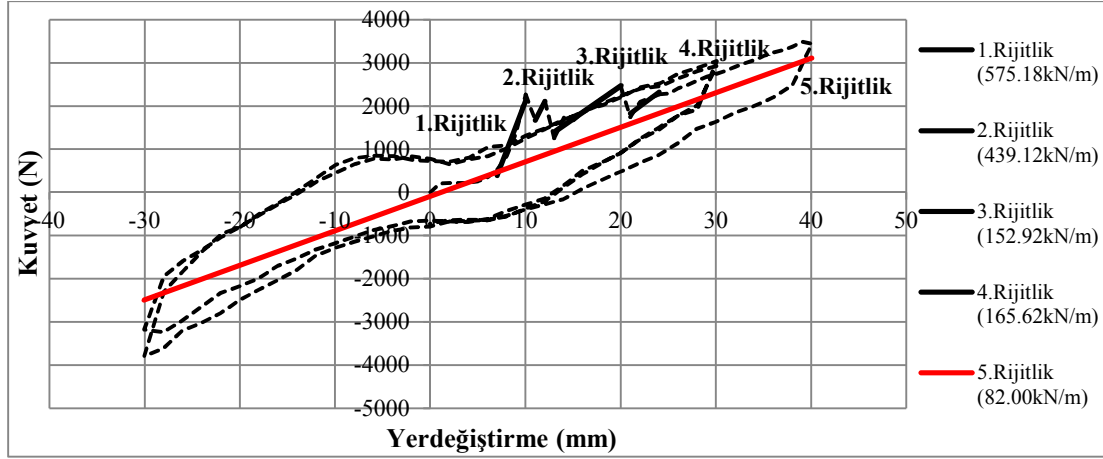


Şekil 5.20: İki kat yüklü izolatör katının MTS hidrolik veren'e bağlı itme-çekme deneyi.

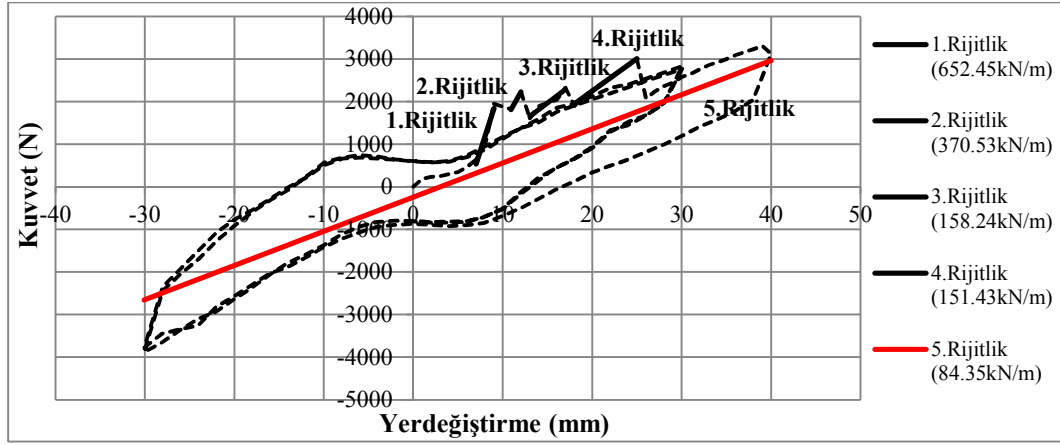
5.3.1 Deney düzeneğinin hazırlanması

Şekil 5.20'den anlaşılacağı gibi, çapraz yay kutuları hidrolik veren itme doğrultusunda yerleştirilmiştir. Dik doğrultudaki yerdeğişirmeleri engellemek üzere çelik çaprazlar kullanılmıştır. Şekil 5.21 ve 5.22 de izolasyon katının ölçüleri verilmiştir.

