İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİNİN ÇELİK BİR BİRLEŞİMİN DAVRANIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KOÇAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİNİN ÇELİK BİR BİRLEŞİMİN DAVRANIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KOÇAK

(501091133)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ercan YÜKSEL

ŞUBAT 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091133 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Mustafa KOÇAK,** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİNİN ÇELİK BİR BİRLEŞİMİN DAVRANIŞINA ETKİSİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alper İLKİ** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN .....

İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **06 Mayıs 2011**

Savunma Tarihi : **24 Şubat 2012**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bilgi ve tecrübeleriyle bana her konuda yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ercan YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım. Deneylerde tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmalarda gerekli olan bilgi ve tecrübelerini benimle paylaştıkları için Yard. Doç. Dr. Kıvanç TAŞKIN, Dr. Cem Haydaroğlu ve İnş. Yük. Müh. Pınar İNCİ'ye, birlikte çalıştığım İnş. Yük. Müh. Cihan SOYDAN'a ve deneyler sırasında bana her konuda yardım eden İnş. Yük. Müh. Ali Kuvay GÜNEY'e, malzemelerin tedarikleri konusunda her türlü desteği sağlayan ÖZMETSAN YAPI, ALFA ÇELİK, IRMAK MAKİNA, HAKSOY CIVATA'ya ve Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarından Yük. Müh. Hakan SARUHAN, Teknisyen Mahmut ŞANLI, Teknisyen Ahmet ŞAHİN olmak üzere diğer tüm çalışanlara ve en son olarak da maddi ve manevi tüm desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 34031 numaralı İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü BAP Birimi Lisansüstü Tezlerini Destekleme Programı (I tipi proje) projesinin sağladığı imkânlarla İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu kuruluşlara vermiş oldukları destekten ötürü teşekkür ederim.

Şubat 2012

Mustafa KOÇAK
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Konu 1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 2
1.3 Pasif Enerji Sönümleyiciler 3
1.3.1 Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyiciler 4
2. DENEYSEL ÇALIŞMA **7**
2.1 Deney Düzeneğinin Tasarımı 7
2.1.1 Birleşimi Oluşturan Elemanlar 7
2.1.2 Deney Numunesinin Ayrıntıları 11
2.1.3 Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Tasarımı 14
2.1.4 Yerdeğiştirme Protokolü 14
2.1.5 Ölçüm Aletlerinin Yerleştirilmesi 15
3. DENEYSEL ÇALIŞMANIN SONUÇLARI **20**
3.1 Numune Deneyi 20
3.2 Çerçeve Deneyleri 22
3.2.1 Deney No : 1 – Sönümleyicili Pilot Çerçeve 22
3.2.2 Deney No : 2 – Yalın Pilot Çerçeve 27
3.2.3 Deney No : 3 – Yalın Çerçeve 29
3.2.4 Deney No : 4 – Sönümleyicili Çerçeve 33
4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI **39**

5. ANALİTİK ÇALIŞMA 47
5.1 Yalın Birleşime Ait Kuramsal Çalışma 47
5.1.1 Yalın ve Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicili Birleşime Ait Kuramsal Çalışma 57
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 61
KAYNAKLAR 63

KISALTMALAR

LED **:** Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici (Lead Extrusion Damper)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Koruyucu sistemlerin sınıflandırılması [3]..... 1
Çizelge 3.1 : 1. deneye ait sönümleyicideki yerdeğiştirme değerleri. 25
Çizelge 3.2 : 2. deneye ait yük yerdeğiştirme değerleri. 29
Çizelge 3.3 : 3. deneye ait yük yerdeğiştirme değerleri 33
Çizelge 3.4 : 4. deneye ait yük yerdeğiştirme değerleri 37

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Girintili Tüp Tipi Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Boyuna Kesiti ve Çalışan Metalin Mikroyapısında Oluşan Değişimler [8] 4
Şekil 1.2 : Girintili Tüp Tipi Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Boyuna Kesiti [9] 5
Şekil 1.3 : Çıkıntılı Şaft Tipi Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Boyuna Kesiti [9]..... 6
Şekil 1.4 : LED Histerezis Çevrimleri [9] 6
Şekil 2.1 : Yatay Profile Detayı 7
Şekil 2.2 : Düşey Profile Detayı 8
Şekil 2.3 : Ön Teorik Hesap 10
Şekil 2.4 : Birleşim Oluşturan Levhalar 11
Şekil 2.5 : Deney Numunesi – Ön Görünüş 12
Şekil 2.6 : Deney Numunesi – Kesitler 13
Şekil 2.7 : Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici (LED) 14
Şekil 2.8 : Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Bileşenleri 14
Şekil 2.9 : Deneysel Çalışmada Kullanılan Yerdeğiştirme Protokolü..... 15
Şekil 2.10 : Yerdeğiştirme Ölçerlerin Deney Düzeneğine Yerleştirilmesi..... 18
Şekil 2.11 : Birim Şekildeğiştirme Ölçerlerin Deney Düzeneğine Yerleştirilmesi (Batı ve Kuzey) 19
Şekil 2.12 : Birim Şekildeğiştirme Ölçerlerin Deney Düzeneğine Yerleştirilmesi (Doğu ve Güney)..... 19
Şekil 3.1 : Numune Deneyi Düzeneği 20
Şekil 3.2 : Deney Numunesi - Yalın ve LED'li Birleşim..... 22
Şekil 3.3 : Sönümleyici Üzerinde Oluşan Burkulma..... 25
Şekil 3.4 : Kirişte Oluşan Burulma (Doğu Görünüşü) 25
Şekil 3.5 : 1. Deneye Ait Yerdeğiştime Değerlerine Göre P – N Grafiği..... 26
Şekil 3.6 : 1. Deneye Ait P – δ Grafiği..... 26
Şekil 3.7 : Deney Düzeneği – Güney Görünüşü..... 27
Şekil 3.8 : 2. Deneye Ait P – N Grafiği..... 28
Şekil 3.9 : 2. Deneye Ait P – δ Grafiği..... 29
Şekil 3.10 : 3. Deney Düzeneği 29
Şekil 3.11 : 1. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği 30
Şekil 3.12 : 2. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği 30
Şekil 3.13 : 3. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği 31
Şekil 3.14 : 2δy ve Daha Sonraki Yerdeğiştirme Adımlarında P- δ Grafiği 32
Şekil 3.15 : 3. Deneye Ait P – δ Grafiği..... 32
Şekil 3.16 : 3. Deneye Ait P – δ Grafiği..... 33
Şekil 3.17 : 3. Deneye Ait δ-Adım ve P – Adım Grafiği..... 33
Şekil 3.18 : 1. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği 34
Şekil 3.19 : 2. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği 34
Şekil 3.20 : 2. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği 35

Şekil 3.21 : 4. ve Sonraki Yerdeğiştirme Adımlarında P- δ Grafiği 36
Şekil 3.22 : 4. Deneye Ait P – δ Grafiği 37
Şekil 4.1 : Yalın ve LED'li Deneye Ait 0.33δy Yerdeğiştirme Değerindeki P – δ Grafiği 39
Şekil 4.2 : Yalın ve LED'li Deneye Ait 0.66δy Yerdeğiştirme Değerindeki P – δ Grafiği 40
Şekil 4.3 : Yalın ve LED'li Deneye Ait δy Yerdeğiştirme Değerindeki P – δ Grafiği 40
Şekil 4.4 : Yalın ve LED'li Deneye Ait P – δ Grafiği 41
Şekil 4.5 : Enerji Oranları Yöntemi (Chopra, 2001) 42
Şekil 4.6 : Yerdeğiştirme Adımları İçerisinde Tüketilen Enerji-Yerdeğiştirme İlişkisi 42
Şekil 4.7 : Yerdeğiştirme Adımları İçerisinde Tüketilen Yığışımlı Enerji-Yerdeğiştirme İlişkisi 43
Şekil 4.8 : Yalın ve LED'li Birleşimdeki Düzlemdışı-Düzlemiçi Grafiği 44
Şekil 4.9 : LED'li ve Yalın Birleşimde Kullanılan Düzlemdışı Aparatları 44
Şekil 4.10 : Yalın ve LED'li Birleşim Deneyleri Sonundaki Birleşim Bölgeleri 45
Şekil 5.1 : Analitik Model ve Deney Düzeneği 47
Şekil 5.2 : Çekme Deneyi 48
Şekil 5.3 : Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği 48
Şekil 5.4 : Malzeme Özellikleri 49
Şekil 5.5 : Analitik ve Deneysel Model 50
Şekil 5.6 : Analitik Model 51
Şekil 5.7 : Bağlantı Çubuğu 51
Şekil 5.8 : Bağlantı Çubuğu Özellikleri 52
Şekil 5.9 : Moment-Eğrilik İlişkisi 52
Şekil 5.10 : Pivot Model Özellikleri 53
Şekil 5.11 : Yükleme Protokolü ve Yükleme Bilgileri 54
Şekil 5.12 : Analitik Çalışmada Elde Edilen Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafiği 54
Şekil 5.13 : Yalın Çerçeveye Ait Analitik ve Deneysel Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafiği 55
Şekil 5.14 : Analitik ve Deneysel Çalışmalara Ait Başlangıç Rijitlikleri 55
Şekil 5.15 : Deneysel ve Analitik $0.33\delta_y$, $0.66\delta_y$, δ_y ve $2\delta_y$ Yerdeğiştirme Adımlarına Ait Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafikleri 56
Şekil 5.16 : Deneysel ve Analitik $3\delta_y$, $4\delta_y$, $5\delta_y$ ve $6\delta_y$ Yerdeğiştirme Adımlarına Ait Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafikleri 56
Şekil 5.17 : KOBE Deprem Kaydı 57
Şekil 5.18 : Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicili Birleşime Ait Analitik Model 58
Şekil 5.19 : Yalın ve LED'li Birleşime Ait Yerdeğiştirme-Zaman İlişkisinin Karşılaştırılması 59

KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİNİN ÇELİK BİR BİRLEŞİMİN DAVRANIŞINA ETKİSİ

ÖZET

Deprem hareketi sırasında yapı sistemine önemli deprem enerjisi girişi olmaktadır. Bu enerji yapı sisteminde ortaya çıkan hasarlar, sönüm vb. mekanizmalar tarafından harcanmaktadır. Ancak bu durum yapıda çatlamalara ve büyük hasarlara neden olabilmektedir. Modern yapısal tasarımında, yapı sistemine yerleştirilen özel eleman veya aygıtlar ile ilave enerji tüketimi sağlanabilmekte, deprem enerjisinin bir bölümünün bu elemanlar tarafından harcanması sağlanabilmektedir. Bu çalışmada; İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında bir doktora tezi kapsamında geliştirilen kurşun ektrüzyon sönümleyicinin, çelik kolon - kiriş birleşiminde kullanılması halinde yapısal davranışa etkileri deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Çelik birleşime çapraz olarak yerleştirilen kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin deprem enerjisi tüketme kabiliyeti incelenmiştir. Yalın çerçeve ve kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin yerleştirildiği çerçeveye, yapılan ön hesaplarla belirlenmiş bir yerdeğiştirme protokolü uygulanarak, kuvvet - yerdeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Deney sonucu elde edilen verilerden, birleşimin genel davranış biçimi, tüketilen enerji ve rijitliği belirlenmiştir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin bulunduğu birleşime ait ulaşılan en yüksek kuvvetin yalın birleşimden %50~%75 daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicili birleşim tarafından tüketilen toplam enerji miktarı, yalın birleşim tarafından tüketilen toplam enerji miktarından yaklaşık olarak %175 mertebesinde fazla olmuştur. Bununla birlikte kuvvet – yerdeğiştirme çevrimlerine ait rijitlik değerlerindeki artış %39-98 arasında değişmektedir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bilgiler ışığında, kurşun ekstrüzyon sönümleyici büyük ölçüde deprem enerjisi tüketmiş ve yapıya önemli bir miktarda rijitlik katmıştır. Deneylerden elde edilen bilgilerin kuramsal olarak da ispat edilebilmesi için, bir bilgisayar yazılımı kullanılarak deneyde kullanılan yalın birleşimin modeli oluşturulmuştur. Bu modelde doğrusal olmayan statik analiz yapılarak birleşime ait kuvvet - yerdeğiştirme ilişkisi elde edilmiş ve deneysel çalışmada bulunan ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile kuramsal çalışmalar sonucunda birleşime ait genel davranış biçimi, tüketilen enerji ve rijitliklerinin kabul edilebilir düzeyde benzer oldukları görülmüştür. Bu matematiksel modele, deneysel çalışmada kullanılan kurşun ekstrüzyon sönümleyici eklenerek ikinci model elde edilmiştir. Seçilmiş bir kütle ve ivme kaydı durumu için yalın ve sönümleyici yerleştirilmiş durumlardaki tepe yatay yerdeğiştirmesi sonuçları karşılaştırılmştır. Sonuçlardan sönümleyicinin sistem yerdeğiştirmelerini yaklaşık %50 düzeyinde azalttığı gözlenmiştir.

THE EFFECT OF THE LEAD EXTRUSION DAMPER ON THE BEHAVIOUR OF A STEEL BEAM-COLUMN CONNECTION

SUMMARY

Turkey is located on an active fault zones in Anatolian Plate. Eventually, Turkey has suffered from earthquakes for ages. Severe catastrophic earthquakes have affected various areas of Turkey in past, such as Erzincan (1992), Kocaeli (1999) and Duzce (1999). So, in Turkey, modern structural designs for decrasing the earthquake related losses is needed. Especially, expected Istanbul earthquake risk increases the modern desing and retrofitting demand. During the earthquake ground motion, an amount of energy imparted to the structures. The energy disbursed by plastic deformations (cracking of concrete, yielding of steel, etc.) on the members and some frictional forces between the members. This causes cracks and major damages on the structural members and joints. Occurrence of damage on structural system is undesirable situation. Experimental studies and structural damages based on site assessment show that structural damages significantly occur on beam to column connections and this caused undesirable results such as total failure in an earthquake. There are important studies about behaviour of beam to column connections under seismic loads and results show the importance of preventing the damage concentration at the connections. The basic method to remove the damage from the connections is energy dissipating devices. The modern structural design seeks to absorb the energy through the dissipater elements and devices that are located in proper positions in the structure. Therefore, energy dissipating devices that are placed properly to the beam to column connections prevent damage concentration on connections. Energy dissipating devices are giving the chance to concentrate the energy dissipation on these devices and minimize the possible damages on structural and non-structural elements.

There exists various type of energy dissipating devices, which are using different mechanisms of energy dissipation. The development of these devices realized with the researches and studies in the industrial and academic arenas.

Innovative concepts of control systems based on the protection of structural and non-structural elements against dynamic loads can be considered in three main classifications. These are seismic isolation, passive control systems and active control systems. Passive control systems are also known as passive energy dissipation systems. These systems are using the principles such as frictional sliding; yielding of materials, phase transformation in metals, deformation of viscoelastic solids, fluid orificing. Also tuned mass and tuned liquid dampers are mentioned with these systems. Lead extrusion damper (LED) is one of the passive energy dissipating devices which takes the advantage of the hysteretic behavior of lead when deformed into the post-elastic range. Extrusion is a process of deformation by the way enforcing of lead to pass from a hole or narrow place. The deformations on lead are

turned back to first original situation and this provides long life to lead extrusion damper.

These types of devices convert the earthquake energy to kinetic and deformation energies by material behavior of the metal that is used in device. For this reason, modulus of elasticity of the material used in energy dissipating device should be smaller than the modulus of elasticity of the material that the structural system is made. Through the smaller modulus of elasticity, damages firstly occur on the passive energy devices instead of the structural system.

Lead extrusion damper could be used for retrofitting of earthquake-related damaged structures as well as it can be placed in newly constructing buildings. Passive energy dissipating device that makes better of damping characteristic of structure, decreases the sizes of structural system and causes the structure to be designed with low cost. On the other hand, passive energy dissipating devices have to be applicable in size and connections details to damp the earthquake energy. In other case, it may be necessary to prefer alternative retrofitting technique.

An experimental study has been initiated as a PhD study on the lead-extrusion dampers in Structural and Earthquake Engineering Laboratory of ITU. This thesis has been developed as paralel to this PhD study.

This thesis includes six chapters. In the first chapter, purpose and scope of the study is presented. Also, it is given a detail literature survey about dampers. In the second chapter, testing set-up and experimental procedure is described. In the third chapter, the details and the results of the experimental study are provided. In the fourth chapher, the experimental results are compared with each other. In the following chapter, Chapter fifth, an analytical study is carried out in accordance with the experimental results. And finally, results and suggestions are given in the sixth chapter.

In this M.Sc. thesis, lead extrusion damper (LED) is used diagonally in a steel beam to column connection to absorb seismic energy imparted to the joint. Displacement cycles have been used for obtaining the force-displacement relationships of the connection with and without lead extrusion damper. ATC24-1992 displacement protocol for the steel joints is adopted in experimental studies. This protocol, which was specifically developed for components of steel structures, was one of the first formal protocols developed in the U.S. for seismic performance evaluation of components using a cyclic loading history. It uses the yield deformation, δ_{yield} (δ_y), as the reference for increasing the amplitude of cycles. This displacement control testing procedure has been applied to the structures to compare their response with and without lead extrusion damper.

There were five specimens in the experimental part of the study. The pilot test has been conducted to obtain behavior of the beam to column connections as well as to catch the problems that may occur while conducting of the other four experiments. Two of the four tests are performed with the lead extrusion damper and the remaining tests are performed without lead extrusion damper.

From the results obtained, general behaviour, the amount of dissipated energy, rigidity and damping characteristics of the connections are determinated. The dissipated energy intensities have been reached by the area discretized the loops of

force vs. displacement relationships. According to experimental result, the effect of the lead extrusion damper has observed starting from the first step. The maximum force at the connection with lead extrusion damper's, is reached 50% ~ 75% more than the force without lead extrusion damper's. Lead extrusion damper absorbes major earthquake energy and increase the rigidity of the structure. The amount of dissipated energy, rigidity and damping characteristics of the joints are evaluated. The total energy dissipated by the connection equiped with lead extrusion damper is approximately 175% greater than the total energy dissipated by the bare joint. However increments of the rigidity of the force vs. displacement cycles are varied between 39~98%.

According to the results of the experimental study performed, lead extrusion damper has consumed important part of the imparted seismic energy to the joint, as well as the lateral stiffness of the joint is considerably increased. Moreover, two mathematical models of the steel beam to column connection have been produced by using a well known structural analysis program, namely SAP2000. Before the analytical works, four specimens had been taken from the steel profile. The standart tensile tests are conducted in Structural Material Laboratory of Istanbul Technical University to reach the real material characteristics. The joints with and without lead extrusion damper were analyzed in the structural analysis program. The first mathematical model represents the experimental studies that are carried out without the lead extrusion damper and the second mathematical model was prepared by adding the lead extrution damper to the existing model. A link member was assigned to represent the lead extrusion damper in the theoretical study. This link member was used in the analysis in accordance with the dimensions of test specimen.

By using the mathematical model, nonlinear static analyses performed to compare the results with the experiments, namely the lateral load vs. top displacement. It is obtained a good correlation between the experimental and analytical results. It is obtained that the maximum top displacement decreased by 50% for the case of lead extrusion damper added specimen.

Nonlinear time history analysis was carried out. Nonlinear time history analyses are performed for a selected mass and acceleration record and the obtained top displacement histories are compared between the specimens. KOBE 1995 Earthquake Acceleration Record was used in the analyses.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Depremler ve büyük çevresel felaketler yapılarda ve özellikle yapılardaki birleşim bölgelerinde belirgin hasarlara neden olurlar. Daha spesifik olarak, deprem yüklerinden meydana gelen daha belirgin hareketler önemli çatlamalara ve yapısal bütünlükte bozulmalara neden olur. İlgili hasarları onarmak, modern yapısal metotların plastik mesnet bölgesi gibi özel alanlarda oluşan hasarların yerini saptamayı araştırmasına rağmen, zor ve pahalı olabilir. Bu hasar deprem sırasında belirgin birğ enerji sönümleme sağlamasına rağmen, kalıcı yapısal hasar meydana gelmeden enerji sönümlenmesi tercih edilir [1]. Enerji sönümleyici aygıtlarının yapıların deprem enerji sönümleme kapasitelerini artırdıkları bilinir [2].

Son yıllarda, yapıların fonksiyonelliğini artırmaya ve doğa yoluyla veya insanlar tarafından oluşan zararlara karşı güvenilir olmaya yönelik bir çok çeşitli araştırma geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar 3 alanda toplanabilir [3].

1- Taban izolasyonu

2- Pasif enerji sönümleyici

3- Aktif kontrol

Çizelge 1.1 : Koruyucu Sistemlerin Sınıflandırılması [3]

Sismik Yalıtım	PED (Pasif Enerji Sönümleyiciler)	yarı aktif ve aktif kontrol
Elastomerik mesnetler	Metalik sönümleyiciler	aktif çapraz sistemler
kurşun kaucuk mesnetler	Sürtünme sönümleyiciler	aktif kütle sönümleyiciler
sürtünme sarkaçlı mesnetler	Viskoelastik sönümleyiciler	değişken rijitlik veya sönümleyici sistemler
	viskoz akışkan sönümleyiciler	akıllı malzemeler
	ayarlı kütle sönümleyiciler	
	ayarlı sıvı sönümleyiciler	

Pasif enerji sönümleyicili sistemler bir çeşit sönümü, rijitliği ve mukavemeti artırıcı malzemeleri ve aygıtları sararlar, ve depremden dolayı meydana gelecek hasarlar için

ve yaşlanmış veya yetersiz yapıların onarımı için kullanılabilir [4]. Genellikle bu tür sistemler yerleştirildikleri yapı sisteminde enerji sönümleme kapasitelerine göre nitelendirilirler. Bu aygıtlar genellikle sürtünmeli kayma, metalin akması, metaldeki şekil değiştirme fazı, katı veya akıcı viskoelastik deformasyon prensibine göre çalışır [3].

İdeal olarak, sönümleyiciler pahalı olmamalı ve böylece, düzenli kullanımda ticari olarak uygun olmalıdırlar [1].

Kurşunun düşük ısıda yeniden kristalleşme ve tek reolojik özelliklerinin olması sönümleyici aygıtlarda çalışan malzeme olarak kurşun kullanılmasına neden olmuştur [1].

Kurşun ekstrüzyon sönümleyici taban izolasyonunu da içeren yapısal uygulamalarda enerji sönümleyici olarak kullanılır. Tarihsel olarak, bu aygıtlar çok büyük hacimde olması, dar hacimli birleşim bölgelerine uygulanması konusunda engel teşkil etmiştir. Hacmin büyük olması üretimlerinin pahalı olmasına ve uygulanabilirlik açısından sınırlamasına neden olmaktadır. Uygulama aygıtın küçültülmüş boyutlarıyla ekstrüzyon sönümleyicinin direkt olarak çelik bir kolon kiriş birleşim bölgesine bağlanmasıyla mümkün olabilir. Ekstrüzyon sönümleyici birleşim noktasının dönmesine karşı direnç kuvveti üretebilir ve bu nedenle histeritik enerji sönümleme sağlayabilir ve ana çelik taşıyıcı elementlerinin akmasını engelleyebilir. Sönümleyicinin kirişin alt başlığın altına yerleştirilmesi verilen dizayn driftleri için sönümleyicide büyük yer değiştirmelere neden olur ve bu nedenle daha büyük enerji sönümlenir. [1].

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler deprem hareketi sırasında ortaya çıkan deprem enerjisini tüketmek ve yapıda oluşacak kalıcı hasarın oluşmasını engellemek veya kabul edilebilir düzeylere indirgemek amacıyla tasarlanmaktadır.

Deprem sırasında yapıda ve bilhassa birleşim bölgelerinde kalıcı hasarın oluşması istenmeyen bir durumdur. Kolon-kiriş birleşim bölgesine yerleştirilen bu sönümleyici, kiriş ve kolonun rölatif hareketi ile, içerisinde bulunan kurşunda meydana gelen plastik şekildeğiştirme ve ortaya çıkan ısı ile enerji tüketimi

gerçekleştirmektedir. Yapıdaki bu ilave sönüm ile yapıya ait sönüm özelliğinin iyileşmesi dolayısıyla yapıdaki taşıyıcı eleman boyutlarının azalması ve maliyetin azalması beklenmektedir.

Bir diğer husus ise, uygulanabilirlik açısından kolay olması gerekmektedir. Bu nedenle hacimsel olarak büyük olan sönümleyicinin boyutunun da uygulanabilir düzeylere indirilmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca onarım ve güçlendirme uygulamalarının tercih edilebilir olmasına neden olacak en önemli konulardan birisi de maliyetidir. Çünkü uygulama deprem enerjisini sönümlese ve yapının rijitliğini artırsa bile maliyetinin yüksek olması yapının kullanılabilirliğini büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle bu sönümleyicinin diğer uygulamalara oranla daha ucuz olması amaçlar arasında yer almıştır.

Bu çalışmada kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin yerleştirilmiş olduğu bir birleşime ait davranış, yalın bir birleşime ait davranış ile karşılaştırılarak birleşime ait sönüm ve rijitlik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Bunun için İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarı'nda bulunan bir yükleme çerçevesi içerisine yerleştirilen çelik bir kolon kiriş birleşiminde, sönümleyicinin bulunduğu ve bulunmadığı hallerde, yerdeğiştirme kontrollü deneyler yapılarak, sönümleyicinin birleşimin davranışı üzerinde etkileri araştırılmıştır.

1.3 Pasif Enerji Sönümleyiciler

Pasif enerji sönümleyiciler, deprem sırasında yapıya aktarılan enerjinin büyük bölümünü tüketmekte ve sönümlemektedir. Yapı içerisine ve yapı boyunca yerleştirilmekte, zeminden yapıya aktarılan enerjinin kinetik veya şekildeğiştirme enerjisi şeklinde tüketilmesini sağlamaktadırlar [6]. Pasif enerji sönümleyiciler kullanılarak, yapılara ait sönümleme özellikleri iyileştirilebilmekte, yerdeğiştirme ve ivme talepleri ile kat kesme kuvvetleri önemli miktarda azaltılabilmektedir. Yapıdaki enerji tüketimi pasif sönümleme aygıtlarında toplanabilmektedir. Meydana gelebilecek hasarlar, yapısal elemanlardan daha kolay değiştirilebilen pasif sönümleme aygıtlarında toplanmaktadır.

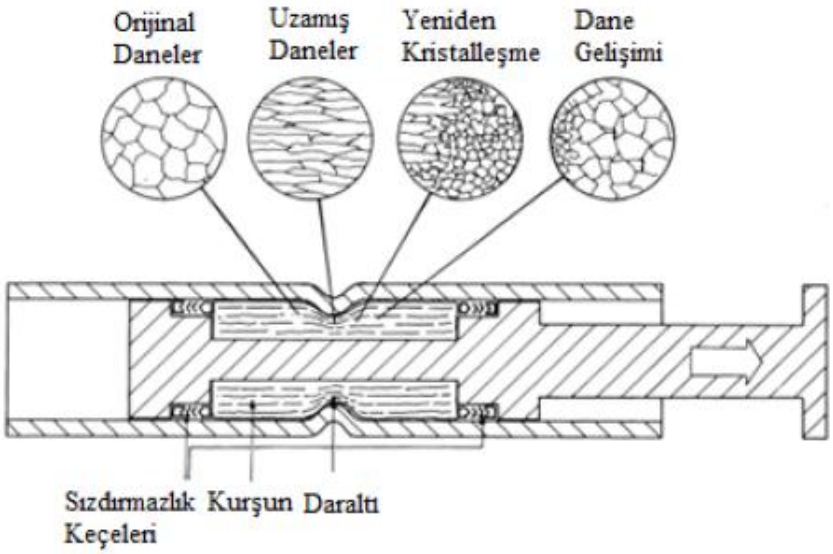
Akademik ve endüstriyel ortamlarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, pasif sönümleme aygıtlarının kavram ve donanım bakımlarından farklı çok sayıda

türünü ortaya çıkarmıştır. Seçilen sönümleme aygıtının bir uygulama için ne kadar elverişli olduğu gerçekleştirilecek tasarımın başarısına bağlıdır. Sönümleme aygıtının bağlı olduğu yapısal elemana aktarabileceği kuvvetler, aygıt bağlantı noktaları arasındaki göreli yerdeğiştirmeler ve tüketilecek enerji miktarı gibi değişkenler mutlaka dikkate alınmalıdır [6].

1.3.1 Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler

Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler (Lead Extrusion Damper, LED), metallerin histeretik enerji tüketme özelliklerinden faydalanılan bir sönümleyici türüdür. Ekstrüzyon işlemi malzemenin bir delikten veya bir daraltıdan geçirilmeye zorlanması ve bu yolla şekildeğiştirmesidir. Kurşunun ekstrüzyonu enerji tüketimi için etkili bir yöntemdir.

Malzeme daraltıdan geçmeye zorlandığında çok sayıda bozulmuş kriztal kafes içeren ve uzamış danelerden oluşan bir mikroyapı ortaya çıkmaktadır. Malzemenin ekstrüzyonu için gerekli enerjinin bir kısmı ısıya dönüşmektedir. Ancak bu enerjinin diğer kısmı şekildeğiştirmiş malzeme içerisinde kalmakta ve birbiri ile ilgili olan üç işlem için başlangıç kuvvetini oluşturmaktadır. Bu işlemler sırasıyla toparlanma, tekrar kristalize olma ve dane gelişimidir (Şekil 1.1). Bu işlemler sonucunda malzeme orijinal haline geri dönmektedir [7, 14].

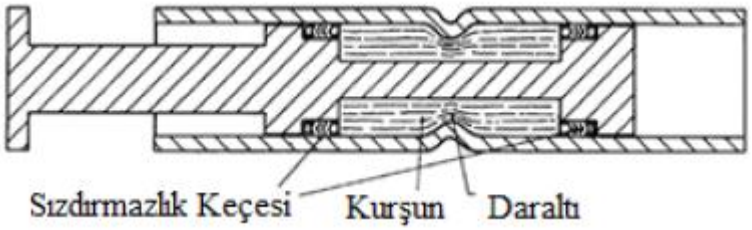


Şekil 1.1 : Girintili Tüp Tipi Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Boyuna Kesiti ve Çalışan Metalin Mikroyapısında Oluşan Değişimler [8]

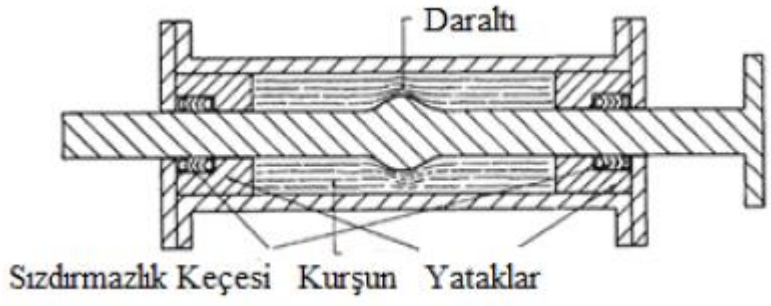
Enerji sönümleme elemanı olarak yapılarda kullanılabilecek bir aygıt Şekil 1.1'de görülmektedir. Sönümleme aygıtı, üzerinde girinti bulunan kalın duvarlı bir tüp ve iki ucunda bağlama çubuğu ile birleştirilmiş iki adet pistondan meydana gelmektedir. Pistonlar arasındaki boşluk kurşun ile doldurulmaktadır. Kurşun ile tüp ince bir yağ tabakası ile birbirinden ayrılmakta ve piston başlarında bulunan sızdırmazlık keçeleri ile bu yağ tabakasının kaçışı önlenmektedir. Merkez şaft, silindirden dışarıya doğru uzamakta ve yapıya bağlanmaktadır. Silindirin diğer ucu ise başka bir yapı elemanına bağlanmaktadır. Sönümleme aygıtının bağlanmış olduğu iki yapı elemanı birbirine göre rölatif hareket ettiğinde (deprem esnasında olduğu gibi) kurşun daraltı boyunca ileriye ve geriye doğru ekstrüze olacaktır. Ekstrüzyon plastik bir şekildeğiştirme işlemi olduğu için yapılacak iş, pistonun silindire göre rölatif hareketi ile ortaya çıkmak zorundadır. Dolayısıyla bu türdeki bir sönümleme aygıtının bir yapıda kullanılması, hasar verici titreşimlerin oluşumunu sınırlayacaktır [8].

Skinner vd. (1993) göre LED, taban izolatörlü yapılar için pasif enerji sönümleme aygıtı olarak ilk defa Robinson tarafından önerilmiştir. Robinson tarafından tanıtılan iki aygıt Şekil 1.2'de ve Şekil 1.3'te görülmektedir [9]. İlk aygıt (Şekil 1.1 ve 1.2) kalın duvarlı bir tüp ve bir piston ile eş eksenli olan bir şafttan meydana gelmektedir.

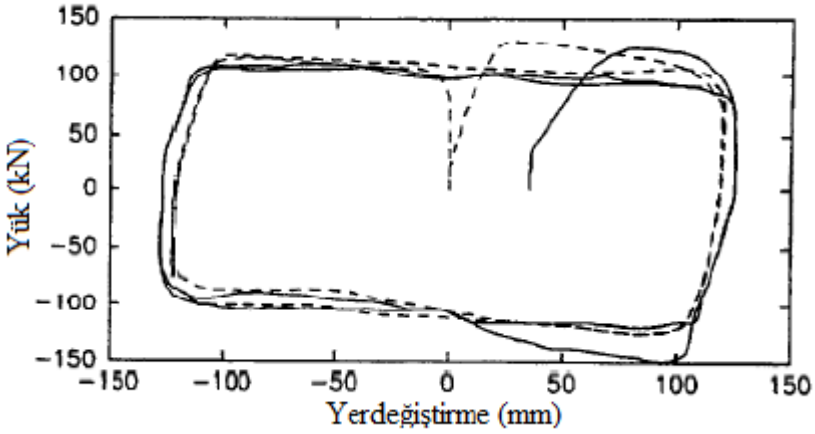
İkinci aygıt birinci aygıta benzemekte ancak farklı olarak tüp üzerindeki girinti yerine merkez şaft üzerindeki bir çıkıntı ile ekstrüzyon açıklığı oluşturmaktadır (Şekil 1.3). Yataklar şaftı desteklemekte ve aynı zamanda kurşunu yerinde tutmaktadır. Şaft hareket ettiğinde kurşun şaft üzerindeki çıkıntı ve tüp arasındaki boşluktan ekstrüze olmaktadır. Sürtünme aygıtlarının bir çoğuna benzer olarak LED aygıtlarının histeretik davranışı da dikdörtgen şekline oldukça yakındır (Şekil 1.4) [11].



Şekil 1.2 : Girintili Tüp Tipi Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Boyuna Kesiti [9]



Şekil 1.3 : Çıkıntılı Şaft Tipi Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Boyuna Kesiti [9]



Şekil 1.4 : LED Histerezis Çevrimleri [9]

Kurşun ekstrüzyon aygıtlarının yük-şekildeğiştirme eğrileri kararlıdır ve yükleme çevrimi sayısından etkilenmemektedir. Çevresel koşullara ve yaşlanma etkilerine karşı hassasiyeti bulunmamaktadır. Uzun ömürlü olmakla birlikte dış etki ortadan kalktıktan sonra sönümleyici içerisindeki kurşun şekildeğiştirmemiş haline geri döndüğü için değiştirilmesine veya onarılmasına ihtiyaç olmamaktadır [11].

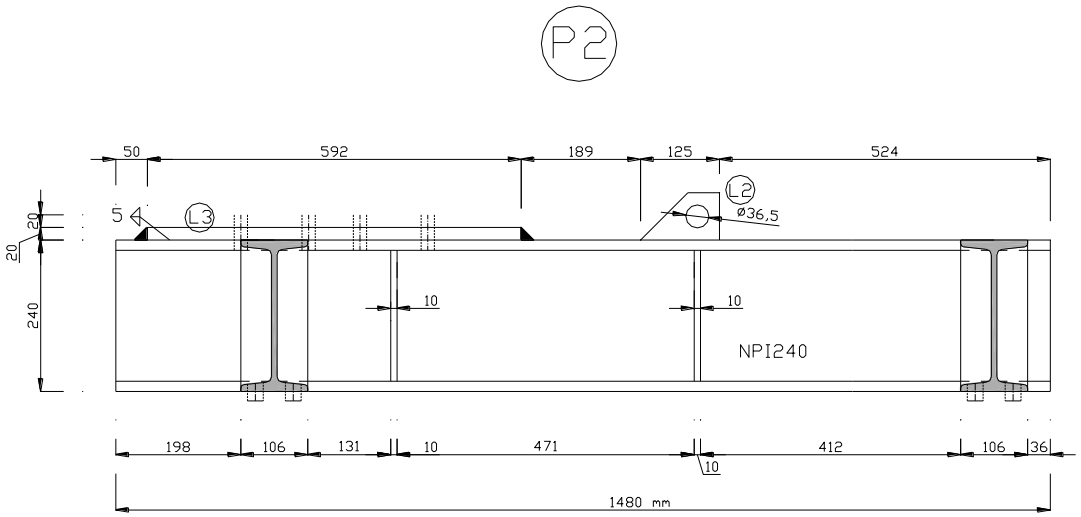
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Deney Düzeneğinin Tasarımı

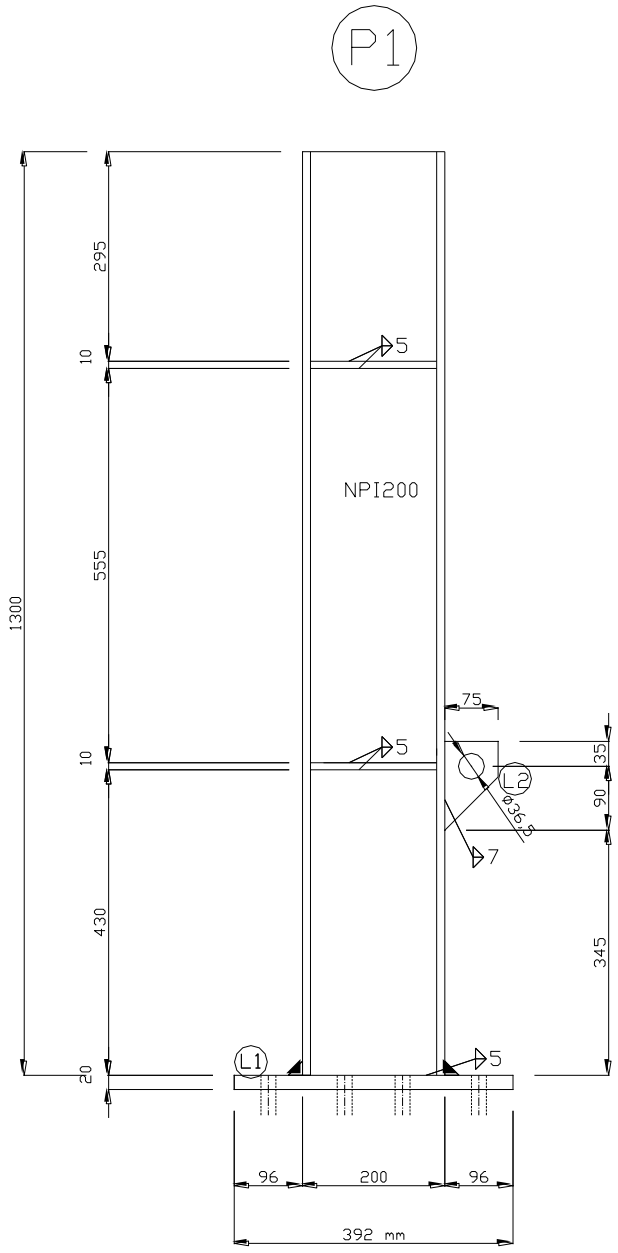
Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin (LED) bir çelik birleşimin davranışına olan etkisinin belirlenmesi amacıyla bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Sönümleyicinin çelik kolon kiriş birleşimine çapraz olarak yerleştirilmesi için adaptör elemanlar tasarlanmış ve buna göre imal edilmiştir. LED'in bulunduğu ve bulunmadığı birleşimlere ait davranış biçimleri İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilen yerdeğiştirme kontrollü deneyler ile belirlenmiştir.

2.1.1 Birleşimi oluşturan elemanlar

Birleşimde kullanılacak elemanlar SAP2000 [12] programı yardımıyla yapılan ön hesap ile tespit edilmiştir (Şekil 2.3a). Buna göre, düşey eleman (kiriş) olarak NPI200, yatay eleman (kolon) olarak da NPI240 profili seçilmiştir. Tasarımda kolonun kirişten daha güçlü olması amaçlanmıştır, (Şekil 2.1 ve 2.2).



Şekil 2.1 : Yatay Profile Detayı



Şekil 2.2 : Düşey Profile Detayı

Düşey ve yatay elemanların birleşimi için, düşey elemanın alt ucuna 392×100×20 mm boyutlarındaki alın levhası kaynak kalınlığı 5 mm olacak şekilde köşe kaynak dikişleri ile kaynaklanmıştır. Ayrıca birleşim bölgesinde yatay elemanın üst başlığında ezilme meydana gelmemesi için, birleşim bölgesinde 592×115×20 mm boyutlarındaki levha, kaynak kalınlığı 5 mm olarak köşe kaynak dikişleri ile kaynaklanmıştır. Yatay ve düşey elemanlara kaynaklanan levhalarda, kolon kiriş

birleşimini gerçekleştirmek üzere, daha önceden tasarımı yapılmış bulon yerleşimine uygun olarak, 25 mm çapında 8 adet delik açılmıştır ve düşey ve yatay elemanların birleşimi 8M22 bulonu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2.4).

Kolon kiriş birleşiminde ve kolonun deney düzeneğine birleşimi bulonla sağlanmıştır. Kolon deney düzeneği birleşimi 8M20 ile sağlanmıştır.

Yatay elemanın mesneti için, mesnette herhangi bir deformasyon olmaması ve yeterli rijitliği sağlayabilmek için, yatay elemanın uçlarına yine yatay profil ile aynı (NPI240) 4 adet 177 mm uzunluğundaki profiller kaynak dikişiyle kaynaklanarak yatay eleman ile yük çerçevesi bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Bu profillerin alt başlıklarına, yük çerçevesinde mevcut bulunan deliklere uygun olacak şekilde, her birine 2 şer adet toplamda 8 adet M20 bulonu ile birleştirilmiştir (Şekil 2.1).

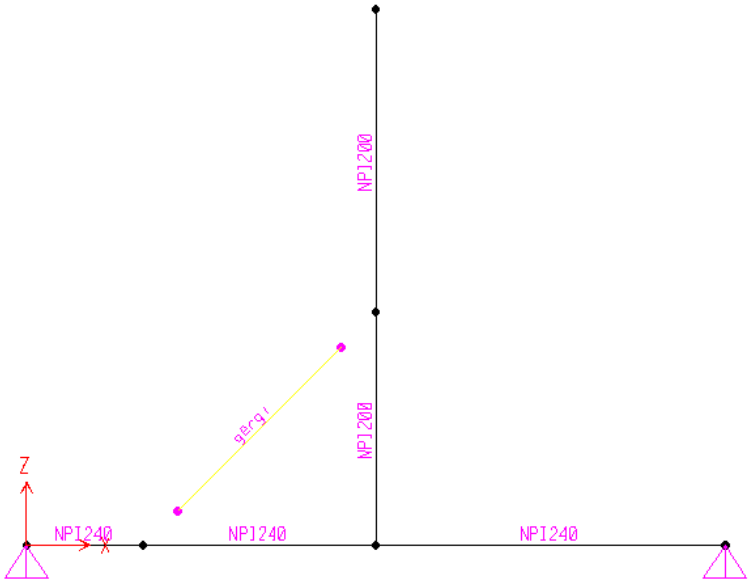
Ayrıca yatay ve düşey eleman üzerinde tekil yükün etkidiği kiriş-hidrolik veren, kolon-LED ve kiriş-LED bağlantılarının bulunduğu bölgelere ve yatay ve düşey elemanlarda kuvvet aktaran her bölgeye 10 mm kalınlığında berkitme levhaları kaynak dikişleriyle kaynatılmıştır (Şekil 2.1).

Birleşimde kullanılan bütün profil ve levhalar St37 çeliğidir. Birleşimlerde bulunan kaynak dikişleri gaz altı kaynağı yöntemi ile çekilmiştir. Birleşimlerde kullanılan bulonlar, 8.8 sınıfı yüksek mukavemetli bulonlar olarak seçilmiştir.

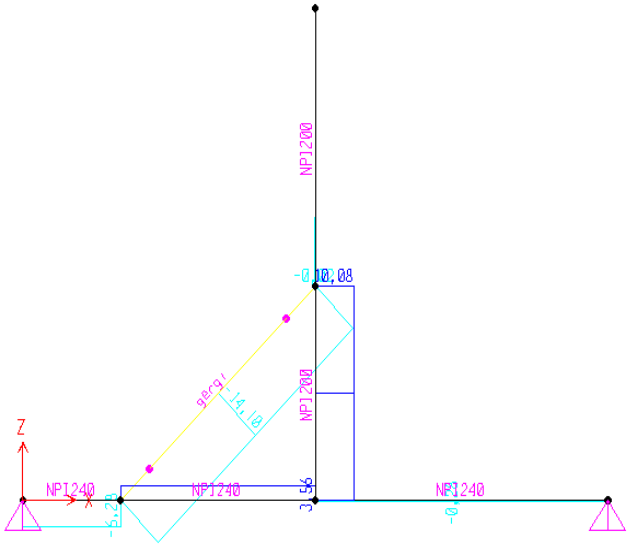
Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin kiriş ve kolona bağlantılarını sağlayabilmek için her birine aralarında 30 mm kalacak şekilde birbirine paralel 20 mm kalınlığında iki adet levha kaynaklanmıştır. Her bir levhanın ortasında bağlantının yapılabilmesi için 36.5 mm çapında delik açılmıştır. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin birleşime yerleştirilebilmesi için iki adet 36 mm çapında bağlantı mili tasarlanmış ve imal edilmiştir (Şekil 2.4).

Tasarım sonunda birleşim bölgesine bağlanan sönümleyiciye ne kadarlık bir eksenel kuvvet geleceğini belirleyebilmek için ön teorik hesap yapılmıştır. Daha önceki yapılan numune deneyinde sönümleyicinin mil kısmında 180 kN basınç kuvveti mertebelerinde burkulma meydana geldiği belirtilmiştir. Bu yüzden böyle bir tasarım sonucunda burkulmanın meydana gelip gelmeyeceği araştırılmıştır. Bunun için tasarlanan düzenek, SAP2000 v14.0.0 paket programı ile modellenerek yaklaşık bir ön hesap yapılmıştır. Sönümleyici için sadece eksenel kuvvet taşıyacak şekilde iki

ucu mafsallı bir profil seçilmiştir. Hidrolik veren mesafesinden gergide basınç kuvveti oluşacak şekilde 60 kN luk bir yük etkitilerek yapılan hesapta, gergi üzerinde yaklaşık olarak 140 kN mertebesinde bir basınç kuvveti meydana geldiği ve burkulma yükünü (180 kN) aşmadığı görülmüştür (Şekil 2.3b).