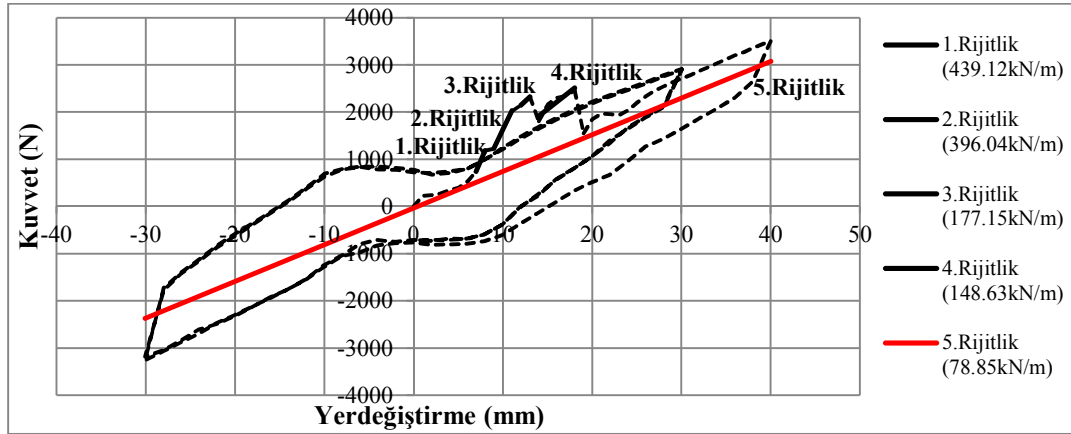
Karayel ve diğ. (2016) çalışmasında, izolatör katı üzerinde bulunan 1.katta 12 adet, 2.katta ise 9 adet çelik plaka kullanarak kat ağırlıklarını temsil etmiştir. Bu çalışmada ise iki katın toplam yükü olan 21 adet çelik plaka izolatör katı üzerine yerleştirilmiştir. Bir çelik plakanın ağırlığı 1.16kN olduğundan toplamda 24.36kN yük kullanılmıştır. İzolatör katının çelik döşeme ağırlıkları olan 1.29kN da eklendiğinde toplam düşey yük 25.65kN olmaktadır.



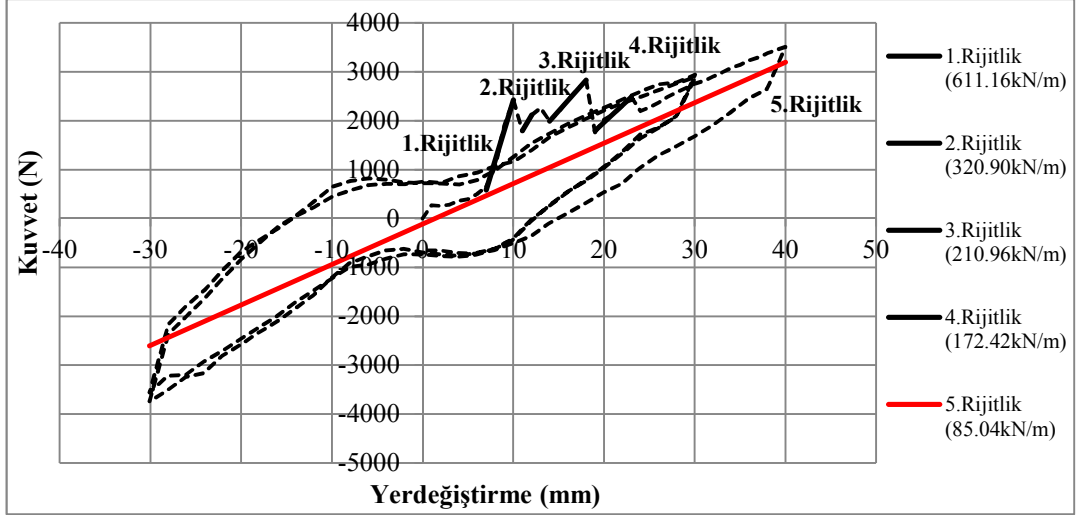
Şekil 5.23: Deney_1 kayma kilidi takılı yay kutularının 2 kat yüklü sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.



Şekil 5.24: Deney_2 kayma kilidi takılı yay kutularının 2 kat yüklü sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.