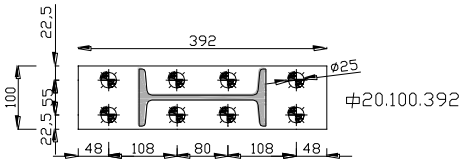
(a) Teorik Model



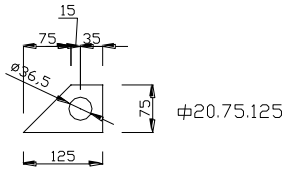
(b) Eksenel Kuvvet (N) Diyagramı

Şekil 2.3 : Ön Teorik Hesap

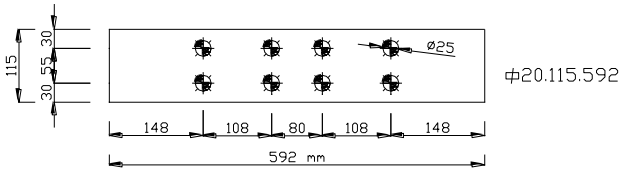
L1 DETAYI



L2 DETAYI



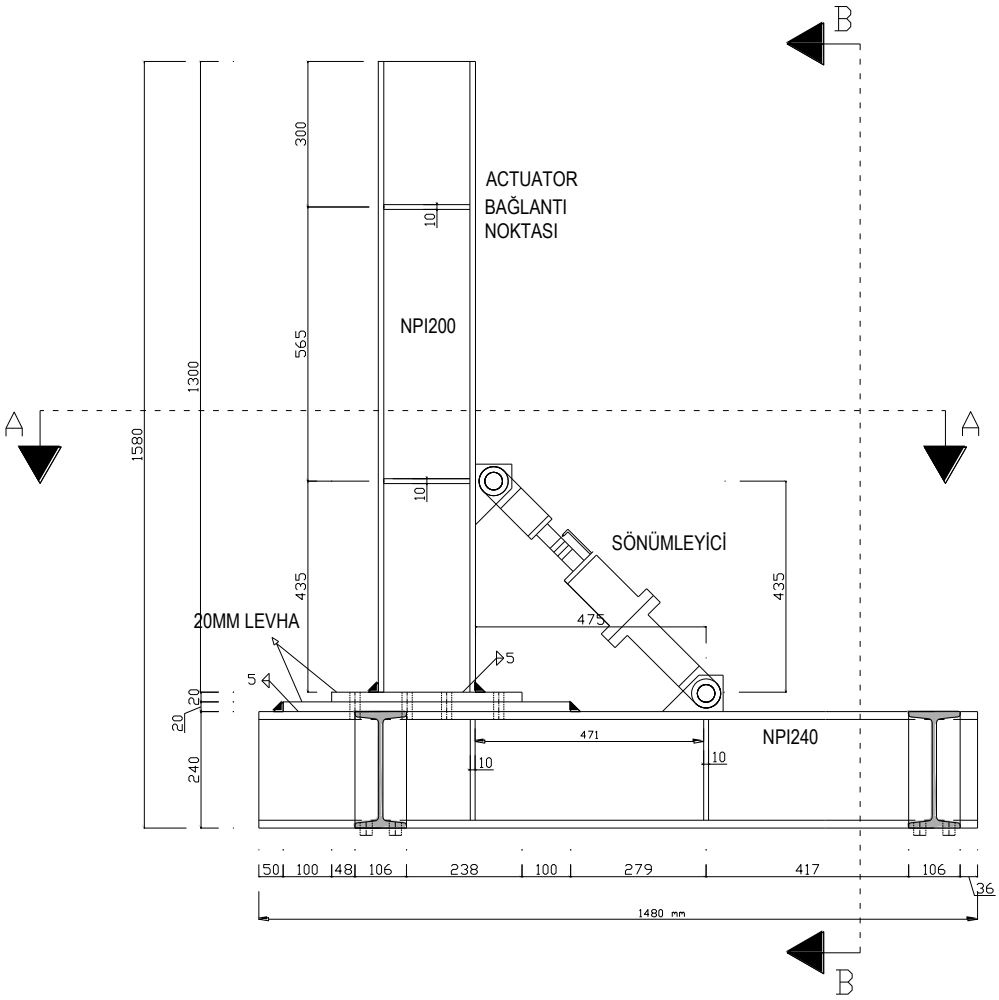
L3 DETAYI



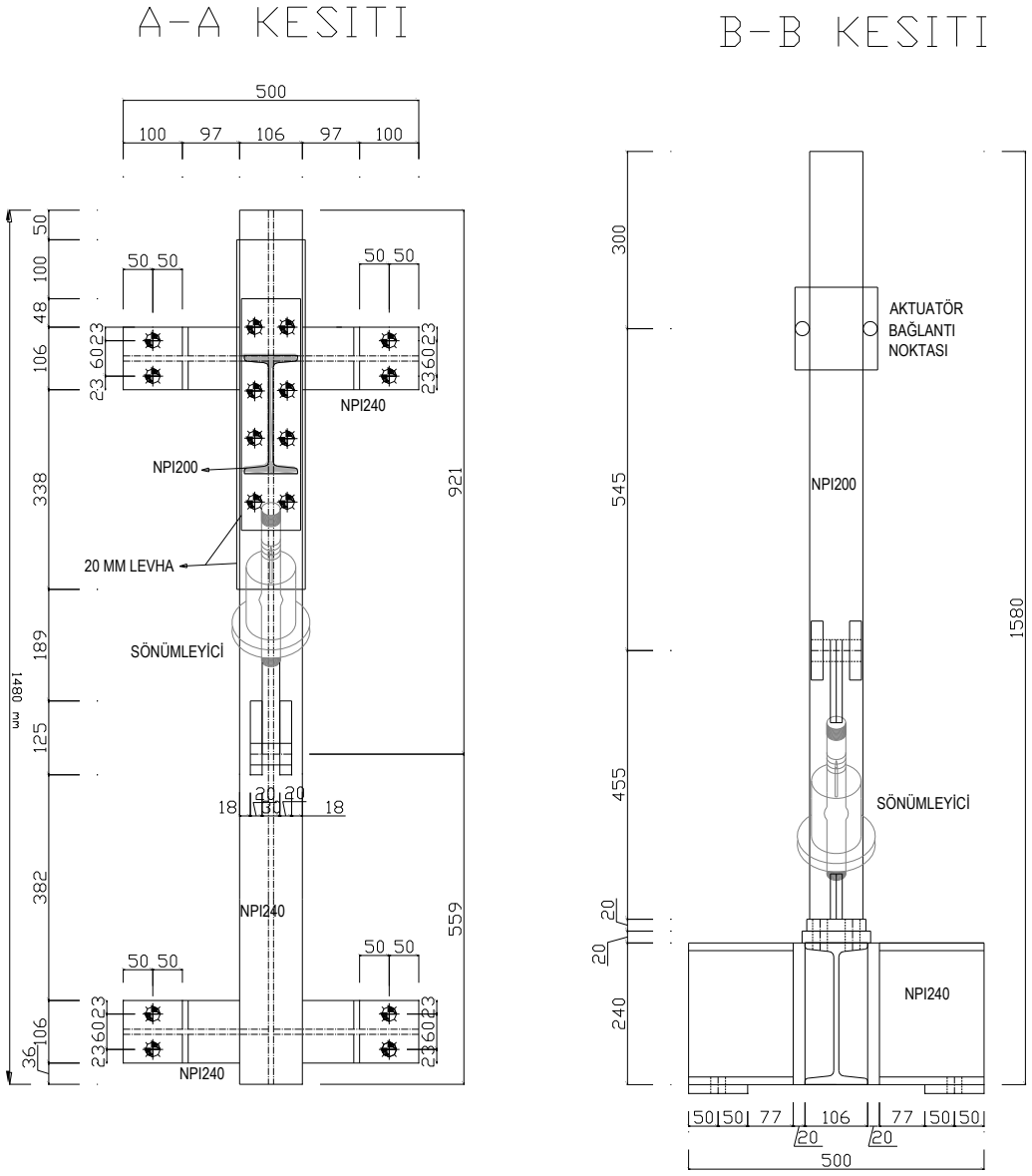
Şekil 2.4 : Birleşim Oluşturan Levhalar

2.1.2 Deney numunesinin ayrıntıları

Deney numunesi 90° döndürülmüş olacak şekilde, yatayda NPI 200 kirişi ve düşeyde NPI 240 kolonundan oluşan çelik bir çerçevenin kenar düğüm noktasıdır. Kirişin yüksekliği 1320 mm'dir. Hidrolik veren kolu kirişe 1000 mm yukarıdan bağlanmıştır. NPI 240 kolonunun uzunluğu ise 1500 mm'dir. Sönümleyici birleşime diyagonal bir şekilde bağlanmıştır. Ayrıca kuvvet aktaran her bir noktada kiriş ve kolonda berkitme levhaları kullanılmıştır. Sönümleyicinin kirişe birleşim bölgesinden 475 mm yukarda bağlanmıştır. (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6)



Şekil 2.5 : Deney Numunesi – Ön Görünüş



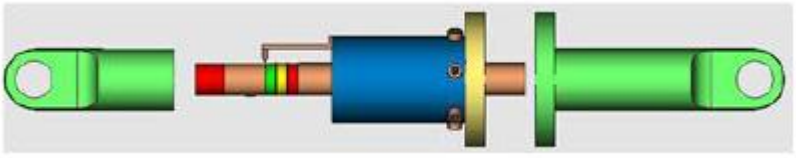
Şekil 2.6 : Deney Numunesi – Kesitler

Deney düzeneği güvenli tarafta kalacak şekilde olarak tasarlanmıştır ve deneyler sonrasında yapılan hesaplar ve tasarımların başarılı olduğunu göstermiştir. Deneyde etkiyen kuvvetin ve meydana gelecek yerdeğiştirmenin düzlem içinde kalması istendiği için, deneyde en çok dikkat edilen konu da numuneyi düzlemdışı doğrultuda tutmak olmuştur. Bunun için üretilen düzlemdışı düzeneği ilk deneylerde düşey elemanı düzlemdışı doğrultuda tutamamış ve kirişin burulmasına neden olmuştur. Pilot deneyler yapılarak sorunlar gözlenmiş ve gerçek deneyler sırasında

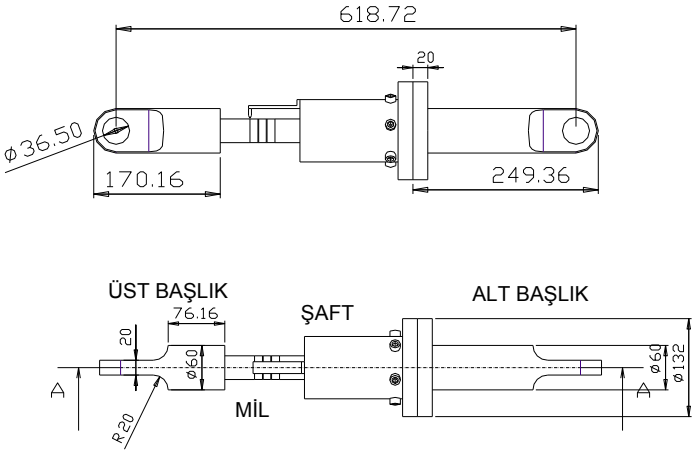
bu sorunları önleyebilmek için çalışmalar yapılmış ve pilot deneyde ortaya çıkan düzlemdışı problemi yeni bir düzlemdışı düzeneği geliştirerek sonraki deneylerde ortadan kaldırılmıştır.

2.1.3 Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin tasarımı

Literatür araştırmalarından yola çıkılarak tasarlanan kurşun ekstrüzyon sönümleyici üst başlık, şaft, gövde ve altbaşlıktan oluşmaktadır. Sönümleyici iç yapısıyla ilgili ayrıntılı bilgi [16] nolu çalışmada yer almaktadır. Kurşun sönümleyici geometrisine ait bazı bilgiler (Şekil 2.7 ve 2.8) de yer almaktadır.



Şekil 2.7 : Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici (LED)



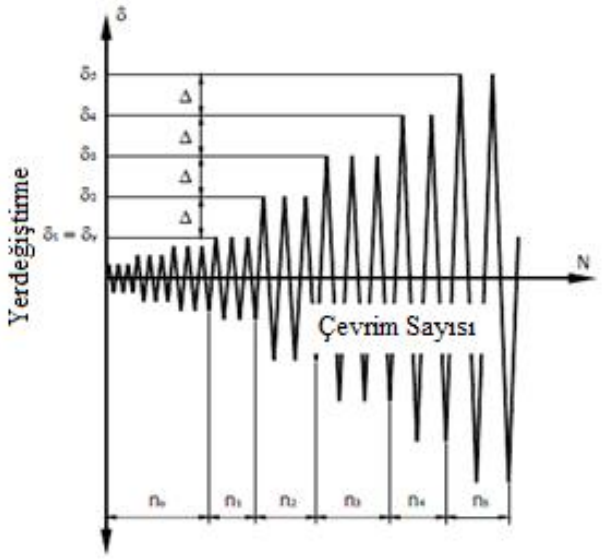
Şekil 2.8 : Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Bileşenleri

2.1.4 Yerdeğiştirme protokolü

Deneysel çalışmada kullanılacak olan yerdeğiştirme çevrimleri, ATC24-1992'de verilmiş olan protokole uygun olarak oluşturulmuştur. Burada belirtilen protokol, deney yapılan numunede akma meydana getirecek uç yerdeğiştirme değerinin (δ_y) üç katına kadar üçer çevrim, daha sonraki adımlarda ise yerdeğiştirme değerinin tam katlarında ikişer çevrim yapılmasını öngörmektedir. Uygulanacak ilk yerdeğiştirme

değeri, uç yerdeğiştirmenin 1/3, ikinci yerdeğiştirme değeri 2/3 katı, üçüncü yerdeğiştirme değeri ise uç yerdeğiştirme değerinin kendisi olmalıdır (Şekil 2.9).

Yerdeğiştirme çevrimleri yalın birleşim durumu için belirlenmiştir. Deneysel model SAP2000 programına modellenerek statik itme analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda birleşime ait akma yerdeğiştirmesi 6.60 mm olarak belirlenmiştir [16]. Yalın birleşim için belirlenen yerdeğiştirme protokolü sönümleyicili birleşim durumu için de kullanılmıştır.



Yerdeğiştirme Adımı	Çevrim Sayısı	δ_y	Yerdeğiştirme (mm)
1	3	1/3	2.20
2	3	2/3	4.40
3	3	1	6.60
4	3	2	13.20
5	3	3	19.80
6	2	4	26.40
7	2	5	33.00
8	2	6	39.60

Şekil 2.9 : Deneysel Çalışmada Kullanılan Yerdeğiştirme Protokolü

2.1.5 Ölçüm aletlerinin yerleştirilmesi

Deney sırasında elde edilmek istenen değerler yerdeğiştirme ölçer (transducer) ve şekildeğiştirme ölçer (strain-gauge) ile elde edilmiştir. Bu ölçerlerin yerleri kontrol edilmesi ve elde edilmesi istenen büyüklükler dikkate alınarak tespit edilmiş ve

yerleştirilmiştir. Pilot deneylerin de katkısıyla ihtiyaç duyulan yerdeğiştirme ölçer ve birim şekildeğiştirme ölçerler düzeneğe yerleştirilmiştir.

Düşey eleman üzerinde yük verenin olduğu hizada ve yük verene dik doğrultuda 3 adet yerdeğiştirme ölçer (CDP25, SDP100, SDP200) yerleştirilmiştir. Deneyin ilk adımları olan küçük yerdeğiştirme değerlerinde büyüklükler CDP25 üzerinden, daha sonraki adımlarda ise sırasıyla SDP100 ve SDP200 üzerinden alınarak tespit edilmiştir. Sönümleyicili ve yalın deneylerde farklı davranış meydana geleceği bilindiğinden, sönümleyicinin düşey eleman ile birleşim noktasında kuvvet yönüne paralel doğrultuda CDP50 yerdeğiştirme ölçeri yerleştirilmiştir.

Kiriş ve kolon birleşim bölgesinde dönmelerin hesaplanabilmesi için düşey elemanın yatay eleman doğrultusundaki her iki tarafına da sırasıyla CDP5 ve CDP25 yerdeğiştirme ölçerleri yerleştirilmiştir. Dönme değerleri, küçük dönmelerin olacağı ilk adımlarda daha hassas okuma yapan CDP5, sonraki adımlarda ise CDP25 üzerinden okunmuştur. Yine sönümleyicinin düşey elemanla olan birleşim bölgesinde, düşey elemanın her iki başlığına CDP5 ve CDP25 yerdeğiştirme ölçerleri yerleştirilerek, sönümleyicili birleşim ile yalın birleşim deneylerinde o bölgedeki dönme değerleri karşılaştırılmıştır.

Alınan değerlerin sağlamlığından emin olabilmek için, deney düzeneğine kontrol amaçlı yerdeğiştirme ölçerler de konulmuştur. Kuvvet doğrultusuna dik ve düşey elemanın üst ucuna CDP50 yerdeğiştirme ölçeri konularak düzlem dışı hareketin hangi sınırlarda kaldığı tespit edilmiştir.

Yatay elemanda kalkma meydana gelip gelmediğini tespit etmek için, yatay elemanın üst başlığına sağ ve sol uçlarında yerçekimi doğrultusunda CDP10 yerdeğiştirme ölçeri yerleştirilmiştir. Aynı şekilde yatay elemandaki çökmenin hangi mertebelerde olduğunu tespit etmek amacıyla birleşim bölgesinde yatay elemanın alt başlığına dik doğrultuda CDP10 yerdeğiştirme ölçeri yerleştirilmiştir.

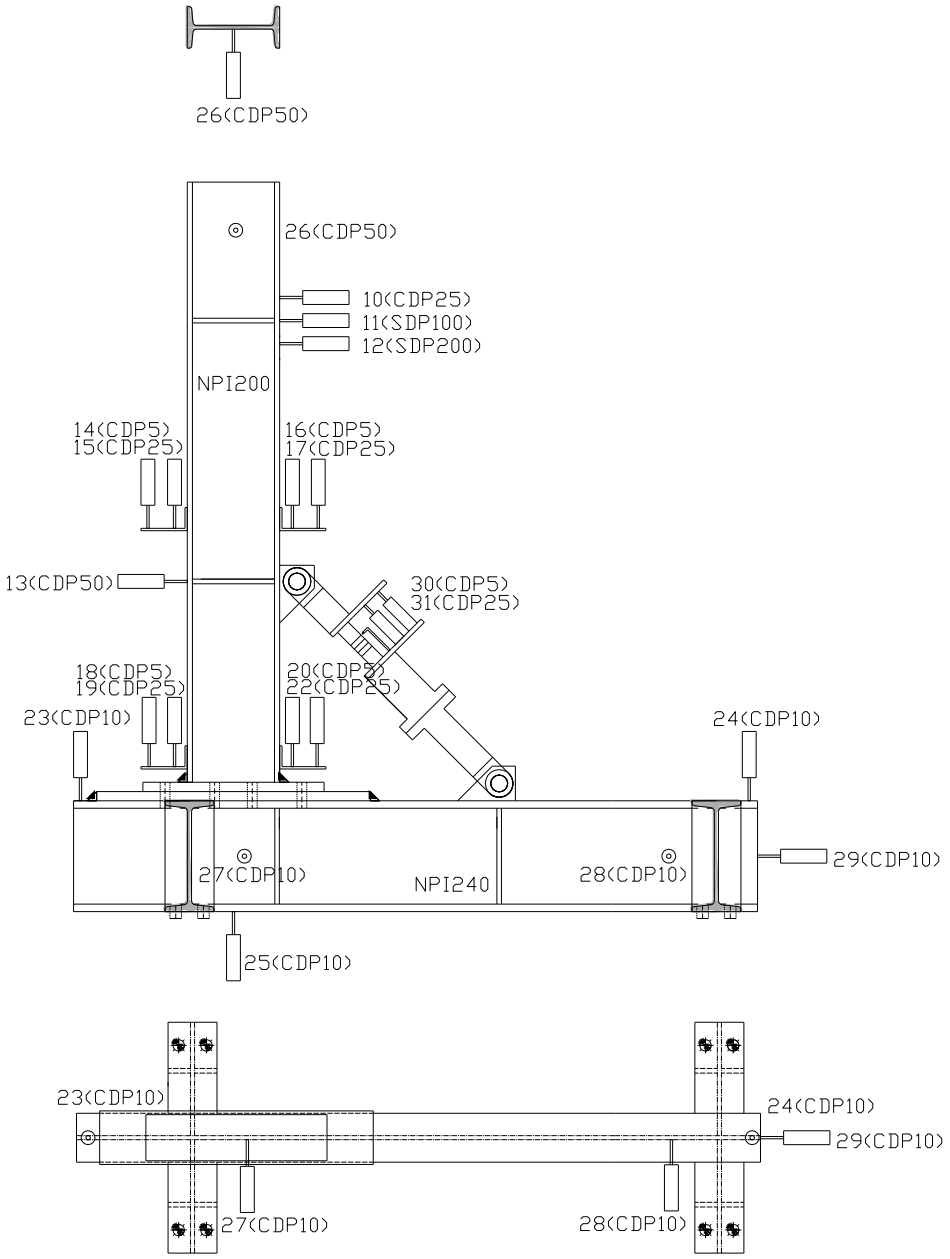
Yatay elemanda kuvvet doğrultusunda meydana gelecek olan kaymayı tespit edebilmek için yatay elemanın sağ ucuna kuvvete dik doğrultuda CDP10 yerdeğiştirme ölçeri yerleştirilmiştir.

Ayrıca sönümleyicili deneylerde sönümleyicinin hareketini tespit edebilmek için, üst başlık ve şaft arasında, sönümleyici doğrultusunda CDP5 ve CDP25 yerdeğiştirme ölçerleri konulmuştur. (Şekil 2.10).

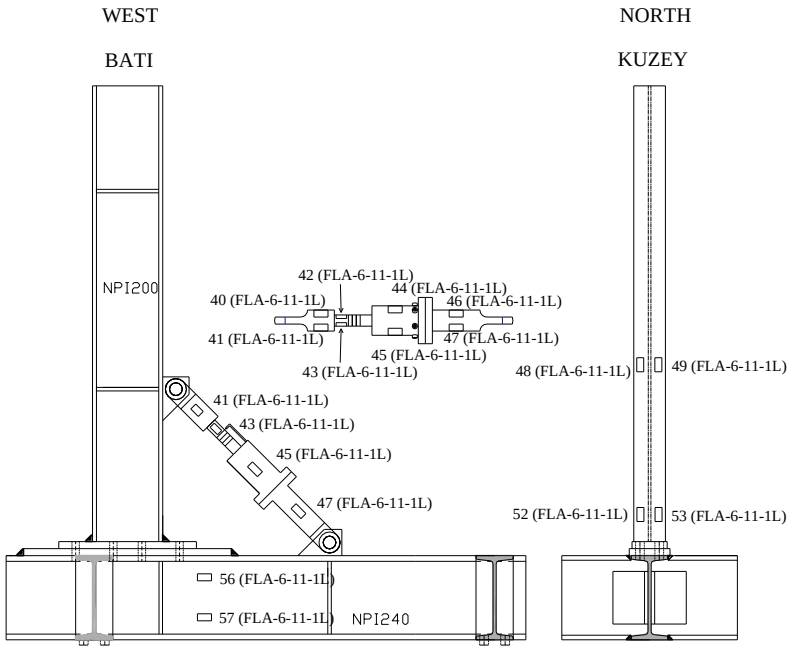
Yatay eleman, düşey eleman ve sönümleyici üzerlerindeki şekildeğiştirmeleri ölçmek amacıyla belirli bölgelere şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Sönümleyici ile düşey eleman ve yatay eleman ile düşey eleman birleşimlerinin olduğu bölgelerde düşey elemanın alt ve üst başlıklarına şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Her bir bölgeye 2 adet şekildeğiştirme ölçer yerleştirilerek, deney sonunda bu 2 değerin ortalaması alınarak bölgelerdeki birim şekildeğiştirmeler tespit edilmiştir.

Yatay elemanın gövdesinin iki tarafına üst ve alt bölgelere şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir.

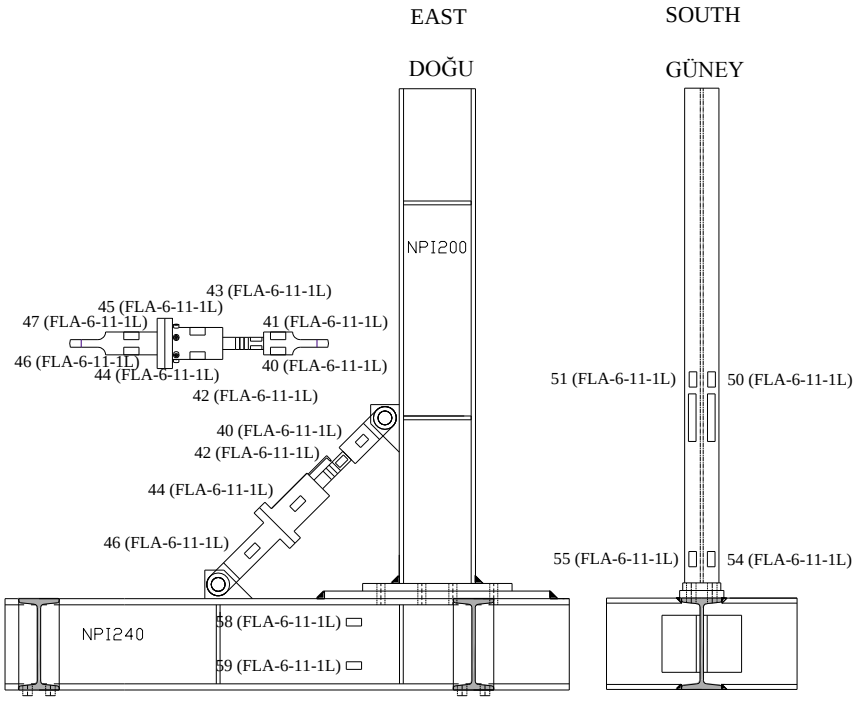
Ayrıca sönümleyici üzerindeki şekildeğiştirmeleri tespit edebilmek için üst başlık, şaft, gövde ve alt başlığa 2şer adet şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Her bir bölgede alınan 2 değerin ortalaması alınarak bu bölgelerdeki şekildeğiştirmeler tespit edilmiştir (Şekil 2.11 ve 2.12).



Şekil 2.10 : Yerdeğiştirme Ölçerlerin Deney Düzeneğine Yerleştirilmesi



Şekil 2.11 : Birim Şekildeğiştirme Ölçerlerin Deney Düzeneğine Yerleştirilmesi (Batı ve Kuzey)



Şekil 2.12 : Birim Şekildeğiştirme Ölçerlerin Deney Düzeneğine Yerleştirilmesi (Doğu ve Güney)

3. DENEYSEL ÇALIŞMANIN SONUÇLARI

3.1 Numune Deneyi

Sönümleyicinin davranışını hakkında fikir sahibi olabilmek için eleman deneyi yapılmıştır. Deney düzeneği için 2 adet UNP120 profili 4 adet 25'lik bulonlarla rijitleştirilip, üstüne bu iki profilin ortasında profillere dik doğrultuda 2 adet UNP140 profilleri 17'lik bulonlarla bağlanmış ve rijitleştirilmiştir. Bunun da üzerine 68 mm çaplı 300 mm yükseklikli boru, profile kaynaklanmıştır. Boru profilin üstünde kaynakla bağlanmış bulunan yine 20 mm kalınlığında levha ile sönümleyici 4 adet 12'lik bulonlarla bağlanmıştır. Ardından üzerine yükölçer ve onun üstüne ise hidrolik veren bağlanarak deney düzeneği hazır hale getirilmiştir, (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Numune Deneyi Düzeneği

Deneye önce basınç adımından başlanmış ve yaklaşık 120 kN seviyesine çıkılmıştır. Bu basınç altında kurşunun göreli yerdeğiştirmesi yaklaşık 0.3 mm olmuştur. Daha

sonra çekme adımına gelindiğinde yaklaşık -50 kN seviyesinde -0.005 mm'lik çok küçük bir uzama gerçekleşmiştir. Çekme yükü azalmaya başladığında yerdeğiştirmenin hızla arttığı -50 kN seviyesinde iken yerdeğiştirme -0.005 mm iken, -40 kN seviyesine gelindiğinde yerdeğiştirmenin birden artarak -0.4 mm'ye çıktığı ve -25 kN seviyesine kadar yerdeğiştirmenin artarak -1.165 mm olduğu gözlenmiştir. Ancak iki farklı yerden alınan yerdeğiştirmeler incelendiğinde, -50 kN dan geri gelinmeye başlandığında şafta bağlı olan CH12'nin, azalması beklenirken, hızlı bir şekilde artması, ancak gövdeye bağlı olan CH13'ün ise çok fazla yerdeğiştirmesinde değişiklik yapmaması göreli ötelenmenin birden artmasına neden olmuştur. Yeniden basınç adımında, yaklaşık 125 kN seviyesinde yerdeğiştirmenin yaklaşık olarak 0.5 mm olduğu görülmüştür. Tekrar geri dönüldüğünde -50 kN çekme seviyesinde göreli ötelenmenin -2.75 mm olduğu görülmüştür. Basınç adımı tamamlandığında, basınç yükü 0'a yaklaşırken yerdeğiştirmenin çok olmadığı, ancak yük negatif (çekme) değerler almaya başladığında yerdeğiştirmenin hızlıca arttığı gözlenmiştir. Bu da basınç durumunda kürenin üst kısmında boşluğun oluştuğu, basınç yükünün azalmasıyla da, kurşunun küreye yaptığı basınç ile o boşluğun hızlıca azaldığı ve yerdeğiştirmenin bu yüzden çekmenin ilk adımlarında hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür. Tekrar çekmedeki en büyük yükten dönüldüğünde yerdeğiştirme önce artmış (yaklaşık -2.9 mm) daha sonra azalmaya başlamıştır. 3. adım sonunda 120 kN basınç altında 0.55 mm yerdeğiştirme, -120 kN çekme altında -4.34 mm yerdeğiştirme olmuştur. 4. adım sonunda basınçta 170 kN seviyesine kadar çıkılmıştır. Ancak bu yük altında şaft burkulup, yük hızlıca azalıp yerdeğiştirme hızlı bir şekilde artmıştır (39 kN, 3.8 mm). Çekmede ise 200 kN seviyesine kadar gelinmiş ve göreli yerdeğiştirme -6.25 mm olmuştur. 5. adımda, şaft burkulduğu için daha fazla yük taşıyamayacağından basınçta 50 kN seviyesine kadar çıkılmıştır, (-4.33 mm yerdeğiştirme). Çekmede ise -200 kN mertebesinde -7.64 mm yerdeğiştirme olmuştur. Daha sonra yerdeğiştirme artışı bir süre devam etmiş, sistem üzerindeki yük boşaltıldığında kalıcı yerdeğiştirmenin -7.5 mm mertebesinde olmuştur.

3.2 Çerçeve Deneyleri



Şekil 3.2 : Deney Numunesi - Yalın ve LED'li Birleşim

Tasarımı yapılan kiriş ve kolonların imalatı Alfa Çelik firması tarafından yapılmıştır. Deneysel çalışma için 5 adet kiriş ve 1 adet kolon imal edilmiştir.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin çelik bir birleşimin davranışına olan etkisini araştırabilmek için öncelikle yalın birleşimin davranışı elde edilip, daha sonra birleşime LED yerleştirilip çelik birleşimin davranış şeklindeki değişim, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında yapılan yerdeğiştirme kontrollü deneyler ile araştırılmıştır (Şekil 3.1).

Öngörülen deney sayısı olarak 4+1 olacak şekilde toplamda 5 adet deney düşünülmüştür. Bu deneylerden ilki doğrusal sınırı geçmeyecek şekilde sistemin düzgün bir şekilde çalışıp çalışmadığını test etmek için kullanılmıştır. Amaç sistemin çalışabilirliğini test etmek olduğu için numune ve birleşim bölgelerine zarar vermeyecek şekilde küçük yerdeğiştirmelerle hazırlık deneyi yapılmıştır.

3.2.1 Deney no : 1 – sönümleyicili pilot çerçeve

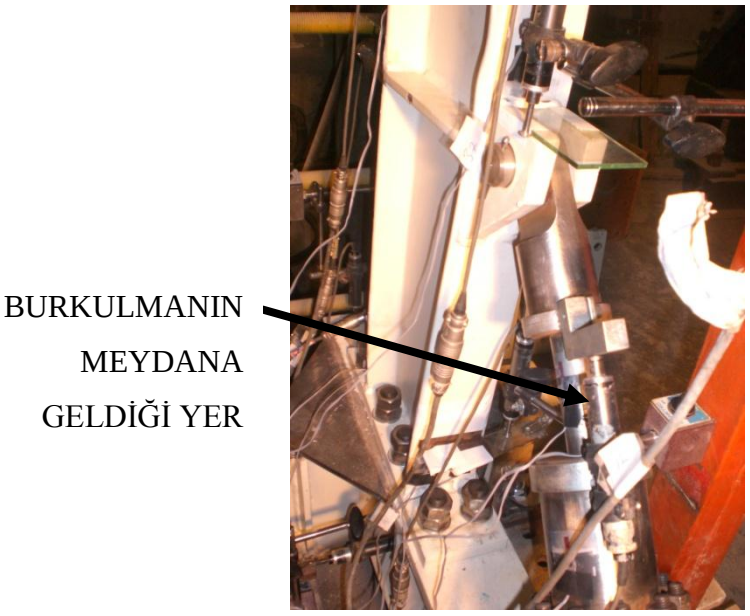
Yapılan ilk deneyde önceden belirlenen yerdeğiştirme protokolü uygulanacak şekilde deneye başlanmıştır. 3δy (19.80 mm)'ye kadar 3er çevrim, daha sonra ise deneyin sonuna kadar 2şer çevrim yapılmak suretiyle çerçeveye yerdeğiştirme uygulanmıştır. 1/3δy yerdeğiştirme değerinde ilk çevrimin ilk adımında numuneye 2.12 mm itme uygulandığında 9.76 kN'luk bir yük oluşmuştur. Aynı çevrimin ikinci adımında ise 2.22 mm çekme uygulandığında -10.66 kN'luk yük kapasitesine ulaşıldığı görülmüştür. İlk adımda sönümleyici üzerindeki yerdeğiştirmede herhangi bir değer

artışı gözlenmemiştir. Bu da ilk adımda sönümleyicinin henüz devreye girmediğini göstermektedir. İkinci yerdeğiştirme değerinde ise yük kapasitelerinin itme adımlarında 21 kN dolaylarında, çekme adımlarında da itme adımlarına paralel olarak 21 kN dolaylarında olduğu görülmüştür. Bu adımda sönümleyici üzerindeki yerdeğiştirmelere bakıldığında basınç etkisi altında -0.16 mm mertebesinde bir yerdeğiştirme oluştuğu ve sönümleyicinin artık devreye girmeye başladığı görülmüştür. Lineer sınır olan δy yerdeğiştirme değerinde ise itme adımlarında 45 kN yük mertebelerine ulaşılırken, çekme adımlarında 30 kN'luk yük kapasitesine ulaşıldığı görülmüştür. 2δy değerine ulaşıldığında basınç etkisi altında yük 80 kN mertebelerinde iken çekme etkisi altında yükün 50 kN mertebelerinde olduğu görülmüştür. İtme ve çekme adımları arasındaki yük mertebelerindeki bu farklılık sönümleyicinin çalışmaya başladığını göstermektedir. Bu adımda sönümleyicinin üzerindeki yerdeğiştirme ölçerden alınan verilere bakıldığında basınç etkisi altında yerdeğiştirmenin 1.5 mm mertebelerine ulaşırken, çekme etkisi altında yerdeğiştirmenin 0.7 mm mertebelerinde olduğu ve negatif değerlere ulaşmadığı yani uzama olmadığı görülmüştür. Sönümleyicinin içerisinde bulunan kurşunun basınç etkisi altında sıkıştığı ve şaftın arkasında oluşan boşluktan dolayı çekme etkisi altında daha düşük bir yük kapasitesine ulaştığı yorumunda bulunulmuştur. Çekme etkisi altında oluşan 0.7 mm mertebelerindeki yerdeğiştirmenin de bu boşluktan meydana geldiğini ve sönümleyicinin basınçta çalışmaya başladığı ancak çekmede henüz çalışmaya başlamadığını göstermektedir. 3δy yerdeğiştirme değerine gelindiğinde, yük kapasitesinin artık basınçta da çekmede de 100 kN mertebelerinde olduğu ve sönümleyicinin artık çekme etkisi altında da çalışmaya başladığı görülmüştür. Basınç etkisi altında sönümleyicide oluşan yerdeğiştirmenin 2.5 mm mertebelerine ulaştığı ve çekme etkisi altında ise yerdeğiştirmenin -0.50 mm mertebelerinde olduğu ve kurşunun artık çekme adımlarında da sıkışmaya başladığı görülmüştür. 3δy yerdeğiştirme değerinde birleşime uygulanan 19.80 mm'lik yerdeğiştirme altında sönümleyicide 2.5 mm mertebelerinde yerdeğiştirme oluşmuştur. Sönümleyici üzerinde bulunan CDP5'lik yerdeğiştirme ölçerin tamamen kapandığı ve bu sebeple değiştirilmek zorunda kalınmıştır. Bunun için CDP5 yerinden çıkarılıp, CDP25 koyulmuştur ve CDP25 adaptasyonu için 22 mm yerdeğiştirmeli ara bir çevrim yapılmıştır. Daha sonra deneye kalındığı yerden devam edilmiştir. 4δy yerdeğiştirme değerinde basınçta yük 120 kN

mertebelerindeyken, çekmede 130 kN mertebelerine ulaşmıştır. Çekme adımında oluşan yükün basınç adımındaki yükten daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak sönümleyici üzerindeki yerdeğiştirmelere bakıldığında basınç etkisi altında yerdeğiştirme 5.00 mm mertebelerine ulaşmışken, çekme etkisi altında 0.30 mertebelerinde olduğu görülmüştür. Bu da basınç etkisi altında şaftın ön tarafında bulunan kurşunun aktığı ancak çekme etkisi altında şaftın arka tarafında bulunan kurşunun henüz akmadığının yorumu yapılmıştır. 5δy yerdeğiştirme değerinin ilk çevriminin ilk adımında 33.20 mm itme değerinde sönümleyici üzerinde burkulma meydana gelmiştir (Şekil 3.3).

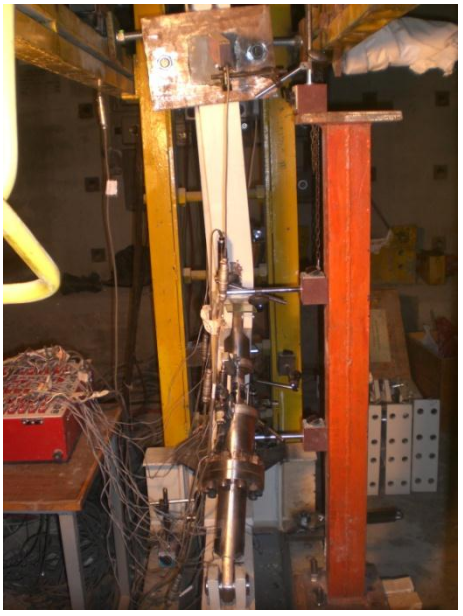
Çizelge 3.1 : 1. Deneye Ait Sönümleyicideki Yerdeğiştirme Değerleri

Yük	Tepe Deplasman	LED	Yük	Tepe Deplasman	LED
kN	mm	mm	kN	mm	mm
9.80	2.12	0.01	-52.60	-13.30	0.74
-10.66	-2.22	0.01	81.30	13.58	1.59
11.01	2.43	0.01	-52.35	-13.16	0.75
-10.46	-2.16	0.01	78.74	13.20	1.62
10.94	2.40	0.01	-51.18	-13.28	0.79
-10.77	-2.24	0.01	115.90	20.02	2.56
20.72	4.35	-0.16	-105.23	-21.14	-0.47
-20.77	-4.36	0.03	104.55	20.08	2.54
23.39	4.66	-0.16	-98.70	-20.92	-0.58
-20.99	-4.39	0.02	107.25	20.72	2.56
21.00	4.43	-0.16	-96.27	-20.80	-0.70
-21.00	-4.37	0.02	113.35	22.04	3.61
44.19	6.55	0.03	-113.46	-22.68	-0.07
-29.67	-6.50	0.03	121.53	26.72	5.00
45.41	6.71	0.07	-132.58	-26.58	-0.33
-30.32	-6.61	0.05	122.08	27.72	5.26
46.44	6.77	0.10	-132.12	-26.56	-0.29
-29.89	-6.58	0.07	132.58	33.28	6.73
79.10	13.44	1.64			

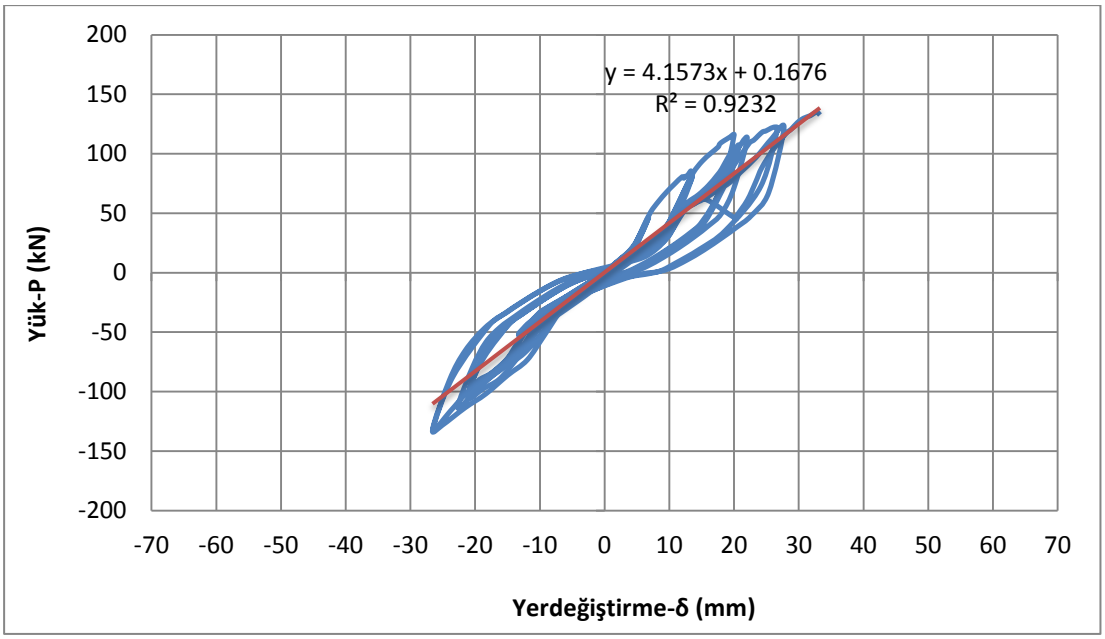


Şekil 3.3 : Sönümleyici Üzerinde Oluşan Burkulma

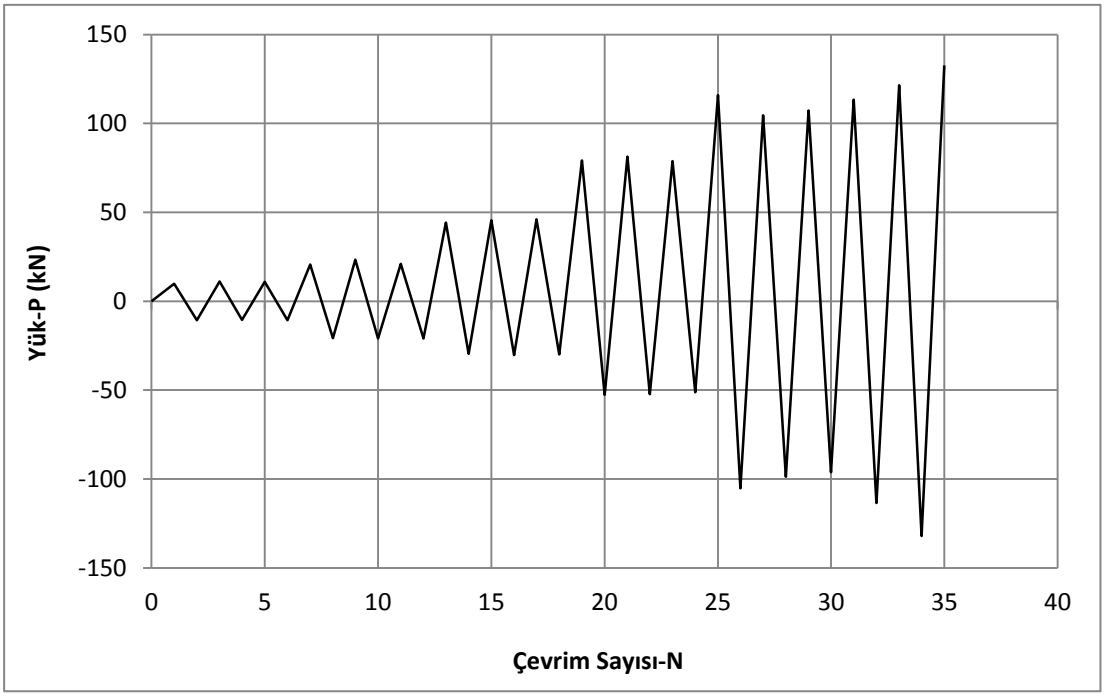
Sönümleyicide meydana gelen burkulma, kirişte meydana gelen burulmadan kaynaklandığı görülmüştür, (Şekil 3.4). Düzlemdışı hareketi engelleyen levhaların yetersiz kalması ve sönümleyicinin eksenel doğrultuda yapıya rijitlik katması, kirişin düzlemdışı hareket etmesine neden olmuştur. Deney sırasında düzlemdışı yerdeğiştirmenin 5.00 mm mertebelerine ulaştığı görülmüştür.



Şekil 3.4 : Kirişte Oluşan Burulma (Doğu Görünüşü)

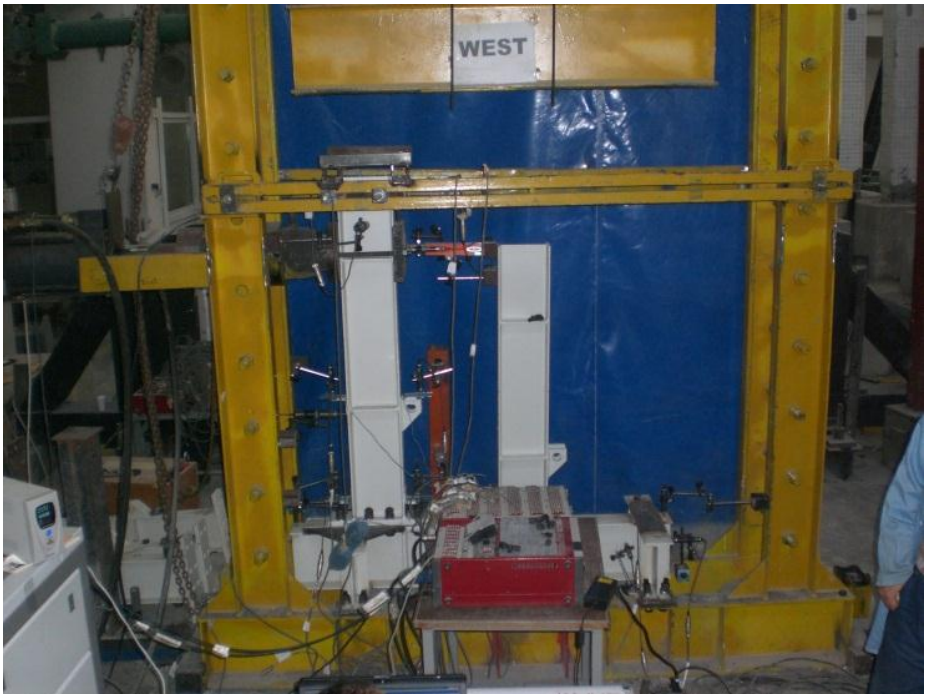


Şekil 3.5 : 1. Deneye Ait Yerdeğiştime Değerlerine Göre P – N Grafiği



Şekil 3.6 : 1. Deneye Ait P – δ Grafiği

3.2.2 Deney no : 2 – yalın pilot çerçeve



Şekil 3.7 : Deney Düzeneği – Güney Görünüşü

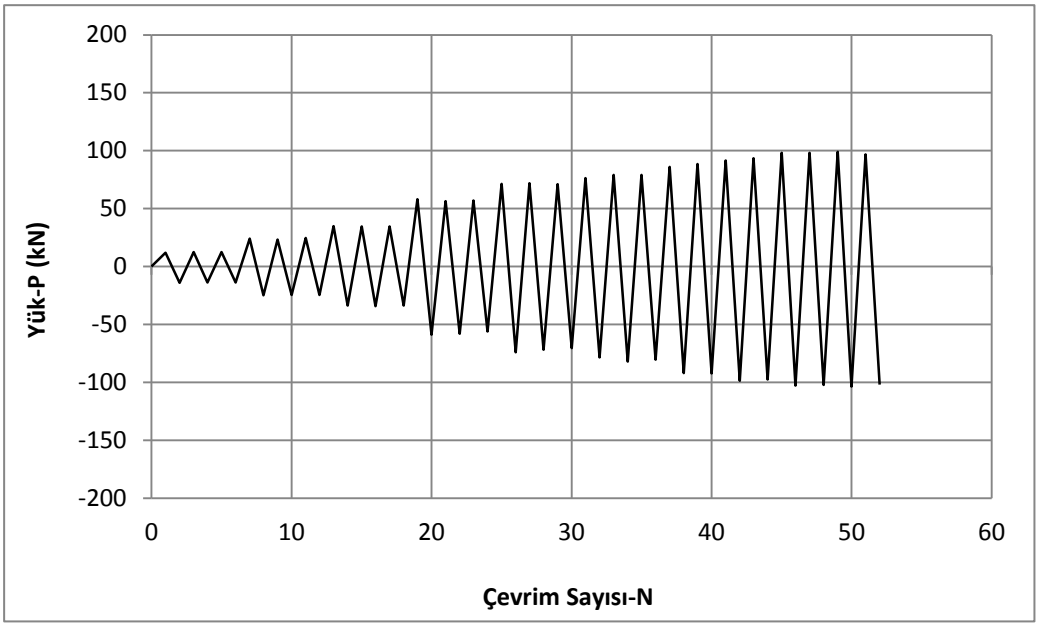
2. deney öncesinde, birinci deney sırasında ortaya çıkan problemlerin çözümleri için çalışmalar yapılmıştır. Bir önceki deneyde kirişte meydana gelen burulmanın çözümü olarak kirişi düzlemdışı tutacak yeterlilikte bir levha yerleştirilmiştir.

Birleşim bölgesindeki dönmeleri okuyan kirişin sağ ve sol taraflarında bulunan CDP5'lerin önceki deneyde kapanmasından dolayı, sol ve sağ dönmelere CDP5'in yanı sıra birer tane de CDP25 konularak, deneye CDP5'in kapanacağı ileriki adımlarda CDP25'ten alınan verilerle devam edilebilmesi mümkün hale getirilmiştir.