Şekil 5.25: Deney_3 kayma kilidi takılı yay kutularının 2 kat yüklü sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.



Şekil 5.26: Deney_4 kayma kilidi takılı yay kutularının 2 kat yüklü sismik izolatör katına eklenmesiyle elde edilen deney sonucu.

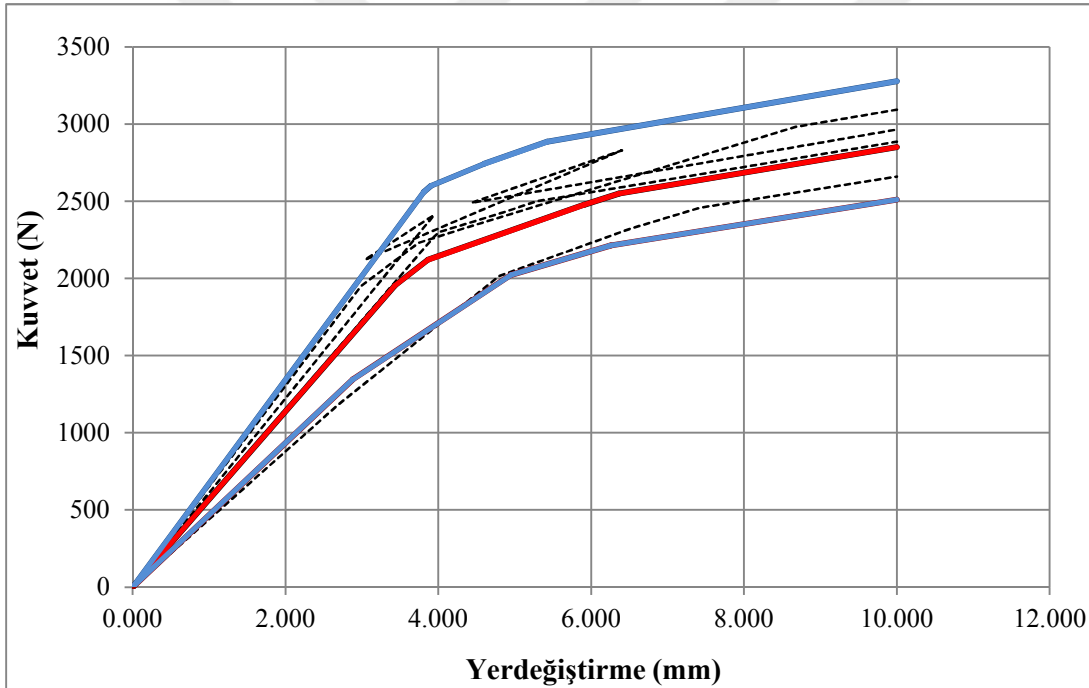
Çerçevenin şakülünde kalabilmesi için teraziler ile gözlemlenerek gerçekleştirilen dört deneye ait ortalama rijitlik değerleri Çizelge 5.7’de ve kırım yük değerleri de Çizelge 5.8’de verilmiştir. Şekil 5.27’de çizelgedeki değerlerin grafiksel gösterimi de verilmiştir.

Çizelge 5.7: Yay kutularında kayma kilidi bulunan 2 kat yüklü sismik izolatör katının deneyler sonucu elde edilen rijitlik değerlerinin özet çizelgesi.

Deney No	Kırım Yok	1 HSS Kırıldığında	2 HSS Kırıldığında	3 HSS Kırıldığında	4 HSS Kırıldığında (Yay Grupları Çalıştığında)
	1.Rijitlik (kN/m)	2.Rijitlik (kN/m)	3.Rijitlik (kN/m)	4.Rijitlik (kN/m)	5.Rijitlik (kN/m)
Deney_1	575.18	439.12	152.92	165.62	82.00
Deney_2	652.45	370.53	158.24	151.43	84.35
Deney_3	439.12	396.04	177.15	148.63	78.85
Deney_4	611.16	320.90	210.96	172.42	85.04
Ortalama	569.48	381.65	174.82	159.53	82.56
Standart_Sapma	80.07	42.79	22.73	9.84	2.42
Ort.+1.28×Std_Sapma	671.97	436.42	203.91	172.13	85.66
Ort.-1.28×Std_Sapma	466.98	326.88	145.73	146.92	79.46