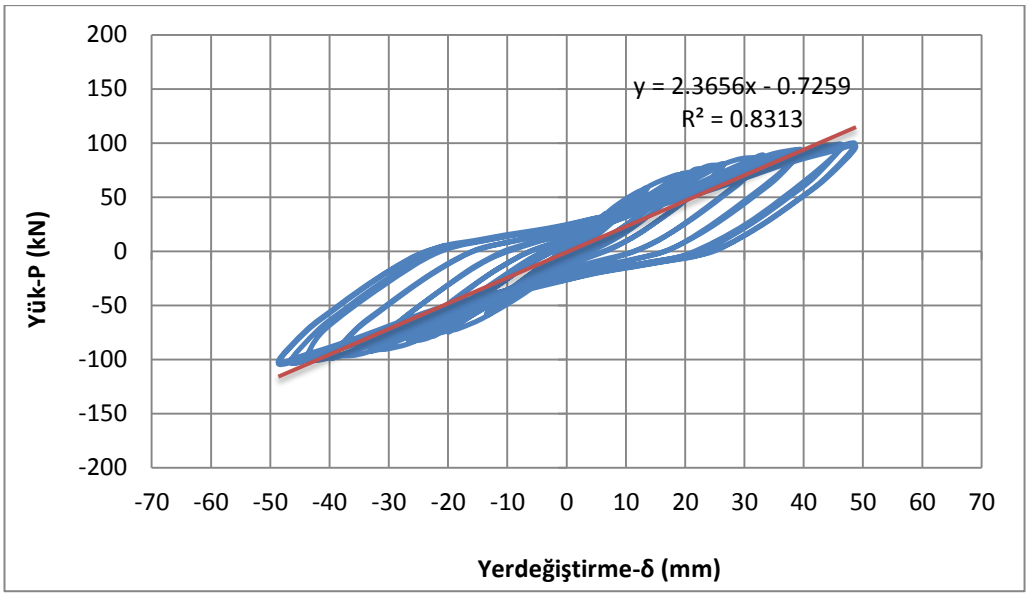
Çizelge 3.2 : 2. Deneye Ait Yük Yerdeğiştirme Değerleri

	Tepe		Çevrim 1				Çevrim 2				Çevrim 3			
Δy	Deplasman	Tekrar	+		-		+		-		+		-	
%	mm	Adet	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)
0.333	2.20	3	11.90	2.16	-14.19	-2.21	12.37	2.25	-13.88	-2.25	12.46	2.16	-13.72	-2.21
0.666	4.40	3	24.08	4.42	-25.00	-4.50	23.30	4.40	-24.52	-4.37	24.67	4.45	-24.50	-4.50
1	6.60	3	34.72	6.60	-34.61	-6.57	34.64	6.52	-34.25	-6.57	34.80	6.55	-34.15	-6.60
2	13.20	3	58.50	13.30	-59.00	-13.50	56.71	13.10	-58.00	-13.50	57.40	13.22	-56.02	-13.36
3	19.80	3	72.20	19.90	-74.00	-20.00	71.88	19.70	-72.00	-19.80	71.16	19.72	-70.54	-19.70
4	26.40	2	81.06	26.40	-83.00	-26.50	79.82	26.40	-82.23	-26.42				
5	33.00	2	87.69	33.08	-92.00	-33.00	88.60	33.20	-92.20	-33.20				
6	39.60	2	93.30	39.60	-98.61	-39.64	93.50	39.60	-97.50	-39.60				
7	46.20	2	98.25	46.20	-102.96	-46.40	98.05	46.40	-102.37	-46.40				

Yalın pilot deneyi sonucunda (7δy) 46.20 mm yerdeğiştirme adımında 100 kN mertebelerinde kuvvet meydana gelmiştir, (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).



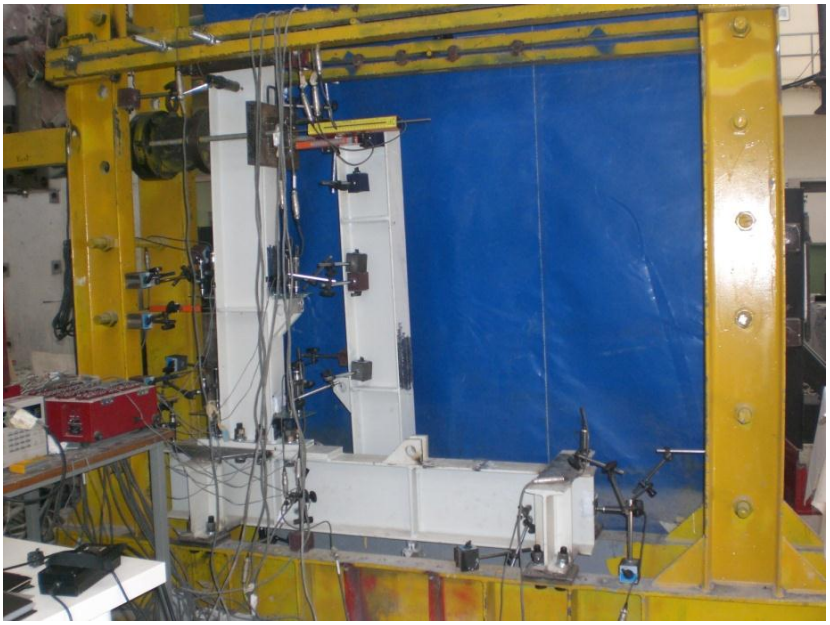
Şekil 3.8 : 2. Deneye Ait P – N Grafiği



Şekil 3.9 : 2. Deneye Ait P – δ Grafiği

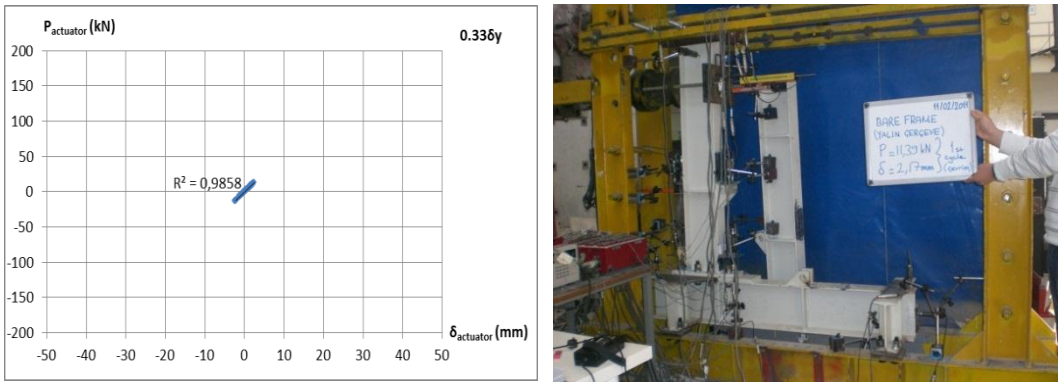
3.2.3 Deney no : 3 – yalın çerçeve

İlk iki pilot deneyde karşılaşılan sorunların hepsi düzeltilerek, üçüncü deney yalın çerçeve olarak yapılmıştır. Bu deneyde son adımların da yapılabilmesi için tepe yerdeğiştirmesine SPD200 de eklenmiştir, (Şekil 3.10).



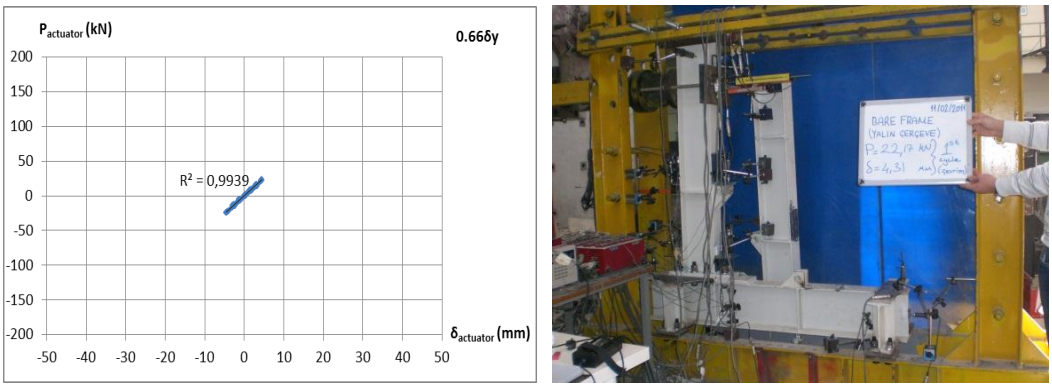
Şekil 3.10 : 3. Deney Düzeneği

Deneyin ilk yerdeğiştirme değerinde (0.33δy) 2.2 mm'lik tepe yerdeğiştirmesi uygulandığında itme adımlarında 11.50 kN mertebelerinde yük kapasitesine ulaşmıştır, çekme adımlarında ise ulaşılan yük 13.00 kN mertebelerinde olmuştur, (Şekil 3.11).



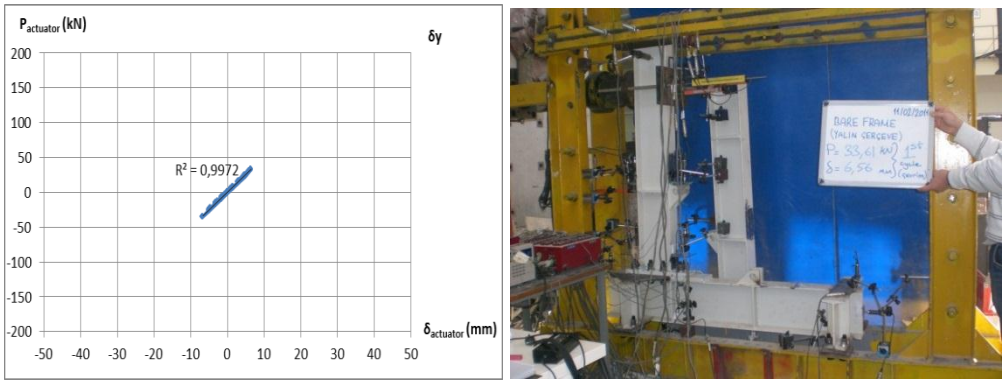
Şekil 3.11 : 1. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği

0.66δy adımında yükün lineer bir şekilde artarak ilk adımdaki yükün 2 katı olan 22 kN mertebelerinde olduğu görülmüştür, (Şekil 3.12).



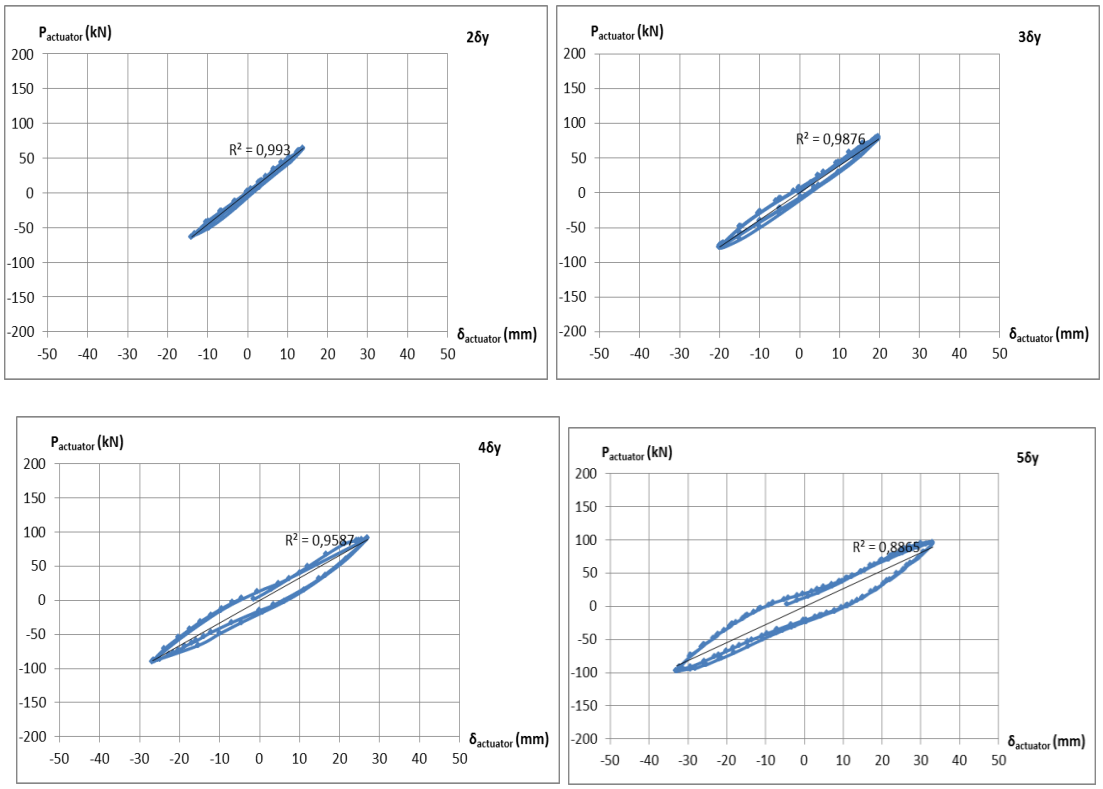
Şekil 3.12 : 2. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği

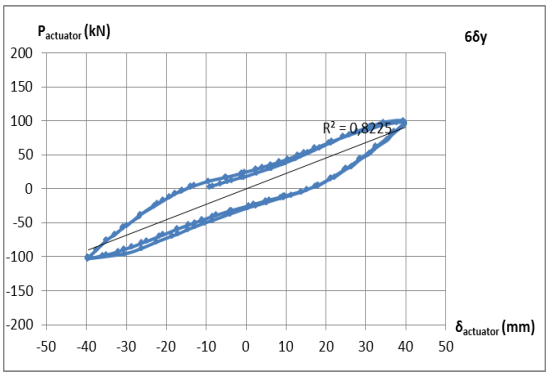
1δy yerdeğiştirme değerinde ise itme ve çekme adımlarında 33 kN mertebelerinde yük değerleri okunmuştur. İlk iki adımla kıyaslandığında yükün orantılı bir şekilde arttığı ve lineer sınırın altında olduğu görülmüştür, (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : 3. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği

2δy yerdeğiştirme adımında yükün 60 kN mertebelerine ulaştığı gözlenmiştir. 3δy yerdeğiştirme adımına gelindiğinde yükün 80 kN mertebelerinde olduğu görülmüştür. Çelikte akma meydana geldiği için sonraki adımlarda yerdeğiştirme adımlarında rijitliğin daha da azaldığı ve daha düşük yük artımlarıyla hedef yerdeğiştirmelere ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca yerdeğiştirme adımlarının her birine ait çevrimler içerisindeki alanın değişimi incelendiğinde tüketilen enerji miktarının arttığı görülmüştür, (Şekil 3.14).



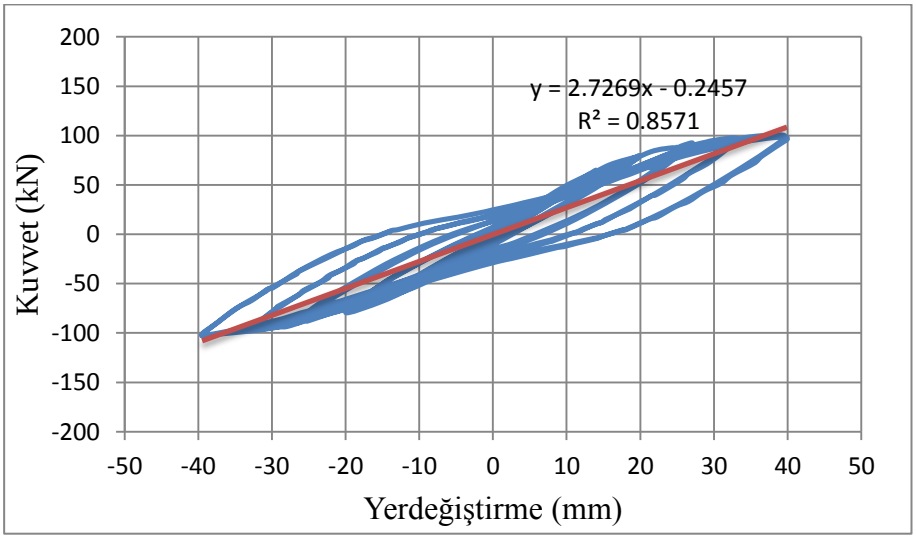


Şekil 3.14 : 2δy ve Daha Sonraki Yerdeğiştirme Adımlarında P- δ Grafiği

Çizelge 3.3 : 3. Deneye Ait Yük Yerdeğiştirme Değerleri

	Tepe		Çevrim 1				Çevrim 2				Çevrim 3			
Δy	Deplasman	Tekrar	+		-		+		-		+		-	
%	mm	Adet	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)
0.333	2.20	3	11.39	2.17	-13.29	-2.24	11.39	2.18	-12.67	-2.20	13.06	2.50	-12.74	-2.22
0.666	4.40	3	22.17	4.31	-23.37	-4.32	23.08	4.51	-24.04	-4.48	22.70	4.35	-24.16	-4.53
1	6.60	3	33.61	6.56	-34.90	-6.68	33.33	6.51	-34.31	-6.61	33.46	6.55	-34.40	-6.65
2	13.20	3	60.88	13.14	-60.08	-13.16	61.13	13.22	-63.36	-14.00	64.90	14.00	-58.22	-13.14
3	19.80	3	78.89	19.80	-79.00	-20.00	79.63	19.88	-77.06	-19.76	78.24	19.74	-75.58	-19.70
4	26.40	2	91.36	27.00	-88.79	-26.42	88.98	26.70	-89.55	-26.80				
5	33.00	2	97.12	33.08	-97.16	-33.00	95.42	33.16	-97.16	-32.96				
6	39.60	2	99.84	39.60	-102.26	-39.50	97.97	39.90	-102.15	-39.50				
7	46.20	2	98.75	46.18	-106.83	-46.30	58.60	46.50	-103.44	-46.12				

Yük yerdeğiştirme grafiğine bakıldığında, rijitliğin 2.72 kN/mm değerinde olduğu görülmüştür. Ayrıca maksimum ulaşılan yük basınç ve çekme etkisi altında 100 kN mertebelerinde olmuştur. Yerdeğiştirme ise itme ve çekme değerlerinde 40 mm mertebelerinde olduğu görülmüştür, (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 : 3. Deneye Ait P – δ Grafiği

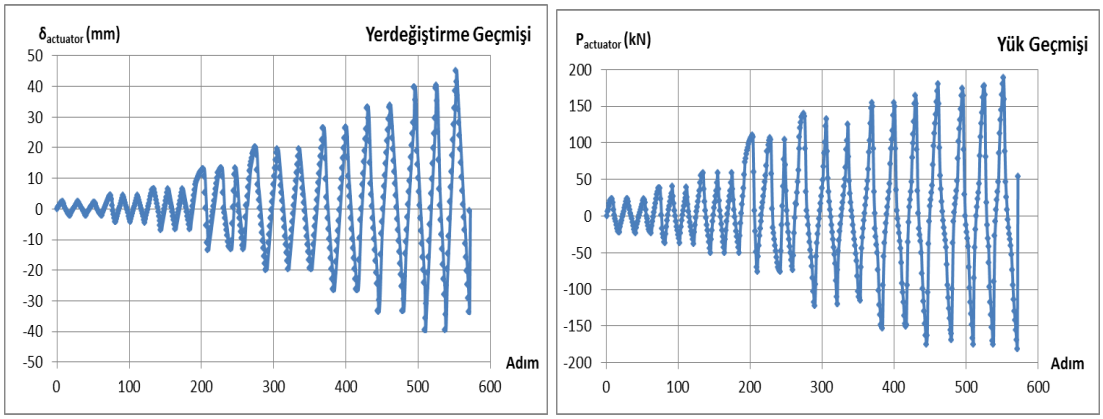
3.2.4 Deney no : 4 – sönümleyicili çerçeve

Yapılan son deney olarak sönümleyicili çerçeve düzeneği hazırlanmıştır. Bir önceki deneye ek olarak kolon kiriş birleşimine kurşun ekstrüzyon sönümleyici yerleştirilerek, birleşime kazandıracağı rijitlik farkı ve tüketilen enerjideki değişim araştırılmıştır, (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : 3. Deneye Ait P – δ Grafiği

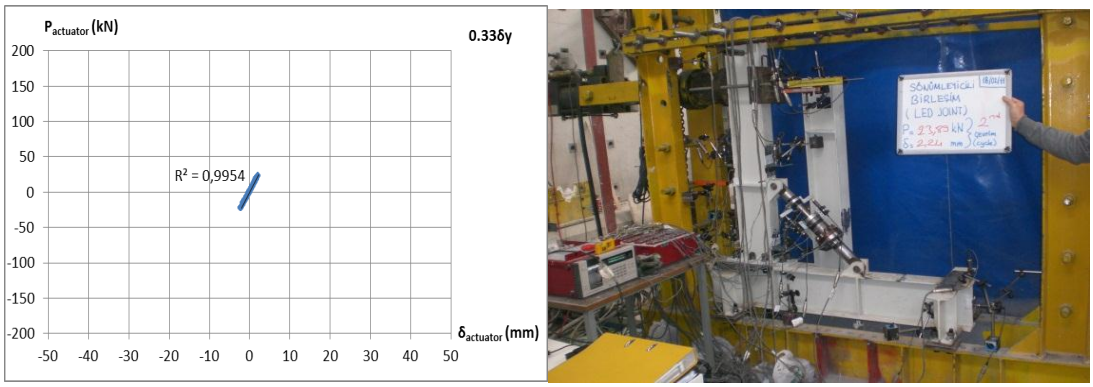
Deneyler öncesinde belirlenen yerdeğiştirme protokolü bu deney düzeneğine de uygulanmıştır. Yerdeğiştirme kontrollü deney sonucunda 45 mm yerdeğiştirme mertebelerinde yükün 200 kN mertebelerine yaklaştığı görülmüştür, (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 : 3. Deneye Ait δ-Adım ve P – Adım Grafiği

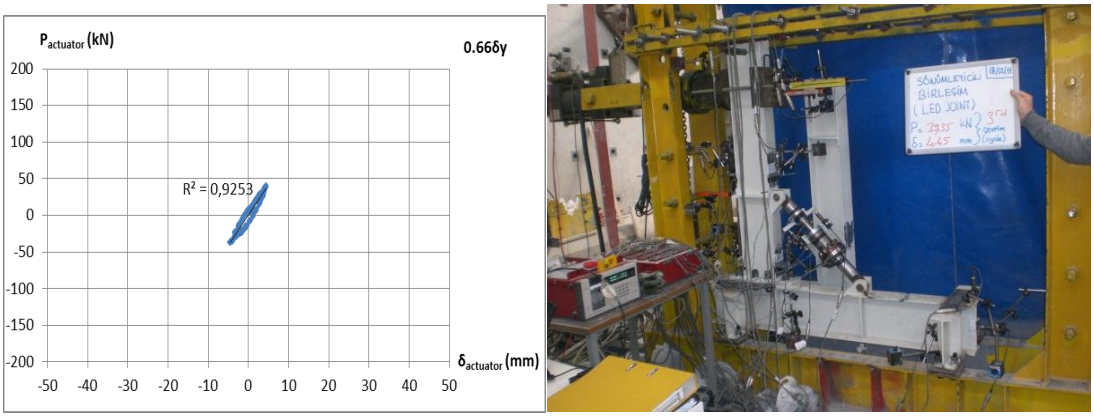
İlk yerdeğiştirme değeri olan 0.33δy yerdeğiştirmesinde ulaşılan yük 24 kN mertebesinde olmuştur. Bir önceki yalın çerçeve deneyinin ilk adımına bakıldığında

bu yükün 11 kN mertebesinde olduğu görülmektedir. Bu da sönümleyicinin etkisinin ilk adımdan itibaren olduğunu göstermektedir, (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 : 1. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği

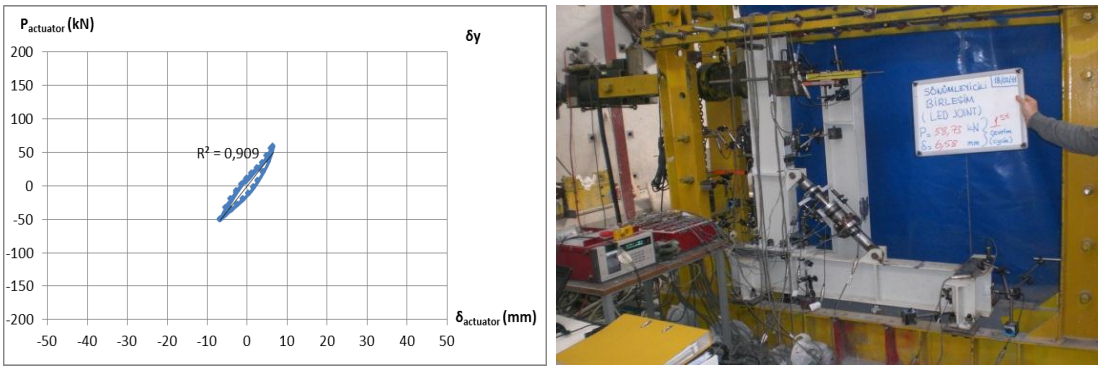
2. yerdeğiştirme değerinde (0.66 δy) itme adımında yükün 40 kN mertebelerinde, çekme adımında ise 36 kN mertelebelerinde olduğu görülmüştür. Ancak yalın çerçevede görüldüğü gibi, bu deneyde itme ve çekme adımlarının lineer olmadığı ve henüz 2. yerdeğiştirme adımında gözle görülür bir enerji tüketimi olduğu görülmüştür, (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 : 2. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği

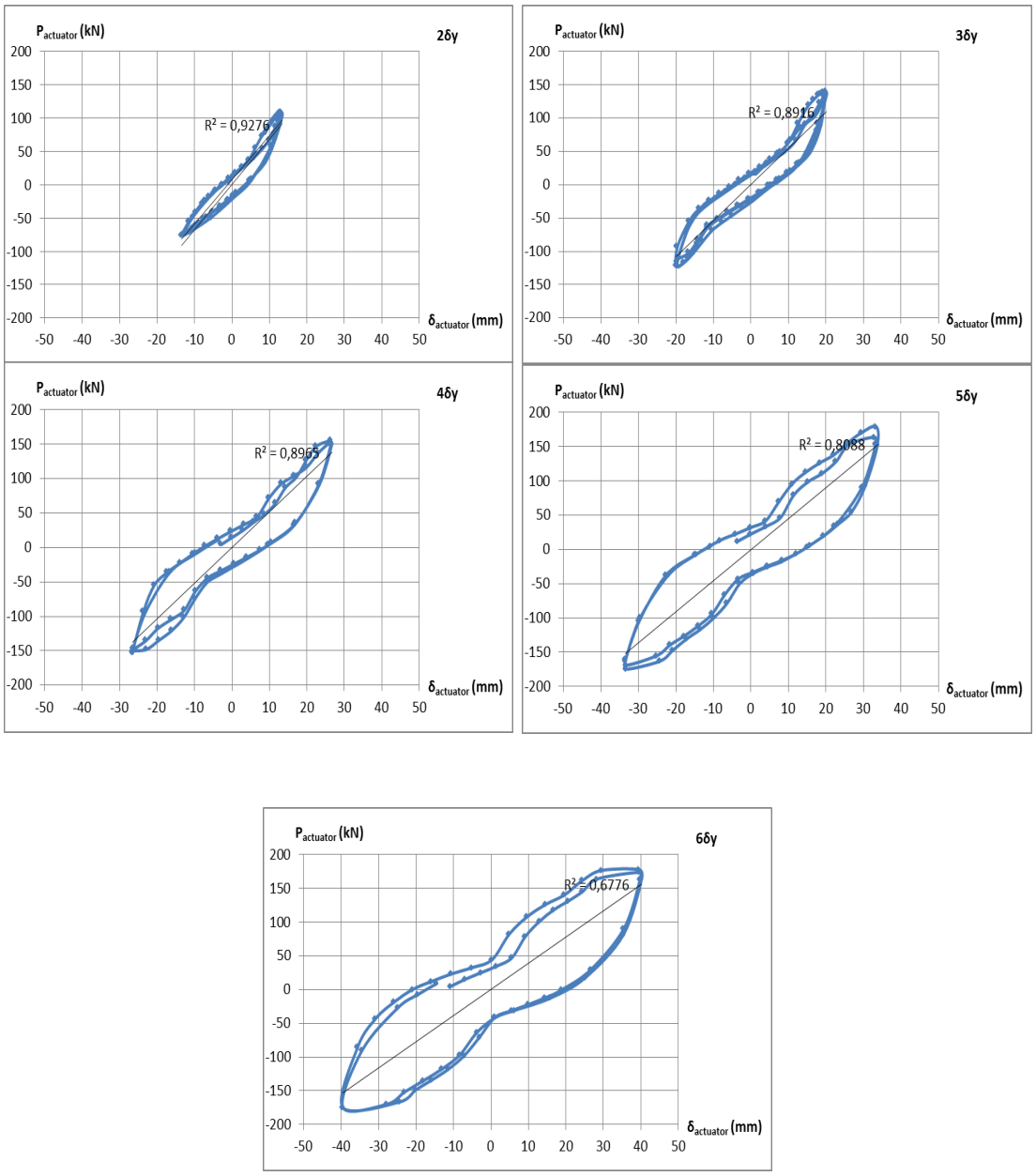
3. yerdeğiştirme değeri olan δy tepe yerdeğiştirmesinde itme adımında 58 kN mertebelerine ulaşılırken, çekme adımında yükün 50 kN mertebelerinde olduğu görülmüştür. Bu da sönümleyicinin içerisindeki kurşunun itme adımında sıkıştığı ve yerdeğiştirmenin daha büyük yükler altında meydana geldiği görülmüştür. Bir önceki

0.66 δy adımı ile karşılaştırıldığında tüketilen enerji miktarında gözle görülür bir artış olduğu ve rijitliğin azaldığı görülmüştür, (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 : 2. Yerdeğiştirme Adımında P- δ Grafiği

2δy yerdeğiştirme adımında itme ve çekme adımlarındaki yük farkının daha da arttığı, itme adımlarında oluşan yükün 100 kN'un üzerine çıktığı görülmüştür. 3δy ve daha sonraki yerdeğiştirmelere bakıldığı zaman itme ve çekme adımlarında meydana gelen yüklerin birbirine yakın olduğu ve hatta 6δy yerdeğiştirme adımında itme ve çekme adımlarında hedef yerdeğiştirmeye hemen hemen aynı yük mertebelerinde ulaşıldığı görülmüştür, (Şekil 3.21).

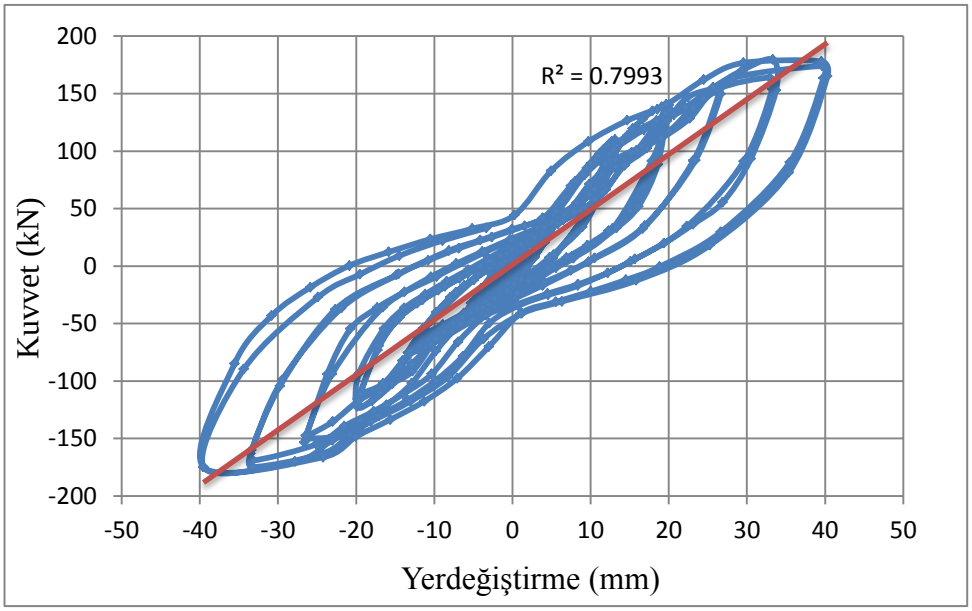


Şekil 3.21 : 4. ve Sonraki Yerdeğiştirme Adımlarında P- δ Grafiği

Maksimum yüke 6δy yerdeğiştirme değerinde ulaşılmış ve 175 kN mertebelerinde olmuştur. 7δy yerdeğiştirme değerinin ilk çevriminde, sönümleyici üzerinde burkulma meydana gelmiştir. Böylelikle bu çevrimin çekme adımı da yapılarak deney tamamlanmıştır, (Şekil 3.22).

Çizelge 3.4 : 4. Deneye Ait Yük Yerdeğiştirme Değerleri

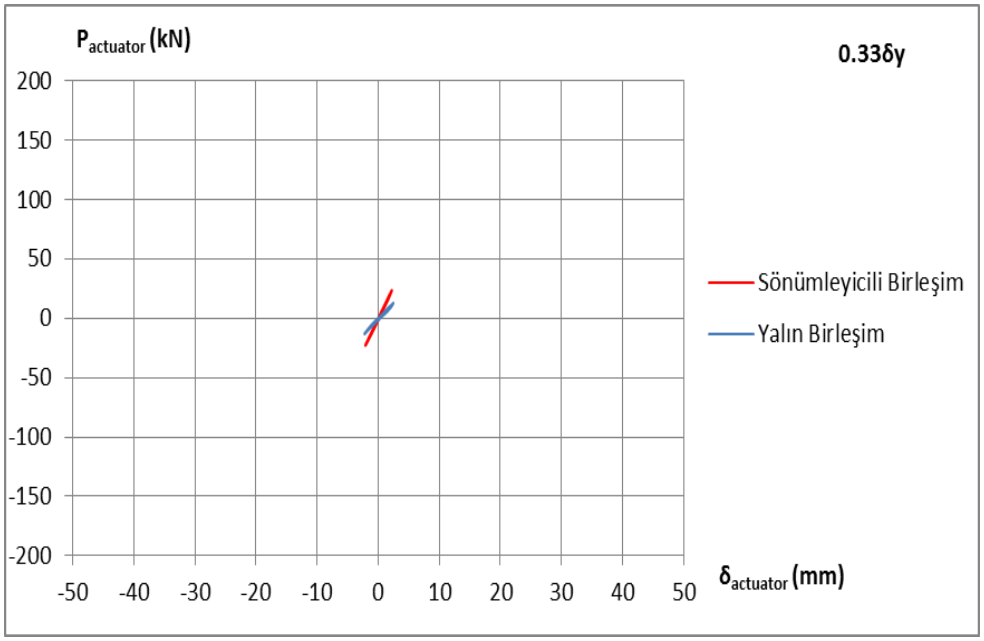
	Tepe		Çevrim 1				Çevrim 2				Çevrim 3			
Δy	Deplasman	Tekrar	+		-		+		-		+		-	
%	mm	Adet	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)	P (kN)	δ (mm)
0.333	2.20	3	23.39	2.19	-22.39	-2.10	23.89	2.24	-22.73	-2.10	22.71	2.16	-22.72	-2.10
0.666	4.40	3	38.00	4.30	36.15	-4.30	40.00	4.45	-36.34	-4.30	39.35	4.45	-37.67	-4.50
1	6.60	3	58.73	6.58	-50.48	-6.79	58.71	6.57	-49.74	-6.59	59.14	6.58	-49.98	-6.59
2	13.20	3	110.16	13.12	-75.53	-13.38	107.07	13.32	-75.55	-13.16	104.48	13.44	-73.74	-13.04
3	19.80	3	140.18	20.00	-122.10	-19.90	132.52	19.57	-120.44	-19.72	125.08	19.56	-115.72	-19.78
4	26.40	2	154.74	26.34	-153.48	-26.62	153.86	26.44	-150.78	-26.36				
5	33.00	2	163.90	32.94	-174.85	-33.24	179.59	33.32	-169.13	-33.80				
6	39.60	2	173.87	39.66	-174.87	-39.54	177.37	39.56	-174.85	-39.52				
7	46.20	2	158.90	45.14	-189.75	-46.88								



Şekil 3.22 : 4. Deneye Ait P – δ Grafiği

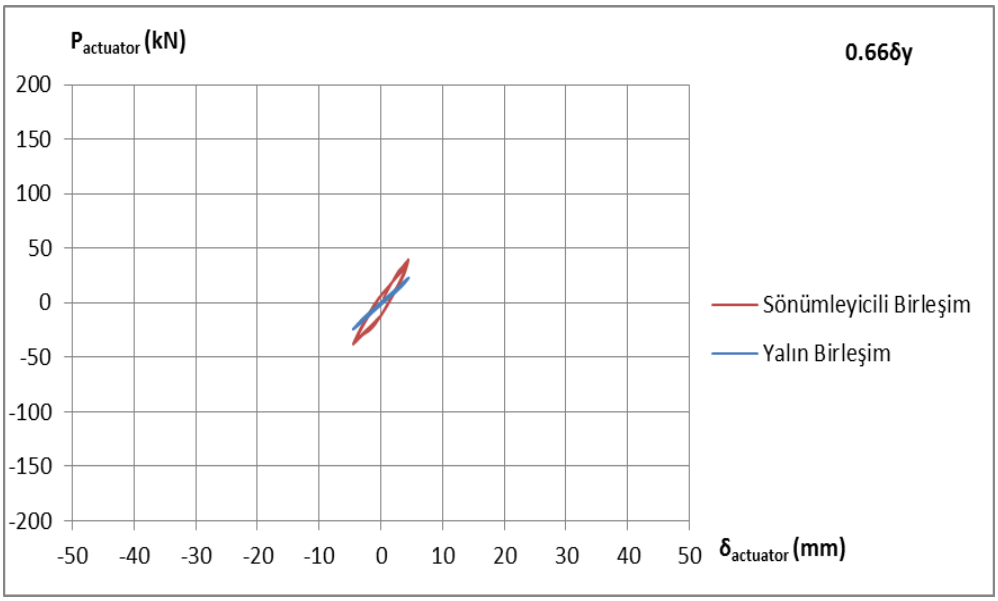
4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Deney sonuçlarına bakıldığında sönümleyicili çerçevede yalın çerçeveye oranla ilk adımlardan itibaren daha rijit olduğu ve hedeflenen mertebelere daha yüksek yüklerde ulaşıldığı görülmüştür (Şekil 4.1).



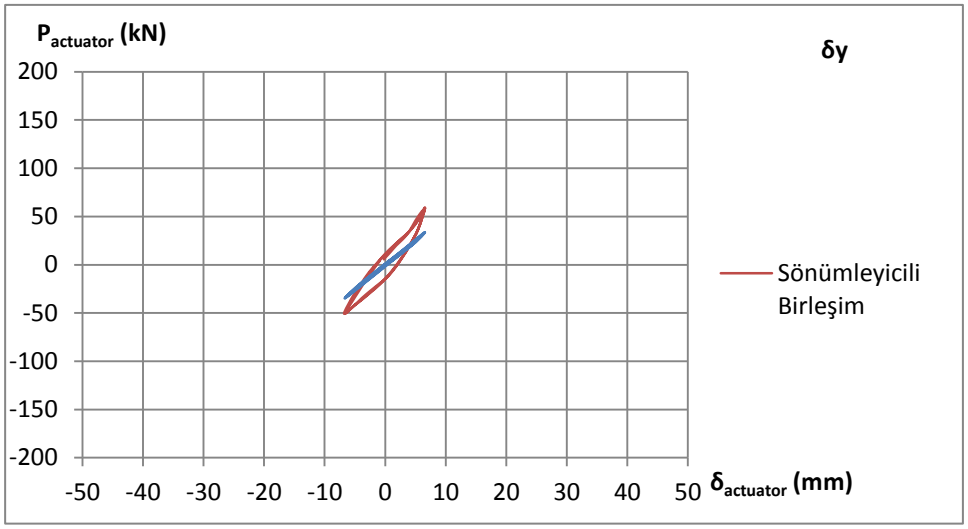
Şekil 4.1 : Yalın ve LED'li Deneye Ait 0.33δy Yerdeğiştirme Değerindeki P – δ Grafiği

2. yerdeğiştirme adımında (0.66δy) 20 kN mertebelerinde bir yük farkı oluştuğu, ayrıca LED'li birleşimdeki tüketilen enerji miktarında gözle görülür bir fark olduğu görülmüştür, (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Yalın ve LED'li Deneye Ait 0.66δy Yerdeğiştirme Değerindeki P – δ Grafiği

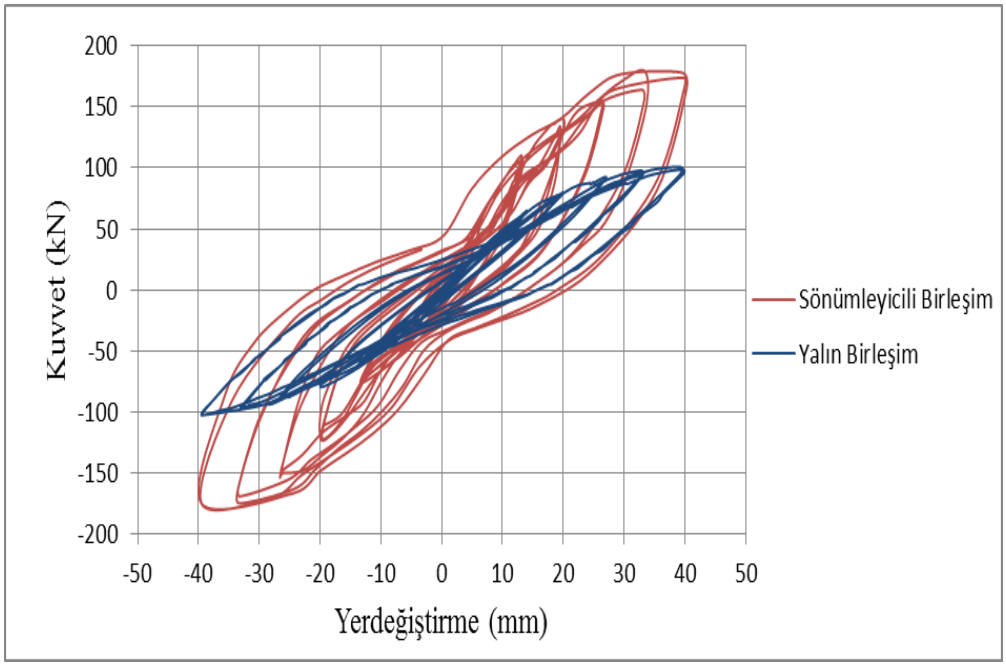
δy yerdeğiştirme adımına gelindiğinde yalın çerçevede 35 kN yük mertebelerinde hedef yerdeğiştirmeye ulaşılırken, sönümleyicili çerçevede hedef yerdeğiştirmeye 50 kN yük mertebelerinde ulaşıldığı görülmüştür, (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Yalın ve LED'li Deneye Ait δy Yerdeğiştirme Değerindeki P – δ Grafiği

Yalın ve LED'li birleşim deneylerinden elde edilen yük yerdeğiştirme grafikleri incelendiğinde, yalın birleşimde itme ve çekmede 100 kN mertebelerinde maksimum yüke ulaşılmışken, LED'li birleşimde itme ve çekmede maksimum yük 175 kN

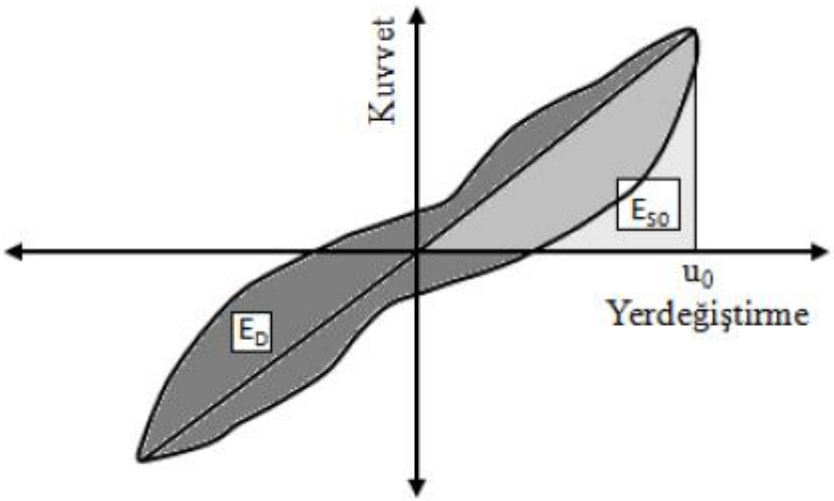
mertebelerine ulaştığı görülmüştür. 40 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşabilmek için sönümleyicili birleşimde 1.75 kat daha fazla yük meydana geldiği görülmüştür. Birleşimin rijitliği ise yalın birleşimde 2.73 kN/mm iken, sönümleyicili birleşimde rijitlik %75 artarak 4.79 kN/mm mertebelerine ulaşmıştır, (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Yalın ve LED'li Deneye Ait P – δ Grafiği

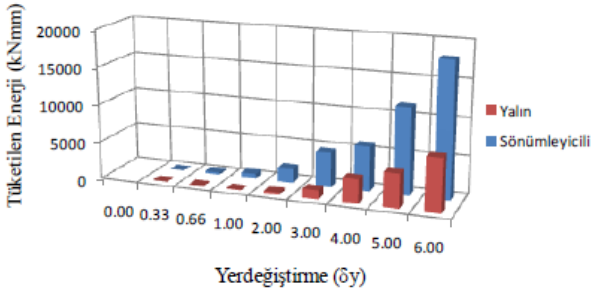
Harmonik etkiler altında doğrusal davranış gösteren bir sistemde gerçekleşen sönüm, viskoz sönüm olarak isimlendirilmektedir. Gerçek yapı sistemlerinde, bu ideal davranış tam oluşmadığından eşdeğer viskoz sönüm kavramı gelişmiştir. Yapı sistemi içinde sönümü sağlayacak pek çok mekanizma bulunmaktadır. Serbest titreşim deneylerinde ya da statik ve dinamik karakterli yükleme deneylerinde enerji ilişkilerinden gerçekleşen sönümü yaklaşık olarak hesaplamak mümkün olmaktadır. Yerdeğiştirme genliği u_0 olan çevrimsel yükleme etkisinde elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi Şekil 4.5'te görülmektedir. Bir kapalı çevrimde harcanan enerji E_D ile gösterilmektedir. E_{S0} ise en büyük şekildeğiştirme enerjisi olarak adlandırılmaktadır. En büyük şekil değiştirme enerjisi miktarı viskoz sönüm ile harcanan enerjiye eşitlenerek Eşitlik 1'de yer alan eşdeğer sönüm ifadesine ulaşılmıştır, [13]. Deneysel sonuçların, çevrimde harcanan enerji büyüklükleri ve eşdeğer sönüm bakımından irdelenmesi için, Eşitlik 1'de görülen ifadeler belirlenmiş ve Chopra 2001'de önerilen yöntem kullanılmıştır.

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi}\frac{E_D}{E_{S0}} \qquad (1)$$



Şekil 4.5 : Enerji Oranları Yöntemi (Chopra, 2001)

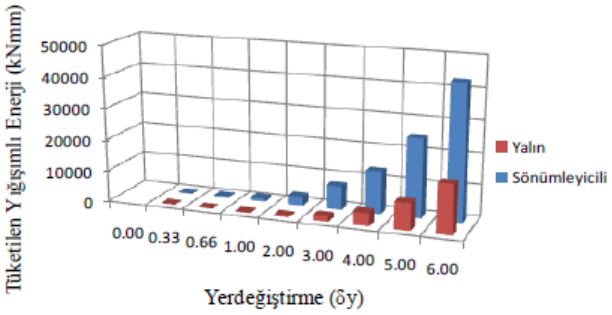
Sönümleyici ve yalın birleşimde, yerdeğiştirme adımlarının her birine ait çevrimler içerisinde tüketilen enerji miktarları toplamının, ait olduğu yerdeğiştirme adımına göre değişimi incelenmiştir, (Şekil 4.5). Yerdeğiştirme adımları için, sönümleyicili birleşimde tüketilen enerji miktarının, yalın birleşimde tüketilen enerji miktarından daha fazla olduğu görülmüştür, (Şekil 4.5).



	Sönümleyicili (2)	Yalın (1)	Oran (2)/(1)
0.33δy	17.85	7.51	2.377
0.66δy	267.04	30.49	8.758
1.00δy	646.88	61.90	10.450
2.00δy	1882.08	302.55	6.221
3.00δy	4623.87	1177.19	3.928
4.00δy	5951.80	3188.77	1.866
5.00δy	11537.91	4510.54	2.558
6.00δy	17922.91	7041.20	2.545

Şekil 4.6 : Yerdeğiştirme Adımları İçerisinde Tüketilen Enerji-Yerdeğiştirme İlişkisi

Sönümleyicili ve yalın birleşimde, yerdeğiştirme adımlarına ait çevrimler içerisinde tüketilen yığışımlı enerji miktarlarının, ait olduğu yerdeğiştirme adımına göre değişimi de incelenmiştir, (Şekil 4.6). Yerdeğiştirme adımları için, sönümleyicili birleşimde tüketilen yığışımlı enerji miktarının, yalın birleşimde tüketilen yığışımlı enerji miktarından 2.75 kat daha fazla enerji tükettiği görülmüştür, (Şekil 4.7).

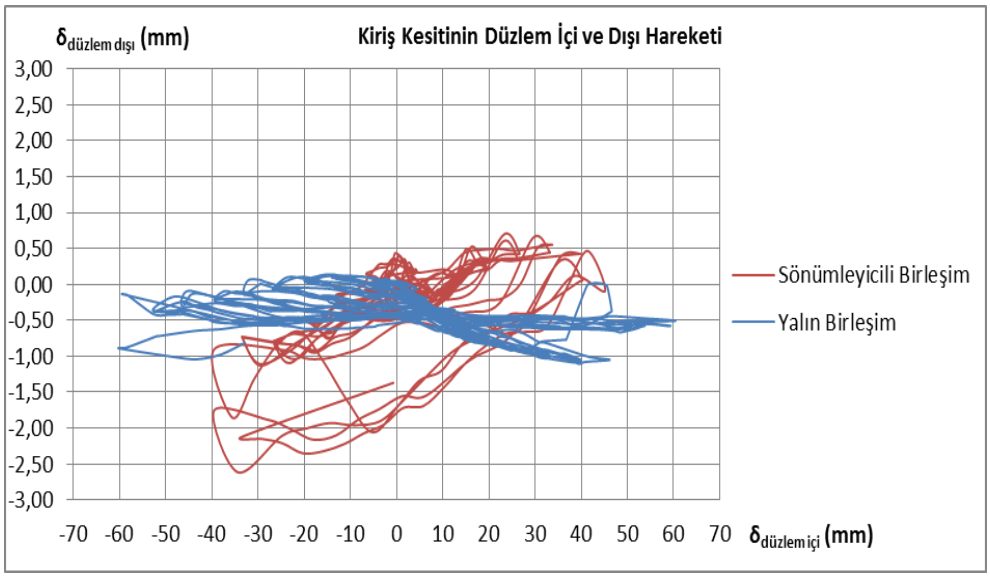


	Sönümleyicili (1)	Yalın (2)	Oran (2)/(1)
0.33δy	17.85	7.51	2.377
0.66δy	284.89	38.00	7.497
1.00δy	931.77	99.90	9.327
2.00δy	2813.85	402.45	6.992
3.00δy	7437.72	1579.64	4.708
4.00δy	13389.52	4059.73	3.298
5.00δy	24927.43	8570.27	2.909
6.00δy	42850.34	15611.47	2.745

Şekil 4.7 : Yerdeğiştirme Adımları İçerisinde Tüketilen Yığışımlı Enerji-Yerdeğiştirme İlişkisi

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 incelendiğinde, sönümleyicili birleşimde tüketilen enerji miktarının yalın birleşimde tüketilen enerji miktarından, yerdeğiştirme adımları içerisinde ve yığışımlı olarak, büyük olduğu ve sönümleyicinin yapının rijitliğine ve tüketilen enerji miktarına katkıda bulunduğu görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda sönümleyicinin kolon-kiriş birleşimine önemli ölçüde rijitlik sağladığı ve düşey elemana (kirişe) yük etkitildiğinde, sönümleyicinin düşey elemanın kuvvet doğrultusunda hareketini kısıtladığı ve kuvvet eksenine dik doğrultudaki harekete zorladığı görülmüştür. Düzlemdışı – yerdeğiştirme grafikleri incelendiğinde, yalın birleşimde düzlemdışı hareket 1.5 mm mertebelerinde iken, sönümleyicili birleşimde 2.5 mm mertebelerine yükselmiştir. Yalın ve LED'li birleşim deneyleri sonucunda elde edilen düzlemdışı - düzlemiçi grafikleri anlamsız olsa da sönümleyicili birleşimde, birleşimin düzlem doğrultusunda oluşan rijitlikten dolayı düzlemdışı doğrultuda yalın birleşime göre daha fazla yerdeğiştirme yaptığı görülmüştür, (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Yalın ve LED'li Birleşimdeki Düzlemdışı-Düzlemiçi Grafiği

İlk deneylerde meydana gelen düzlemdışı probleminin ortadan kaldırılması için tasarlanan yeni düzlemdışı aparatları 3. ve 4. deneylerde düzlemdışı yerdeğiştirmenin güvenli tarafta kalmasına neden olmuştur. Yalın birleşimde düşey elemanın kuvvet eksenine dik doğrultuda zorlanmanın fazla olmadığı, ancak LED'li birleşimde LED'in yapıya kattığı rijitlikten ötürü düşey elemanın düzlemdışı harekette zorlandığı düzlemdışı aparattaki burkulmalardan da anlaşılmıştır, (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : LED'li ve Yalın Birleşimde Kullanılan Düzlemdışı Aparatları

Yalın ve LED'li birleşim deneyleri sonrası birleşim bölgeleri karşılaştırıldığında, yalın birleşim deneyinde, birleşim bölgesindeki düşey profil ve düşey profile kaynaklanan levha arasındaki kaynaklarda çatlamalar ve kopmalar meydana geldiği görülmüştür. LED'li birleşim deneyinde ise birleşim bölgesinde herhangi bir çatlama veya kopma meydana gelmediği görülmüştür, (Şekil 4.10).

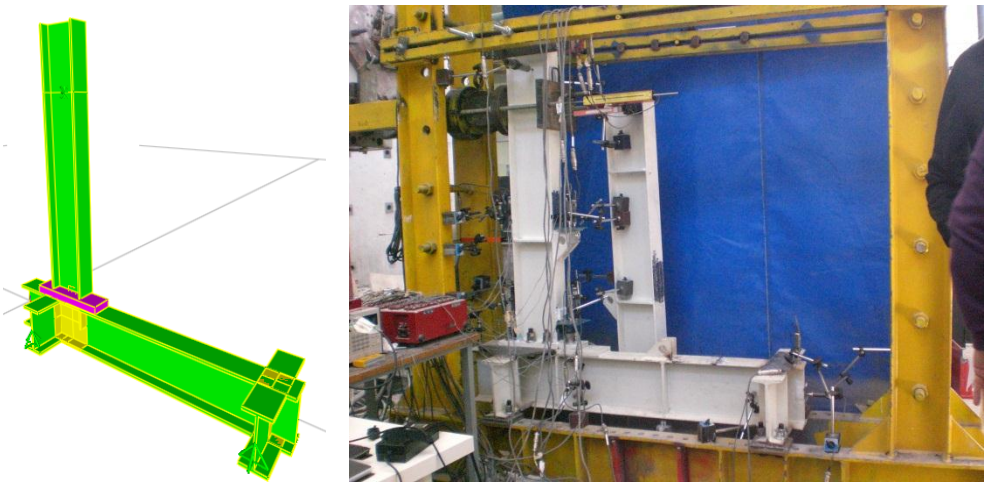


Şekil 4.10 : Yalın ve LED'li Birleşim Deneyleri Sonundaki Birleşim Bölgeleri

5. ANALİTİK ÇALIŞMA

5.1 Yalın Birleşime Ait Kuramsal Çalışma

İncelenen çelik birleşimin deneyler ile elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkilerinin kuramsal olarak da elde edilebilmesi için bir matematik model kurulmuş ve SAP2000 paket programı ile çözümlenmiştir. Oluşturulan matematik model üç boyutludur. Deney numunesi ve mesnet detaylarını içermektedir, (Şekil 5.1).



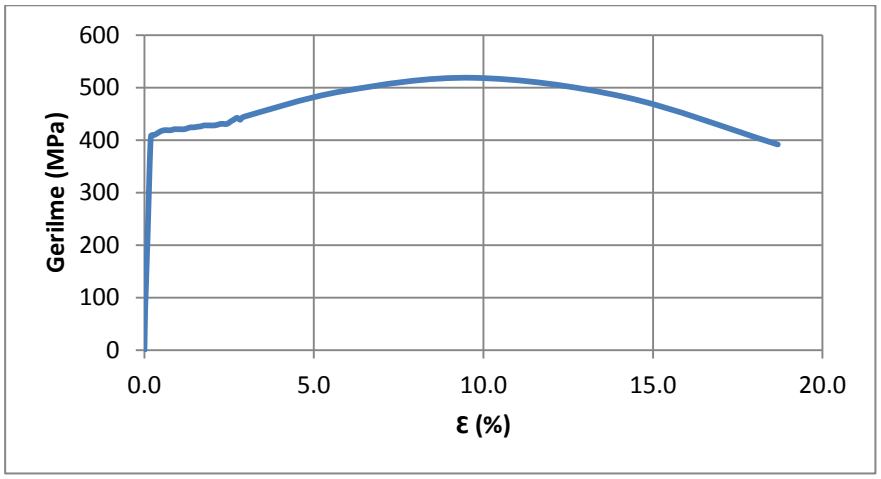
Şekil 5.1 : Analitik Model ve Deney Düzeneği

Deneyde kullanılan çelik malzemenin karakteristik özelliklerini elde edebilmek amacıyla, kullanılan çelik profillerden örnekler alınmış ve İTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında çekme deneyi yapılmıştır (Şekil 5.2). Çekme deneyi sonucunda numunelere ait gerilme şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir.



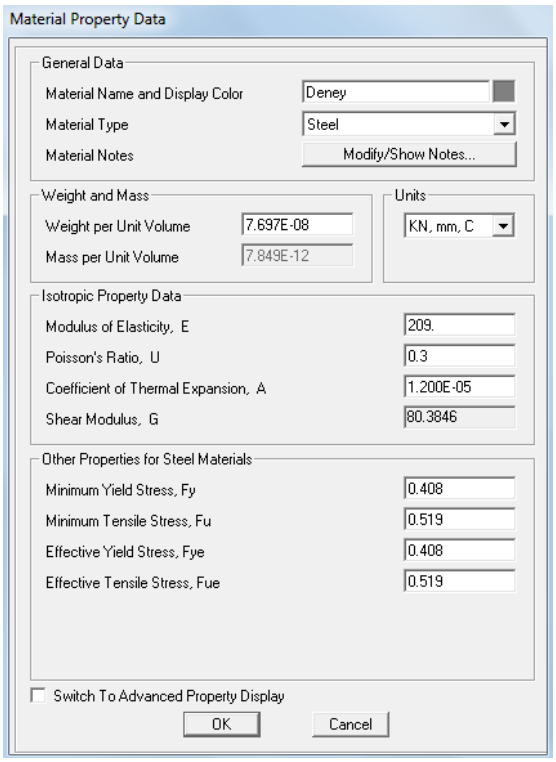
Şekil 5.2 : Çekme Deneyi

Yapılan 4 adet çekme deneyine ait gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin ortalaması alınarak malzemeye ait karakteristik özellikler belirlenmiştir. Ortalama akma gerilmesi 409 MPa, çekme gerilmesi de 519 MPa olarak elde edilmiştir. Malzemenin elastisite modülü 209 kN/mm^2 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği

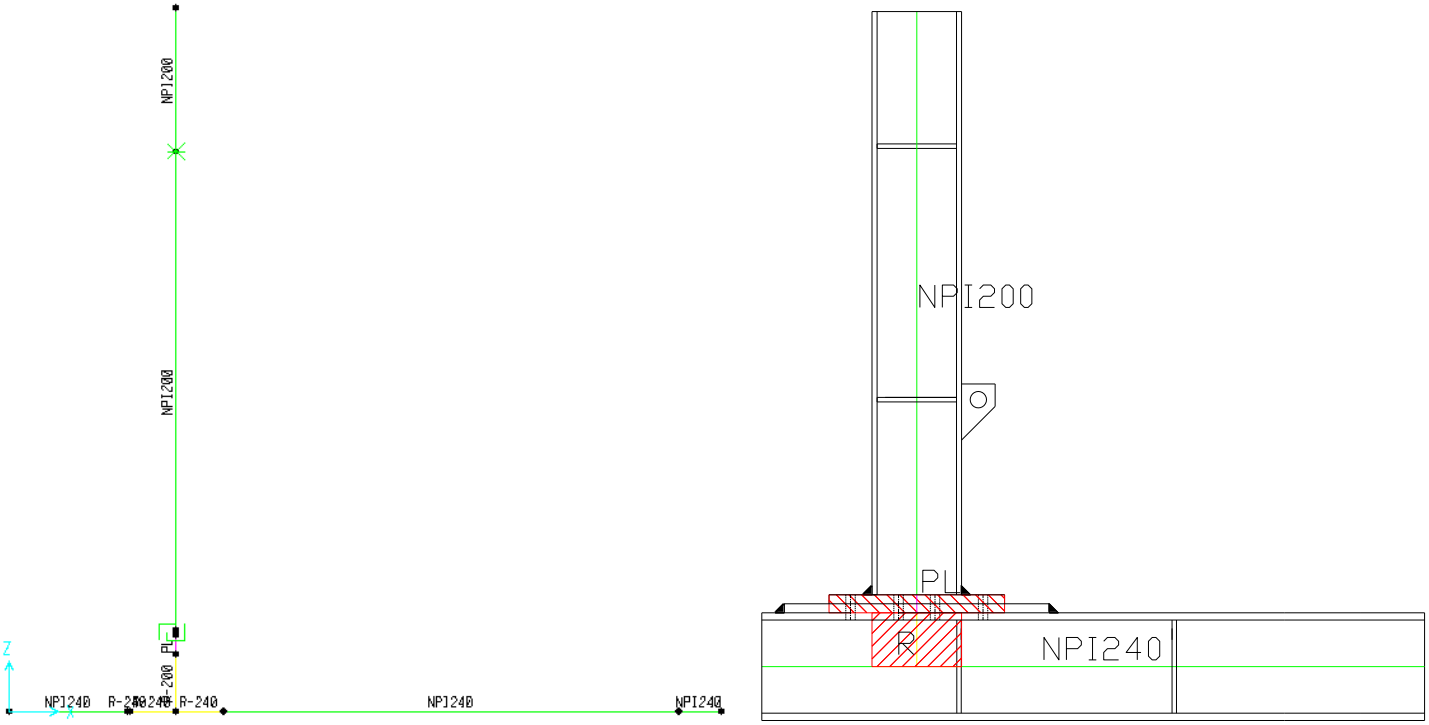
Çekme deneyi sonucunda elde edilen veriler, kuramsal çalışma için geliştirilen modelde kullanılmıştır, (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : Malzeme Özellikleri

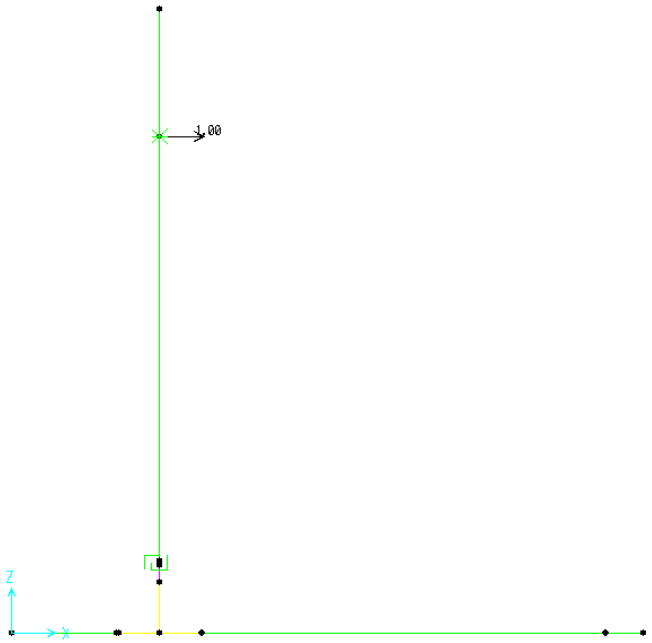
Düşey ve yatay profillerin birleşim bölgesinde, düşeyde yatay profil kesitinin yarı yüksekliği boyunca *R-200* ve yatayda düşey profil kesiti boyunca *R-240* adlarında sonsuz rijit profiller tanımlanmıştır. Yine birleşim bölgesinde bulunan alın levhalarını temsil edecek 400.100.40 mm boyutlarında *P* adında sonsuz rijit bir profil tanımlanmıştır (Şekil 5.5).

Deney numunesinin mesnetlerini oluşturmak üzere, yatay profilin iki ucuna NPI240 profilleri tanımlanmıştır. Bu elemanlar dış ortama basit mesnetler ile mesnetlendirilmiştir. Aynı şekilde bu NPI240 profilleri, yatay profilin başlık genişliğinin yarısı boyunca R-240 sonsuz rijit profili olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.5).



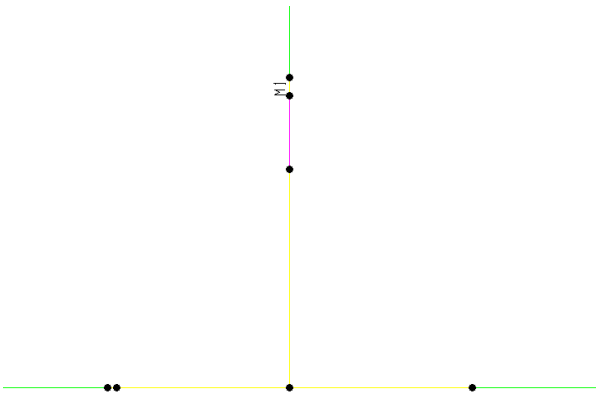
Şekil 5.5 : Analitik ve Deneysel Model

Hidrolik veren hizasında tanımlanan noktanın çerçeve düzleminde X doğrultusundaki yerdeğiştirmesi tutulmuş ve tutulan bu yerdeğiştirme doğrultusunda 1 birimlik mesnet çökmesi tanımlanmıştır, (Şekil 5.6).



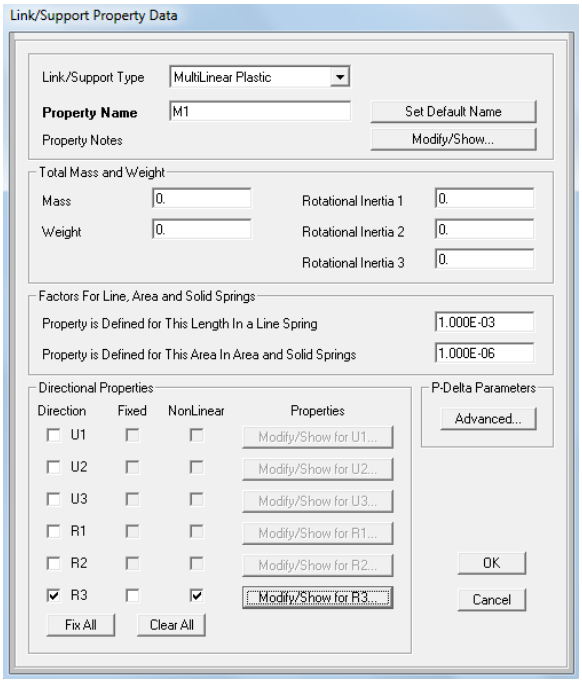
Şekil 5.6 : Analitik Model

Düşey çubuk alt ucunda, plastik mafsalın oluşacağı bölgede 5 mm uzunluğunda *M1* adında özel bir *NLINK* eleman tanımlanmıştır. Bu elemanın iki ucunun da yerdeğiştirmelerinin eşit olabilmesi için, bu noktalarda yerdeğiştirme sınırlamaları yapılmıştır. *NLINK* elemanın iki ucundaki noktaların sadece çerçeve düzlemine dik doğrultuda (Y) dönme yapabilmeleri sağlanmıştır, (Şekil 5.7).



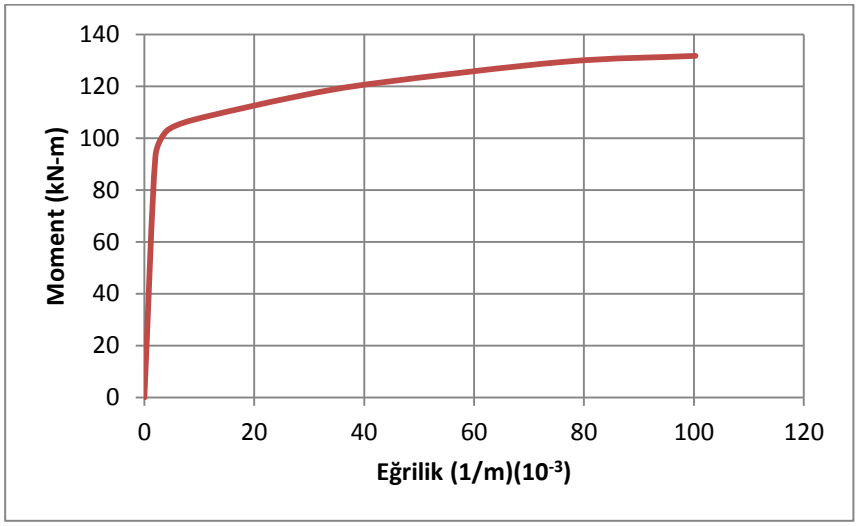
Şekil 5.7 : Bağlantı Çubuğu

M1 bağlantı çubuğunu *multilineer plastik* eleman olarak tanımlanmış ve lokal eksen olarak R3 (genel eksende Y) dönmesi serbest bırakılmıştır (Şekil 5.8).