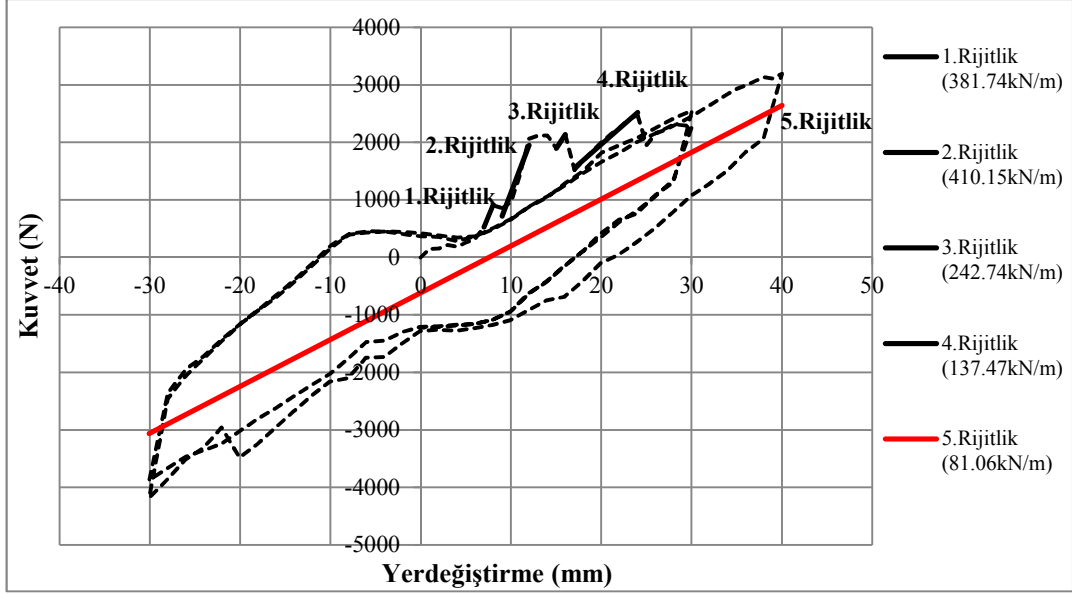
Çizelge 5.8: 2 kat yüklü Sismik izolatör katında bulunan yay kutularında kayma kilidi olarak kullanılan HSS tipi çeliklerinin deneyler sonucu elde edilen kırım yüklerinin özet çizelgesi.

Deney No	Kırım Yükleri (N)			
	1.Yay Kutusu (A Başlığı)	2.Yay Kutusu (A Başlığı)	1.Yay Kutusu (B Başlığı)	2.Yay Kutusu (B Başlığı)
Deney_1	2267.50	2110	2427.50	2270
Deney_2	1950	2230	2325	2980
Deney_3	1182.50	2017.50	2322.50	2457.50
Deney_4	2410	2120	2830	2490
Ortalama	1952.50	2119.38	2476.25	2549.38
Standard_Sapma	474.72	75.34	208.59	262.42
Ort.+1.28×Std_Sapma	2560.14	2215.81	2743.24	2885.27
Ort.-1.28×Std_Sapma	1344.86	2022.94	2209.26	2213.48



Şekil 5.27: Yay kutularında kayma kilidi bulunan 2 kat yüklü sismik izolatör katının deneysel sonuçlarının grafiksel gösterimi.

Aşağıda çerçevenin şakülünde olmamasından dolayı, başlangıçta tek yay kutusunun çalıştığı sisteme uygulanan itme-çekme deneyi sonucu Deney_5 olarak verilmiştir.



Şekil 5.28: Başlangıç yanal rijitliğinde tek yay kutusunun etkin olduğu 2 kat yüklü sismik izolatör katının deney sonucunun grafiksel gösterimi.

Çizelge 5.9: Başlangıç yanal rijitliğinde tek yay kutusunun etkin olduğu 2 kat yüklü sismik izolatör katının deney sonucu elde edilen rijitlik değerleri.

Deney No	Kırım Yok	1 HSS Kırıldığında	2 HSS Kırıldığında	3 HSS Kırıldığında	4 HSS Kırıldığında (Yay Grupları Çalıştığında)
	1.Rijitlik (kN/m)	2.Rijitlik (kN/m)	3.Rijitlik (kN/m)	4.Rijitlik (kN/m)	5.Rijitlik (kN/m)
Deney_5	381.74	410.15	242.74	137.47	81.06

Çizelge 5.10: Başlangıç yanal rijitliğinde tek yay kutusunun etkin olduğu 2 kat yüklü sismik izolatör katına eklenen kayma kilitlerinin kırım yükleri.

Deney No	Kırım Yükleri (N)			
	1.Yay Kutusu (A Başlığı)	2.Yay Kutusu (A Başlığı)	1.Yay Kutusu (B Başlığı)	2.Yay Kutusu (B Başlığı)
Deney_5	907.50	2065.00	2137.50	2467.50

5.3.3 Deney sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması

İkincil mertebeye etkiler göz önünde bulundurularak denklem 5.2 ile analitik hesaplar yapılmıştır. Bulunan analitik sonuçlar Çizelge 5.11'de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.11: Analitik sonuçlar ile deney sonuçlarının ortalamalarının karşılaştırılması.

Yatay Rijitlik		Deneysel Sonuçlar (kN/m)	Analitik Sonuçlar (kN/m)	Fark
		$K_{x(1-5)} = 1/ \Delta_{1-5}$	$K''_{x(1-5)} = K_{1-5} \times \cos^2 \alpha - (N/h)$	%
1.Rijitlik	Kırım Yok	596.48	712.24	20.04%
2.Rijitlik	1 HSS Kırıldığında	381.65	460.99	17.21%
3.Rijitlik	2 HSS Kırıldığında	174.82	209.75	16.65%
4.Rijitlik	3 HSS Kırıldığında	159.53	158.98	0.34%
5.Rijitlik	4 HSS kırıldığında	82.56	108.21	23.70%

2.mertebe etkileri de göz önünde bulundurularak hesaplanan analitik çözüm sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında maksimum 23.70%'lik bir fark görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenen ve yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, Karayel ve diğ. (2015a,2015b ve 2016) geliştirdiği çapraz yay grupları kullanan sismik yalıtım sisteminde, rüzgar ve küçük genlikli depremler gibi yer hareketlerinde yerdeğiştirmeleri sınırlandırarak konfor şartlarını sağlamak üzere, yay kutuları üzerinde HSS tipi çelik pimlerin yerleştirilmesiyle bir kilit sisteminin oluşturulması uygun bulunmuştur. Küçük genlikli yer hareketlerinin insanlar üzerinde etkileri incelenerek bu etkiler doğrultusunda titreşimleri sınırlandırmak üzere geliştirilen kilit sisteminde kullanılacak HSS tipi çelik pimlerin çaplarının seçimi hakkında çalışmalar gerçekteşirilmiştir. HSS tipi çeliklerin kullanılması ile çapraz yay kutularında görelilik olarak yüksek bir başlangıç rijitliği oluştuğunun ve etkin şekilde çalıştığının kanıtlanması için birçok deney ve çalışmalar yapılmıştır.

Bu deneylerin sonucunda;

- Kayma kilidi olarak kullanılan HSS tipi çelikler, statik deneyler sırasında kırılarak devre dışı kaldığında, yay gruplarının çalışmasını engelleyici bir durum görülmemiştir.
- Kırılarak devre dışı kalan HSS tipi çelik pimlerin, tekrardan sisteme eklenebilmesi için uç kısımları kesici hale getirilmiş tiplerinin bir matkap vasıtasıyla sisteme eklenmesi mümkün olacaktır. Böylece düşük maliyetli ve kolay bir onarım gerçekteşirilmiş olacaktır.
- HSS tipi çelikler yapının servis ömrü boyunca, kesme dayanımlarından daha küçük genlikli kuvvet çevrimlerine maruz kalacaktır. Yüksek aşınma direncine sahip olmaları önemli bir üstünlük oluşturmaktadır.
- Kilit sisteminin sismik izolasyon katına görelilik olarak yüksek bir yatay rijitlik sağladığı görülmüştür.
- Kuramsal ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında en fazla %20 düzeyinde bir farklılık olduğu görülmüştür.

- Geliştirilen kayma kilit sistemi, bir çapraz yay kutusu maliyetinin yaklaşık %10'una karşı gelmektedir.



KAYNAKLAR

- Adnan, A., Wei, T.C. (2003).** Effects of Building Vibration to Low Intensity Ground Motion: Towards Human Perceptions. Structural Earthquake Engineering Research (SEER), Faculty of Civil Engineering, University of Technology, Malaysia.
- Akdaoğan Eker A. (2008).** Plastik Matrisli Kompozitler. Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Bölümü-Ders Notları.
- Algermissen, S. T., Perkins, D. M. (1976).** A Probabilistic Estimate of Maximum Acceleration in Rock in Contiguous United States. USGS Open File Report.
- Building Standard Law. (BSL). (1981).**
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007.**
- Dicleli, M. (2013).** Sismik İzolasyon ve Enerji Emici Sistemlerle İlgili Teknik Gelişmeler ve Sismik Performansı İyileştirme Amaçlı Özel Uygulamalar. Deprem Yalıtımı Yöntemleri ve Uygulamaları Sempozyumu.
- Housner, G. W., Bergman, L. A., Caughey, T. K., Chassiakos, A.G., Claus, R. O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T. T., Spencer, B. F., Yao, J.T.P. (1997).** Structural Control: Past, Present, and Future. Journal of Engineering Mechanics.
- Japan Meteorological Agency Seismic Intensity Scale.**
- Karayel, V., Yüksel, E., Gokce, T., Sahin, F. (2015a).** Spring Tube Braces for Vibration Control of Buildings. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, accepted on October 2015.
- Karayel, V., Yüksel, E., Gokce, T., Sahin, F. (2015b).** Uni-Axial Shake Table Tests and Validations of a Seismic Isolation System Made of Spring Tube Braces. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, accepted on October 2015
- Karayel, V., Yüksel, E., Gokce, T., Sahin, F., Güllü, A. (2016).** Spherical Hinge Application in the Seismic Isolation System made of Spring Tube Braces, and its Numerical Implementation to an RC Building.
- Koçak H. (2006).** Takım Çelikleri El Kitabı. Sağlam Metal Yayını 7.Baskı.
- Michael C., Constantinou Tsu T., Soong Gary F., Dargush. (1997).** Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit.
- NEHRP. (1988).** Recommended provisions for the development of seismic regulations for new buildings Bldg. Seismic Safety Council, Washington, D.C.

- Özpalanlar C. (2004).** Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon Ve Enerji Sönümleyici Sistemler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- SAP2000,** Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures, CSI, Berkeley, California, USA.
- Soong, T.T., Dargush, G.F. (1997).** Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering, John Willey&Sons, New York
- Tayanç, M., Zeytin, G., (2000).** Yüksek Hızlı Çeliklerinin İç Yapı ve Isıl İşlem Özellikleri. BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.
- Türk Standardı-498 (1997).** Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri.
- Uang, C., Bertero, V. (1991).** UBC Seismic Serviceability Regulations: Critical Review. Journal of Structural Engineering.
- Uniform Building Code. (UBC). (1988).** Int. Conf. of Bldg. Officials, Whittier, Calif.
- Wilson, E.L., Habibullah, A. (1987).** Static and Dynamic Analysis of Multi-Story Buildings Including P-Delta Effects, Earthquake Spectra 3 : Vol.3.
- www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6174 (2012).** M2 Molybdenum High Speed Tool Steel.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Hasan DOLUYURT
Doğum Yeri ve Tarihi : İSTANBUL / 30.08.1988
E-Posta : hdoluyurt@hotmail.com
Lisans Üniversite : İstanbul Kültür Üniversitesi-2012