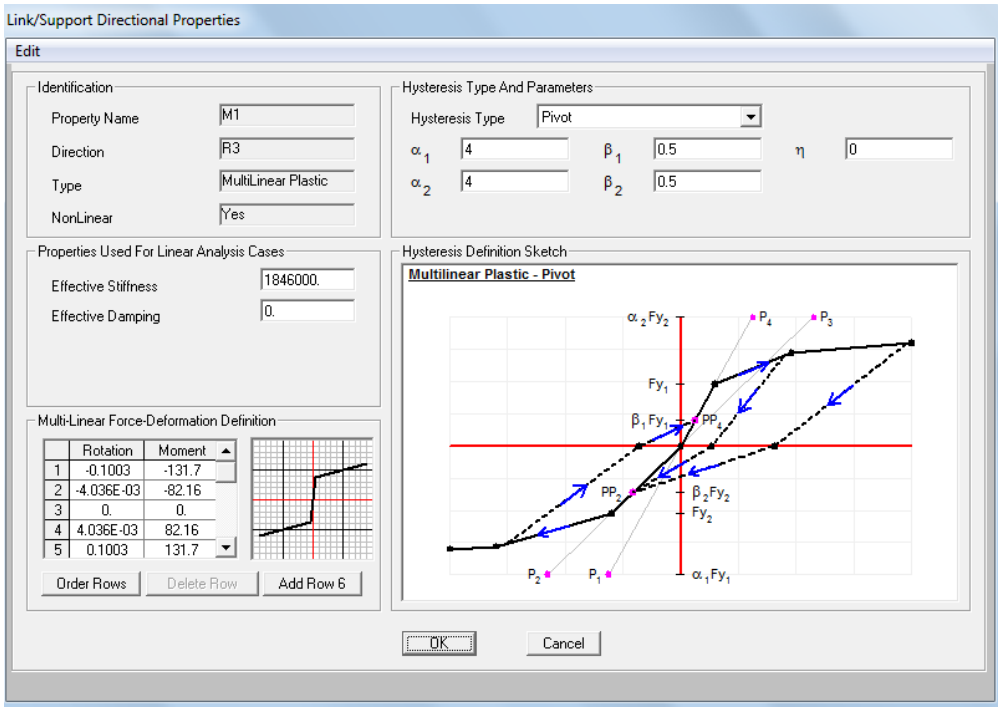
Şekil 5.8 : Bağlantı Çubuğu Özellikleri

Çevrim tipi olarak *pivot model* kullanılmıştır. Yapılan ön çalışmalar sonucu α_1 ve α_2 değerleri için 4, β_1 ve β_2 değerleri için de 0.5 değerleri belirlenmiştir. Bağlantı elemanının *efektif rijitliği* $\frac{4EI}{l}$ ifadesi ile hesaplanmıştır. Bağlantı çubuğuna ait moment dönme ilişkisi XTRACT [15] programı ile belirlenmiştir, (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : Moment-Eğrilik İlişkisi

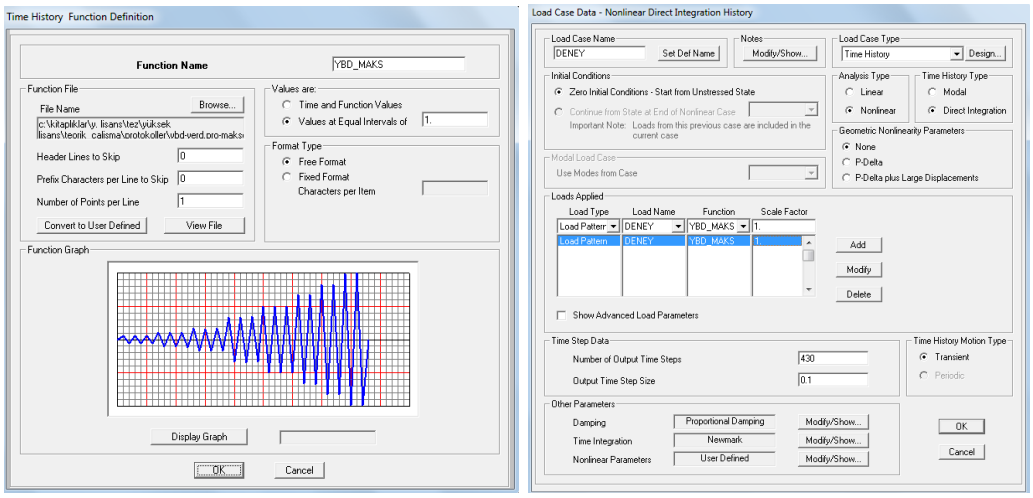
Elde edilen grafik idealleştirilerek pozitif ve negatif yönlerde akma ve maksimum moment değerlerine karşılık gelen dönme değerleri belirlenmiştir. Kesite ait akma momenti değeri 102.7 kNm olarak hesaplanmıştır. Ancak deney numunesinde sınır şartlarının ideal durumdan farklı olması dolayısıyla deneysel olarak ulaşılan en büyük eğilme momenti hedeflenerek, kesit hesabında bulunan moment büyüklüğü %20 oranında küçültülmüş ve 82.2 kNm değerine ulaşılmıştır, (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 : Pivot Model Özellikleri

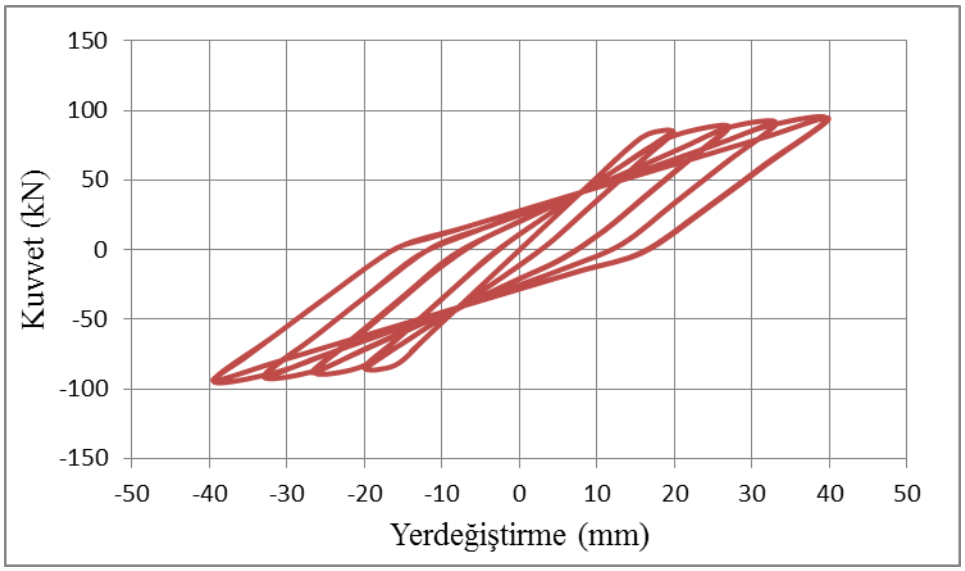
Deneysel çalışmada kullanılan yerdeğiştirme protokolünü kuramsal hesaplarda uygularken SAP2000 yazılımın zaman tanım alanında hesap özelliği kullanılmıştır. Her çevrimdeki en büyük yerdeğiştirmelerin dikkate alındığı bu fonksiyonda toplam 43 yerdeğiştirme adımı tanımlanmıştır.

Hesap zaman adım aralığı tanımlanırken yükleme fonksiyonu noktaları arası 10 a bölünmüş ve toplamda 430 adımda hesap tamamlanmıştır, (Şekil 5.11).



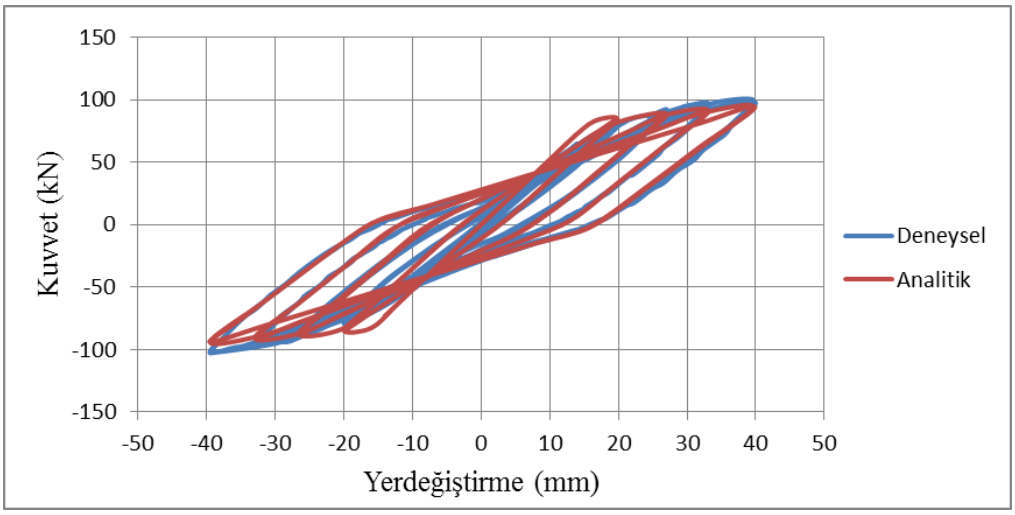
Şekil 5.11 : Yükleme Protokolü ve Yükleme Bilgileri

Uygulanan yerdeğiştirme protokolü sonucunda ulaşılan en büyük dayanımlar 100 kN mertebelerinde olmuştur, (Şekil 5.12).



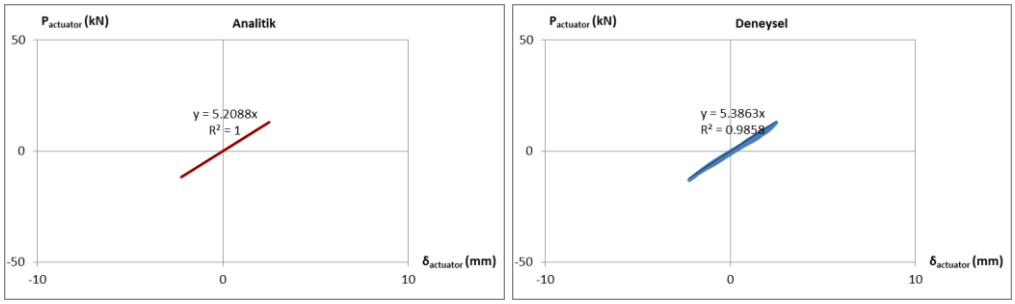
Şekil 5.12 : Analitik Çalışmada Elde Edilen Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafiği

Kuramsal ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri üst üste çizildiğinde eğrilerin genel olarak örtüştüğü görülmektedir, (Şekil 5.13).



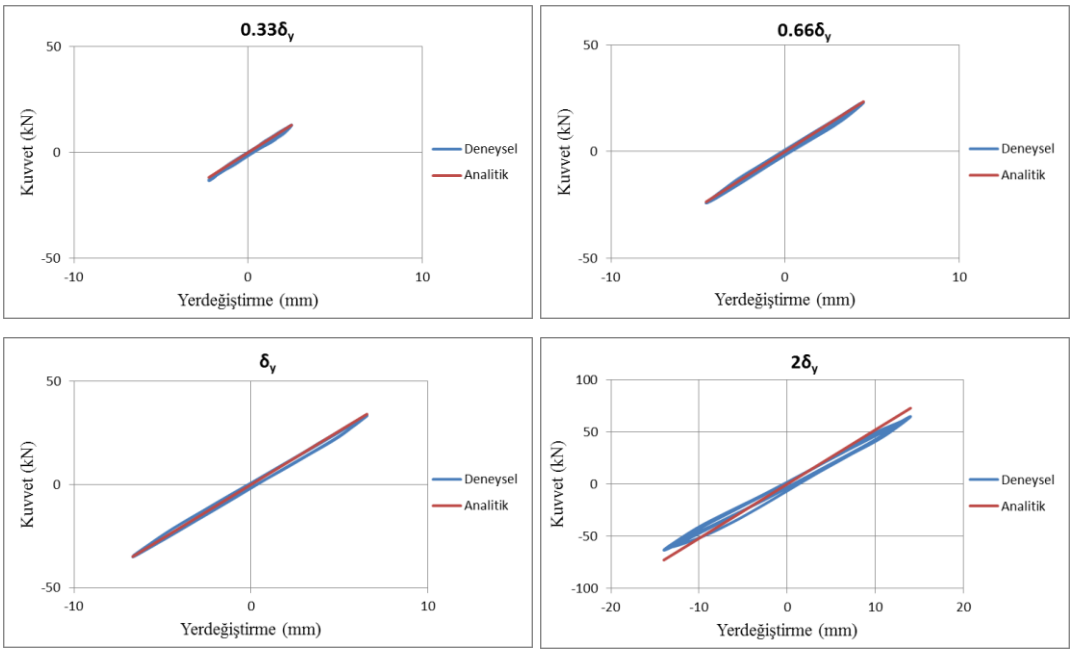
Şekil 5.13 : Yalın Çerçeveye Ait Analitik ve Deneysel Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafiği

Analitik hesaplar sonucunda birleşime ait başlangıç rijitliği 5.20 kN/mm olarak elde edilmiştir. Deneysel sonuca bakıldığında ise başlangıç rijitliğinin 5.40 kN/mm mertebelerinde olduğu görülmüştür (Şekil 5.14).



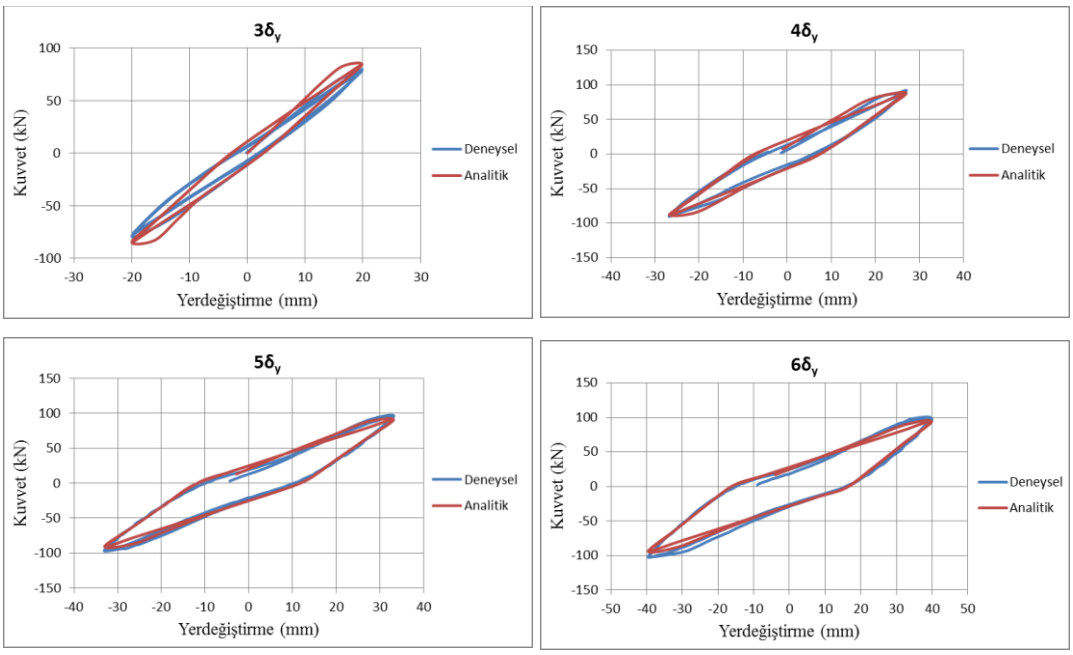
Şekil 5.14 : Analitik ve Deneysel Çalışmalara Ait Başlangıç Rijitlikleri

Deneysel ve kuramsal çalışma sonuçları her bir yerdeğiştirme adımı için karşılaştırıldığında sonuçların birbirleriyle kabul edilebilir yakınlıkta olduğu tespit edilmiştir. $0.33\delta_y$ ve $0.66\delta_y$ yerdeğiştirme adımlarında deneysel ve kuramsal sonuçların örtüştüğü görülmüştür (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 : Deneysel ve Analitik $0.33\delta_y$, $0.66\delta_y$, δ_y ve $2\delta_y$ Yerdeğiştirme Adımlarına Ait Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafikleri

Deneye ve kuramsal hesaba ait 3-4-5 ve $6\delta_y$ yerdeğiştirme adımlarındaki kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinde meydana gelen kuvvetlerin ve tüketilen enerjilerin kabul edilebilir düzeyde yakın oldukları görülmüştür (Şekil 5.16).

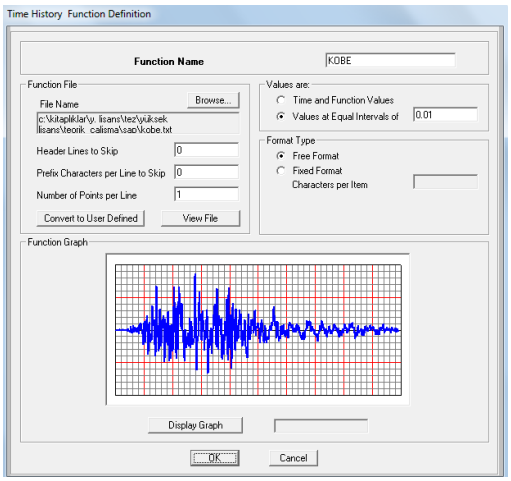


Şekil 5.16 : Deneysel ve Analitik $3\delta_y$, $4\delta_y$, $5\delta_y$ ve $6\delta_y$ Yerdeğiştirme Adımlarına Ait Kuvvet-Yerdeğiştirme Grafikleri

5.1.1 Yalın ve kurşun ekstrüzyon sönümleyicili birleşime ait kuramsal çalışma

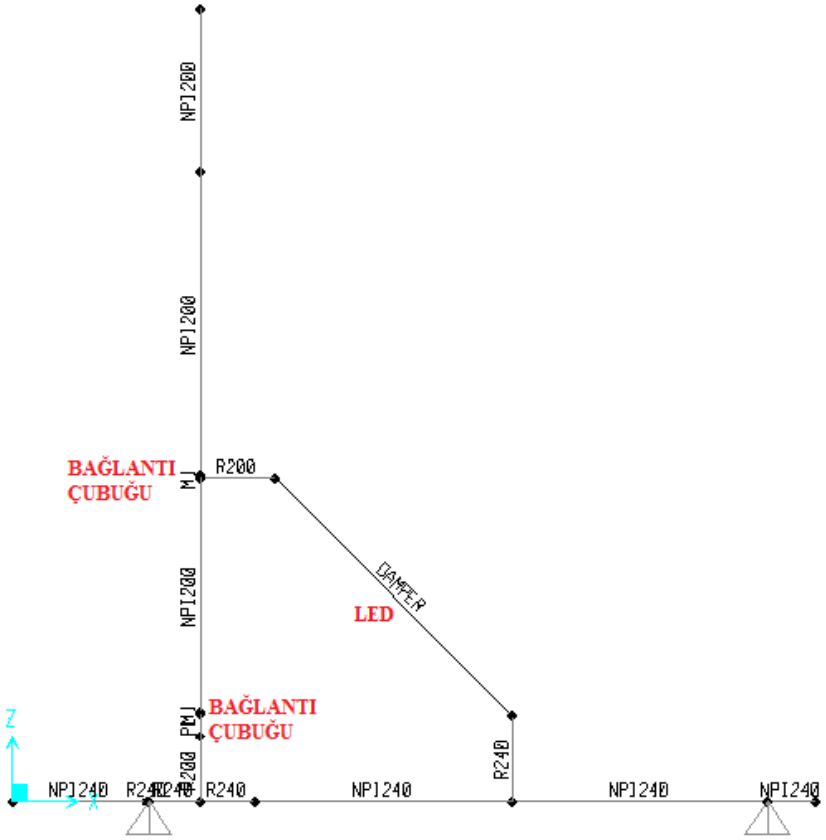
Kurşun ekstrüzyon sönümleyici yerleştirilmiş birleşimin etkinliğini göstermek üzere, sönümleyici bulunan ve bulunmayan birleşimler zaman tanım alınında doğrusal olmayan hesap yapılarak karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla 1995 KOBE depremine ait bir kayıt kullanılmıştır, (Şekil 5.17). İncelenen numunelere hidrolik verenin bulunduğu kesitte 50 kNsan^2/m büyüklüğünde kütle atamaları yapılmıştır. Dinamik analiz yatayda etkiyen ivme kaydı için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.17 : KOBE Deprem Kaydı

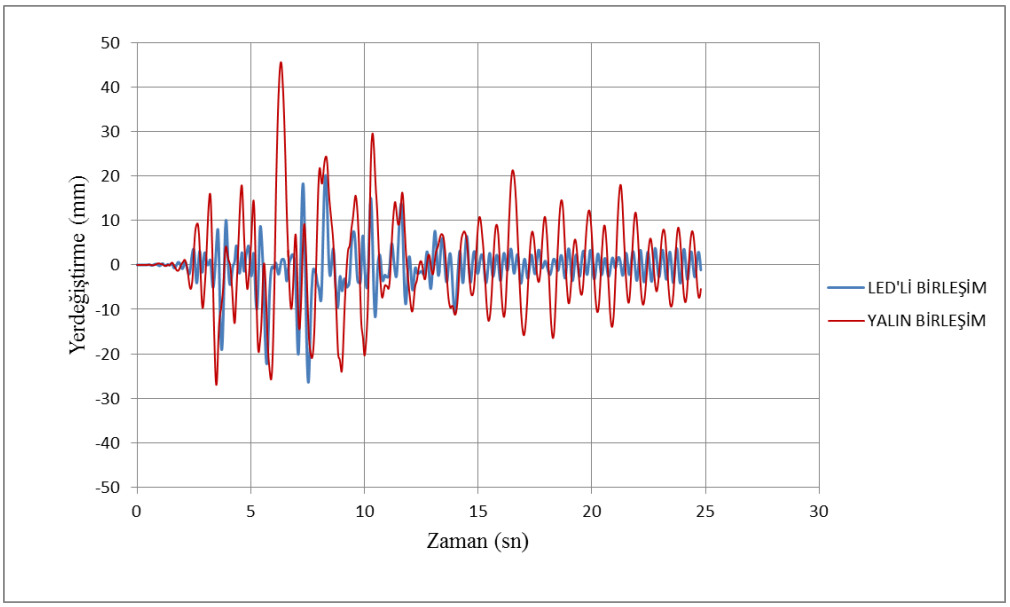
Kurşun ekstrüzyon sönümleyici yukarıda anlatılan yalın birleşime eklenerek matematik model oluşturulmuştur. Sönümleyicinin düşey ve yatay elemanla birleştiği noktalarda birleşime ait kesitin yarısı yüksekliğinde sonsuz rijit elemanlar tanımlanmıştır. Bu elemanların uç noktaları arasına sönümleyici yerleştirilmiştir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 : Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicili Birleşime Ait Analitik Model

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan çözümleme sonrasında ulaşılan tepe yatay yerdeğiştirme zaman ilişkisi Şekil 5.18 de verilmiştir. Ulaşılan en büyük yerdeğiştirmelerin yalın durumda 45 mm, kurşun sönümleyici eklenmiş durumda ise 25 mm olduğu görülmüştür, (Şekil 5.19).

Elde edilen bu sonuç, yerleştirilen kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin etkin çalıştığını göstermektedir.



Şekil 5.19 : Yalın ve LED'li Birleşime Ait Yerdeğiştirme-Zaman İlişkisinin Karşılaştırılması

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geliştirilme süreci devam eden bir kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin (LED) etkinliğini irdelemek amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, kurşun sönümleyici yerleştirilmiş çelik kolon-kiriş birleşim bölgelerinin davranışı incelenmiştir. Çalışma deneysel ve kuramsal bölümleri kapsamaktadır. Elde edilen önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Deneysel çalışma sonuçlarına göre, LED yerleştirilmiş birleşimin yalın duruma göre önemli ölçüde rijitliği ve dayanımı artmıştır.
- LED yerleştirilmiş birleşim, yatay yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde önemli ölçüde enerji tüketmiştir.
- Kuramsal çalışma sonuçlarına göre, incelenen deprem kaydı ve kütle durumu için sistem tepe yerdeğiştirmeleri LED yerleştirilmiş birleşimde önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum sönümleyinin etkinliğini göstermektedir.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, LED'in çelik yapılarda kolon kiriş birleşim bölgesi yakın çevresinde kullanıldığında yapı sistemine etkiyen deprem enerjisinin önemli bir bölümünü tükettiği, böylelikle yapının deprem hareketi sırasında daha az hasar görmesine yardımcı olabileceği gözlenmiştir.

Bu araştırmanın, aşağıda belirtilen ve ileride yapılacak diğer araştırmalara da önemli bir kaynak olabileceği düşünülmektedir.

- Bu çalışma çelik kolon-kiriş birleşimi üzerine yapılmıştır ve beklenen sonuçlar elde edilmiştir. LED'in prefabrik veya betonarme birleşim bölgelerindeki davranış biçimi araştırılabilir.
- Mevcut yapı sistemlerini güçlendirmeye yönelik yöntemlerin uygulanabilir olması için, düşük maliyetli olmaları önemlidir. Bu doğrultuda uygulanan yöntemin maliyetini azaltıcı önlemler tartışılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Geoffrey W Rodgers, J Geoffrey Chase, John B Mander, Nicholas C Leach and Caleb S Denmead.** (2006) : Experimental Development, Tradeoff Analysis and Design Implementation of High Force-to-Volume Damping Technology, Bulletin of The New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. XX, No. Y

[2] **Jinkoo Kim and Hyunhoon Choi.** (2006) : Displacement-Based Design of Supplemental Dampers for Seismic Retrofit of a Framed Structure, Journal of Structural Engineering ASCE

[3] **T. T. Soong, B. F. Spencer Jr.** (2002) : Supplemental Energy Dissipation : State-of-the-art and State-of-the-practice

[4] **Soong TT, Dargush GF.** (1997) : Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering. London: Wiley

[5] **Cihan S., Mustafa K., Hasan Ö., Ercan Y., Erdal İ.** (2011) : Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Bir Birleşimin Davranışına Olan Etkisi, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul

[6] **Aiken I.** (1996) : "Passive Energy Dissipation-Hardware and Applications", Proceedings of the Los Angeles County and SEAOSC Symposium on Passive Energy Dissipation Systems for New and Existing Buildings, Los Angeles

[7] **Birchenall CE.** (1959) : Physical Metallurgy, McGraw-Hill, London

[8] **Robinson WH and Greenbank LR.** (1975) : "Properties of an Extrusion Energy Absorber", Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 8(3):187-191

[9] **Robinson WH and Cousins WJ.** (1987) : "Recent Developments in Lead Dampers for Base Isolation", Pacific Conference On Earthquake Engineering, August, Vol. 2., New Zealand

[10] **Skinner RI, Robinson WH, McVerry GH.** (1993) : An Introduction to Seismic Isolation, John Wiley and Sons, New York

[11] **Sadek F, Mohraz B, Taylor AW, Chung RM.** (1996) : "Passive Energy Dissipating Devices for Seismic Applications", Report NISTIR 5923, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standarts and Technology, Gaithersburg, Maryland

[12] **SAP2000, Computers and Structures, Inc.** : Structural Analysis Program

[13] **Chopra AK.** (1997) : Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, 2nd Ed., Pearson Prentice Hall, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ 07458

[14] **Wulff J, Taylor JF, Shaler AJ.** (1956) : Metallurgy for Engineers, John Wiley and Sons, New York

[15] **XTRACT** : Cross Section Analysis Program for Structural Engineers

[16] **Soydan C.** : "Prefabrike Betonarme Yapı Sistemlerinde Moment Aktaran Yeni Bir Birleşim Detayı ve Deprem Performansının Belirlenmesi", *Devam eden bir doktora çalışması*.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mustafa KOÇAK

Doğum Yeri ve Tarihi: Bakırköy 28/01/1987

E-Posta: mustafakocak@yahoo.com.tr

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi (Çek Teknik Üniversitesi, Erasmus Değişim Programı)

Yayınlar: Soydan C., Koçak M., Özkaynak H., Yüksel E., İrtem E. (2011) : Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Bir Birleşimin Davranışına Olan Etkisi, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul