

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YAY TAHRİKLİ BİR DARBE DENEY CİHAZININ TASARIMI,
GELİŞTİRİLMESİ VE VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**



DOKTORA TEZİ

Mesut KÜÇÜK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YAY TAHRİKLİ BİR DARBE DENEY CİHAZININ TASARIMI,
GELİŞTİRİLMESİ VE VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**Mesut KÜÇÜK
(501182029)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali SARI

HAZİRAN 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**SPRING-ACTUATED IMPACT TEST DEVICE: DESIGN, DEVELOPMENT,
AND EFFICIENCY ASSESSMENT**

Ph.D. THESIS

**Mesut KÜÇÜK
(501182029)**

**Department of Civil Engineering
Structural Engineering Programme**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Ali SARI

JUNE 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501182029 numaralı Doktora Öğrencisi Mesut KÜÇÜK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YAY TAHRİKLİ BİR DARBE DENEY CİHAZININ TASARIMI, GELİŞTİRİLMESİ VE VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ali SARI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kadir GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Osman BULUT
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Atila KUMBASAROĞLU.....
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi

Teslim Tarihi : 24 Mart 2025
Savunma Tarihi : 03 Haziran 2025





Aileme,



ÖNSÖZ

Doktora Tezi olarak sunduğum bu çalışma sürecinin tüm aşamalarında bilgi ve tecubesinden yararlandığım ve göstermiş olduğu ilgi ve desteklerinden dolayı çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali SARI'ya içtenlikle şükranlarımı sunarım.

Tez izleme komitemde bulunarak, bu süreçte değerli görüş ve desteklerini sunan Sayın Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER ve Sayın Prof. Dr. Kadir GÜLER'e iten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca doktora tez savunma jürimde bulunarak tezimin gelişmesine ve son halini almasında katkı sağlayan Sayın Doç. Dr. Osman BULUT'a ve Sayın Doç. Dr. Atila KUMBASAROĞLU'na teşekkür ederim.

Bu alışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından MDK-2021-43060 proje koduyla desteklenmiştir İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez sürecimde her türlü yardımlarını ve kıymetli vakitlerini benden esirgemeyen Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ğretim üyelerine de çok teşekkür ederim.

Son olarak yaşantım süresince olduğu gibi doktora eğitimim boyunca da her zaman yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran 2025

Mesut KÜÇÜK
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. DENEY CİHAZI TASARIMI VE ÜRETİLMESİ	15
2.1 Deney Cihazı Tasarımı.....	15
2.2 Deney Cihazı Üretimi.....	23
2.2.1 Çekme yayları	23
2.2.2 Serbest bırakma kancası tasarımı	26
2.2.3 Darbe arabası.....	27
2.2.4 Yaylı fırlatma sistemi.....	28
2.2.5 Serbest bırakma kancası	28
2.2.6 Cihazın kullanımı	29
2.2.7 Kullanılan ölçüm aletleri.....	30
3. YAPILAN DENEYLER	33
3.1 Cihazın Sınanması.....	33
3.2 Örnek Numune Deneyleri	37
3.2.1 Çelik lama deneyleri	37
3.2.1.1 Üç noktalı eğilme deneyi	37
3.2.1.2 İki noktalı eğilme deneyi.....	40
3.2.2 Lamine cam deneyi	44
3.2.3 Donatili gaz beton panel deneyi.....	46
3.2.4 Duvar kağıdı deneyi	53
3.2.5 Penetrasyon deneyi	55
4. TARTIŞMA	57
5. SONUÇ, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR	65
EKLER	71
ÖZGEÇMİŞ.....	83



KISALTMALAR

DAK	: Dinamik Artırım Katsayısı
ESB	: Enerji Sönümleyici Bağlantı
PDG	: Prekast Donatılı Gazbeton
SHBÇ	: Split Hopkinson Basma Çubuğu





SEMBOLLER

D	: Yay apı
d	: Tel apı
E	: Enerji
F_x	: x yundeki kuvvet
F_y	: y yunde kuvvet
F	: Bileşke kuvvet
G	: Yay teli kayma modulu
k	: Rijitlik katsayısı
L_F	: Yay serbest boyu
M	: Moment
m	: kütle
M_B	: B kütlesi
M_N	: N kütlesi
N	: Newton (kuvvet)
n	: sarım sayısı
s	: saniye
t	: Zaman
V	: Hız
v	: Hız
τ	: Kayma gerilmesi?
x	: uzunluk
\ddot{w}	: ivme



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Seçilen yay boyutları	25
Çizelge 2.2 : Yay mekanik özellikleri	25
Çizelge 2.3 : Darbe deney cihazı kapasiteleri ve sınındığı sınırlar	32
Çizelge 3.1 : Deney cihazında yayın 100 mm'ye kadar gerilmesi sonucu	35
Çizelge 3.2 : Çelik lamada ulaşılan yük ve eğilme değerleri	39
Çizelge 3.3 : PDG panellerine uygulanan darbe yükleri	50
Çizelge 3.4 : Duvar kağıdı deney sonuçları	54



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Betonun farklı deformasyon hızlarındaki çekme dayanımı artışları.	2
Şekil 1.2 : SHBÇ deney düzeneği şematik görünümü.....	2
Şekil 1.3 : Beton için DAK.....	2
Şekil 1.4 : Tipik tepki spektrumu ve (basınç)-impuls diyagramı	3
Şekil 1.5 : Tipik davranış alanları (a) impulsif (b) yarı statik ve (c) dinamik	4
Şekil 1.6 : İstanbul Teknik Üniversitesi serbest düşürme darbe deneyi düzeneği.....	5
Şekil 1.7 : Kontrollü darbe sistemleri.	5
Şekil 1.8 : Patlama kaynağından 110 feet uzaklıktaki basınç-zaman ilişkisi.	6
Şekil 1.9 : Patlama deney düzeneği.	7
Şekil 1.10 : Şok tüpü deney sistemi	8
Şekil 1.11 : Patlama deney düzeneği (Stewart vd., 2014).	8
Şekil 1.12 : Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesinde bir darbe deney cihazı	10
Şekil 1.13 : Queensland Teknoloji Üniversitesinde bir darbe deney cihazı	10
Şekil 1.14 : Guangxi Üniversitesinde kurulmuş bir yatay darbe deney düzeneği	11
Şekil 1.15 : Wuhan Teknoloji Üniversitesinde bir darbe deney düzeneği	11
Şekil 1.16 : Queensland Teknoloji Üniversitesinde kurulmuş darbe deney cihazı ...	11
Şekil 2.1 : Yay tahrikli darbe deney cihazının şematik diyagramı	16
Şekil 2.2 : Darbe arabası.....	16
Şekil 2.3 : Yaylı fırlatma sistemi	17
Şekil 2.4 : Kanca ve yay gerdirme sistemi	18
Şekil 2.5 : Yay germe mesafesi ayarlama ve kanca açma sistemi.....	19
Şekil 2.6 : Darbe emici sistem	20
Şekil 2.7 : Raydan çıkış bariyerleri.....	20
Şekil 2.8 : Numune ana montaj çerçevesi.....	21
Şekil 2.9 : Üç noktalı yükleme sistemi	22
Şekil 2.10 : Geri tepme önleyici sistem	22
Şekil 2.11 : Doğrusal hareket çerçevesi.....	23
Şekil 2.12 : Yayın geometrik büyüklükleri.....	25
Şekil 2.13 : Tasarlanıp imal edilen yaylar	25
Şekil 2.14 : Yaylara uygulanan çekme deneyi.....	26
Şekil 2.15 : Yayların kuramsal ve deneysel kuvvet-uzama eğrileri	26
Şekil 2.16 : Serbest bırakma kancası tasarımı	27
Şekil 2.17 : Darbe arabası.....	27
Şekil 2.18 : Yaylı fırlatma sistemi üretimi	28
Şekil 2.19 : Serbest bırakma kancası	29
Şekil 2.20 : Darbe arabasıyla uyumlu yük hücreleri.....	30
Şekil 2.21 : Darbe arabasının için oluşturulmuş katı cisim diyagramı.....	30
Şekil 2.22 : Yer değiştirme ölçer	31
Şekil 2.23 : Hız ölçüm düzeneği.....	31
Şekil 2.24 : Veri toplama sistemi.....	32
Şekil 3.1 : Deney cihazı başlangıç durumu	33

Şekil 3.2 : Deney cihazında 0,10 m'lik aralıklarla yayın gerilmesi durumları ve ölçülen hızlar	34
Şekil 3.3 : 500 mm'ye kadar yayların uzatılması ile hız arasındaki ilişki	35
Şekil 3.4 : Farklı kütlelerin farklı yay uzamalarına göre elde edilen darbe arabası hızları	36
Şekil 3.5 : Aynı yay gerdirme uzunluklarına bağlı olarak farklı darbe arabası kütlelerine göre darbe arabasının ulaştığı enerji miktarı	36
Şekil 3.6 : Üç noktalı eş değer statik deney düzeneği	38
Şekil 3.7 : Çelik lama kuvvet açıklık ortasında ötelenme ilişkisi.....	38
Şekil 3.8 : Çelik lama üzerinde üç noktalı dinamik deney	38
Şekil 3.9 : Eş değer statik ve dinamik yük açıklık ortası ötelenme değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi	39
Şekil 3.10 : Eşdeğer statik ve dinamik enerji-ötelenme grafiklerinin karşılaştırmalı gösterimi	39
Şekil 3.11 : Darbe kuvveti-zaman eğrisi (Çelik lama üzerinde).....	40
Şekil 3.12 : Çelik lama orta nokta ötelenme-zaman eğrisi	40
Şekil 3.13 : Çelik lama eşdeğer statik iki noktalı eğilme deneyi düzeneği.....	41
Şekil 3.14 : Çelik lama eş değer statik iki noktalı eğilme deneyi kuvvet-ötelenme grafiği	41
Şekil 3.15 : Çelik lama iki noktalı dinamik deney.....	42
Şekil 3.16 : Çelik lama iki noktalı dinamik ve eşdeğer statik deney karşılaştırması.	42
Şekil 3.17 : Çelik lama 0,36 m/s için ötelenme-zaman grafiği.....	42
Şekil 3.18 : Çelik lama 0,36 m/s için ötelenme-zaman grafiği.....	43
Şekil 3.19 : Çelik lama 0,85 m/s için ötelenme-zaman grafiği.....	43
Şekil 3.20 : Lamine cam deneyi düzeneği ve deney sonrası hasar şekli.....	44
Şekil 3.21 : Lamine cam darbe deneyi kuvvet-zaman grafiği	44
Şekil 3.22 : Lamine cam darbe deneyi ötelenme-zaman grafiği	45
Şekil 3.23 : PDG panel eşdeğer statik üç noktalı eğilme deneyi	46
Şekil 3.24 : PDG panel eşdeğer statik üç noktalı eğilme deneyi hasar durumu	46
Şekil 3.25 : PDG panel eşdeğer statik üç noktalı eğilme deneyinde kuvvet-ötelenme eğrisi	47
Şekil 3.26 : PDG açıklık ortası kuvvet - ötelenme (sehim) ilişkisi.....	47
Şekil 3.27 : ESB'lerin malzeme ve geometrik özellikleri.....	48
Şekil 3.28 : ESB basınç deneyi	48
Şekil 3.29 : ESB kuvvet-ötelenme eğrisi	48
Şekil 3.30 : Donatılı gaz beton panel deney düzeneği	49
Şekil 3.31 : Donatılı gaz beton panel deneyi darbe başlığı ve mesnet özellikleri	49
Şekil 3.32 : PDG paneller için darbe kuvveti-zaman grafiği	51
Şekil 3.33 : PDG panel darbe deneyi sonrası aldığı hasar	51
Şekil 3.34 : PDG panellerde ESB kullanılması.....	51
Şekil 3.35 : PDG panellerde ESB kullanılması ve kullanılmaması durumunda kuvvet-zaman eğrileri	52
Şekil 3.36 : PDG panellerde darbe yükü sonrası ESB hasar durumu	52
Şekil 3.37 : Duvar kağıdı darbe deneyi a) deney düzeneği b) numune deney sonrası hasar durumu	54
Şekil 3.38 : Penetrasyon deneyleri içi darbe başlığı	55
Şekil 4.1 : Darbe deney cihazında kullanılan a) mesnet koşulları ve b) darbe arabası başlıkları	57
Şekil A.1 : Yaylı Universal Darbe Deney Cihazı Önden Görünüm	72
Şekil A.2 : Darbe arabası	73

Şekil A.3 : Yaylı fırlatma sistemi	74
Şekil A.4 : Kanca ve yay gerdirme sistemi.....	75
Şekil A.5 : Yay gerdirme mesafesi ayarlama ve kanca açma sistemi	76
Şekil A.6 : Darbe emici sistem	77
Şekil A.7 : Raydan çıkış bariyeri.....	78
Şekil A.8 : Numune ana montaj çerçevesi.....	79
Şekil A.9 : Üç noktalı yükleme sistemi	80
Şekil A.10 : Geri tepme önleyici sistem	81
Şekil A.11 : Doğrusal hareket çerçevesi.....	82





YAY TAHRİKLİ BİR DARBE DENEY CİHAZININ TASARIMI, GELİŞTİRİLMESİ VE VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Mühendislik malzemelerinin kısa süreli dinamik yükler altındaki davranışlarını ve dayanımlarını belirlemek mühendislik tasarımları için oldukça önemlidir. Bu özelliklerin belirlenmesiyle Savunma Sanayi, Petrol ve Gaz endüstrisi, Kimyasal ve Nükleer Tesisler, Darbe ve Patlama Mühendisliği, İnşaat ve Yapı Sektörü, Makine-İmalat Sektörü, Havacılık Sektörü, Otomotiv Sektörü ve Üniversitelerin AR-GE laborauvarları için de ayrıca hayati bilgiler elde edilmekte ve bu sektörlerin/alanların gelişiminde çok büyük katkılar sağlamaktadır.

Gerçek hayatta malzemelerin ve bu malzemelerden üretilmiş çeşitli elemanların kısa süreli dinamik yükler altındaki davranışlarını belirlemek için çeşitli deney yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler; patlatma, sarkaç yöntemi, ağırlık/kütle düşürme, hava basınçlı yöntemler, hidrolik aktuatör ve yay tahrikli olabilmektedir.

Bu tez kapsamında, yeni bir yay tahrikli darbe deney cihazı geliştirildi ve mevcut kısa süreli dinamik yük için uygulanan deney yöntemlerine göre çeşitli üstünlükleri ortaya koyuldu.

Tasarlanan cihaz, malzemelerin (seramik, metal, plastik, kompozit vs.) veya bu malzemelerden yapılmış çeşitli elemanların yatay darbe etkileri altındaki davranışlarını deneysel olarak elde etmek için kullanılabilir. Bu deney cihazı, kullanıcının talebine göre uygulanacak darbe yükünde hız, kütle, temas yüzeyi geometrisi ve temas rijitliği deney parametrelerinin kolay bir şekilde çeşitlendirilmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca cihaz deney uygulanacak numuneleri cihaza bağlarken kullanıcıya bu konuda da çeşitlilik sağlamaktadır.

Cihaz belirli karakteristiklere sahip yaylara depolanan enerji ile bir kütlenin yer çekiminden bağımsız olarak yatayda tek doğrultuda fırlatılması ilkesi ile çalışmaktadır. Fırlatılan kütlenin etkilediği deney numunelerine hangi hızla çarptığı ve çarpışma sırasında numune üzerinde oluşturduğu yük-zaman verileri uygun ve kolayca alınmaktadır. Tez çalışması kapsamında geliştirilen cihazın çalışma verimliliğini araştırmak için fırlatılan farklı kütlelerin hızları farklı yay germe miktarlarına göre ölçüldü. Yapılan ölçümler değerlendirildiğinde cihazın kütle, hız ve yay germe miktarı gibi parametrelere göre öngörülebilir bir şekilde çalıştığı ortaya koyuldu.

Ek olarak cihaz ile çelik plaka, lamine cam ve prekast donatılı gazbeton (PDG) panel ve duvar kağıdı gibi birçok sektörde kullanılabilen elemanlar üzerinde deney yapılarak sınıandı. Deneylerde yayın istenilen düzeyde gerilip serbest bırakılabilmesi, fırlatılan kütlelerin hızlarının kolay bir şekilde ve yeterli doğrulukta ölçülebilmesi, darbe yükü verilerinin ölçülebilmesi ve farklı deney başlıklarının kolay bir şekilde deney cihazına adapte edilebilmesi deney cihazının malzemelerin ve bu malzemelerden yapılan çeşitli elemanların kısa süreli dinamik yükler altında davranışlarının belirlenmesi konusunda önemli bir geliştirme olduğu ortaya koyuldu.



SPRING-ACTUATED IMPACT TEST DEVICE: DESIGN, DEVELOPMENT, AND EFFICIENCY ASSESSMENT

SUMMARY

Engineering structures and materials are frequently subjected to high-speed, short-duration dynamic loads, such as those generated by explosions, impacts, and ballistic events. These dynamic loadings induce significantly different mechanical behaviors and damage mechanisms compared to static or quasi-static conditions. Specifically, variations in strain rate can cause substantial changes in a material's strength, ductility, and strain hardening capacity, often resulting in unpredictable failure modes. Despite the critical importance of understanding material behavior under these conditions, conventional testing methods are often inadequate for replicating the rapid loading scenarios encountered in real-life applications. Therefore, there is a clear need for advanced experimental setups that can accurately simulate high strain-rate loading in a controlled laboratory environment, providing reliable data for material characterization and engineering design.

Accurate characterization of material behavior under dynamic loading conditions is critical for ensuring the structural integrity and safety of components used in various high-risk applications. Industries such as defense, oil and gas, chemical and nuclear facilities, impact and explosion engineering, construction, machinery manufacturing, aerospace, automotive, and academic research and development laboratories rely heavily on precise testing data to develop materials and systems capable of withstanding extreme conditions. The insights gained from dynamic load testing play a fundamental role in advancing these sectors, enabling innovation in materials design, improving safety standards, and enhancing overall performance.

Various experimental methods are utilized to evaluate the behavior of materials and structural components under short-duration dynamic loads. Common approaches include explosion tests, pendulum impact devices, mass drop systems, air pressure-driven mechanisms, hydraulic actuators, and spring-actuated testing devices. While explosion tests can replicate extreme load scenarios, they are often costly, difficult to control, and pose significant safety risks. Pendulum and mass drop methods offer simpler setups but suffer from limited control over impact velocity and energy precision. Air pressure and hydraulic systems provide greater control and repeatability; however, they typically involve complex and expensive equipment. In contrast, spring-actuated devices present a cost-effective and versatile alternative, offering reliable control over impact parameters with simpler operational requirements. Despite these available techniques, challenges remain in achieving consistent, accurate, and repeatable test conditions that faithfully replicate real-life dynamic loading scenarios.

To ensure the reliability and accuracy of experimental studies, it is critical to replicate realistic loading conditions that structural and non-structural elements are likely to experience in practice. Laboratory testing systems must offer a wide range of controllable parameters to simulate different loading scenarios effectively. In

structural dynamics, the response of an element is closely related to the ratio between its natural period and the duration of the applied load, which categorizes the response into three regions: equivalent static, impulsive, and dynamic. Accurately representing these loading conditions is essential for valid experimental outcomes. In this context, the novel spring-actuated impact test device developed in this study provides a highly controlled, flexible, and cost-effective solution for simulating short-duration dynamic loads. Unlike conventional methods, this system allows sufficiently precise adjustment of impact velocity, impactor mass, and contact characteristics, enabling tailored testing scenarios that replicate real-world dynamic events with improved accuracy and repeatability.

The spring-actuated impact test device developed is designed to evaluate the horizontal impact behavior of various materials, including ceramics, metals, plastics, and composites. Additionally, the device is equipped with an adaptable mounting system that enables quick and secure attachment of various test specimens, enhancing its versatility for different experimental configurations.

The device operates by releasing a mass that is accelerated horizontally through the stored potential energy of pre-tensioned springs, functioning independently of gravitational forces. The mechanical properties of the springs—such as stiffness, preload level, and damping characteristics—directly influence the velocity, impact energy, and consistency of the test results. By selecting springs with appropriate characteristics, the system can precisely control the kinetic energy delivered to the test specimen, ensuring repeatability and accuracy across a wide range of test scenarios. Furthermore, the load-time response generated during the collision is accurately captured, providing essential data for evaluating material performance under dynamic loading conditions.

The two critical components of the device are the tension springs and the release mechanism. The design of the tension springs considers key geometric parameters, including wire diameter, number of coils, and material properties, all of which directly influence the spring constant and overall mechanical performance. These characteristics are meticulously determined through both theoretical calculations and experimental validation, ensuring precise control over the energy stored and released during testing. The force-extension behavior of each spring is evaluated and compared with theoretical models to guarantee consistency and accuracy. This level of control allows researchers to fine-tune the impact energy and velocity according to the specific requirements of different testing scenarios. As a result, the system offers enhanced flexibility, enabling it to accommodate a wide variety of specimens and experimental conditions, from brittle ceramics to ductile metal components.

In this study, the release mechanism was designed with a dual-hook system to ensure the symmetrical and balanced release of the stored energy, minimizing any lateral forces on the impact carriage. The hooks are held in place by a locking mechanism that maintains tension until release is initiated. Upon activation, rotational bearings apply a moment to the hooks, overcoming the frictional resistance at the locking interface. This triggers the simultaneous and stable release of both hooks, allowing the impact carriage to accelerate smoothly along its track. The effectiveness and precision of this release system were validated through experimental testing, demonstrating consistent alignment with the theoretical predictions of energy transfer and impact velocity. These results confirm the reliability and repeatability of the device's operation under various loading conditions.

To evaluate the operational efficiency and consistency of the device, a series of experiments were conducted in which the velocities of projectiles with varying masses were measured under different spring extension conditions. Impact velocities were recorded using a high-precision optical sensor system positioned along the carriage's trajectory, ensuring accurate and real-time data acquisition. The experimental results demonstrated a strong correlation between the spring extension length, projectile mass, and the resulting impact velocity, validating the predictability of the device's performance. Multiple trials under identical conditions confirmed the repeatability of the system, with minimal variations being observed between tests. This consistency ensures the reliability of the test data for further analysis and material characterization.

To demonstrate the versatility and efficiency of the impact test device developed, a series of experiments were conducted on various structural elements commonly used across different industries, including steel plates, laminated glass, reinforced autoclaved aerated concrete (AAC) panels, and wall coverings. Both equivalent static and dynamic impact tests were performed using standardized cylindrical impact heads and support conditions. The experimental setup allowed for precise control of parameters such as spring extension length, impact velocity, and projectile mass, ensuring consistent test conditions. Comparative analyses of the load-displacement responses revealed that impact loads generated by the device were significantly higher than those observed under equivalent static loading for the same displacement levels, highlighting the increased energy transfer during dynamic events. Furthermore, energy assessments demonstrated a strong correlation between the kinetic energy of the impact carriage and the energy absorbed by the test specimens, validating the accuracy and reliability of the device. The recorded force-time and displacement-time curves provided detailed insights into the dynamic response behaviors, showing that higher impact velocities resulted in greater central displacements and impact forces on the steel plate specimens. Compared to conventional testing methods, the device developed offers enhanced adaptability, allowing efficient testing of a wide range of materials and configurations with superior control over test parameters and repeatability.

An equivalent static two-point bending test was initially conducted on steel plate specimens to establish baseline load-displacement behavior. Subsequently, dynamic impact tests were performed under identical boundary conditions using the spring-actuated device developed. During these impact tests, key parameters such as impactor velocity, applied load, specimen displacement, and energy absorption were meticulously measured. It was observed that the impactor velocity, determined through high-speed sensors, decreased upon contact due to energy transfer to the specimen, confirming the system's accurate energy delivery and data reliability. The close correlation between pre-impact and post-impact velocity measurements validated the consistency of the experimental data. Additionally, the dynamic increase factors (DIF) were calculated by comparing the peak impact loads to those obtained in equivalent static tests across varying impact velocities. These findings demonstrated a significant enhancement in load-bearing capacity under dynamic conditions, emphasizing the importance of strain rate effects in structural material performance assessments.

In the laminated glass impact experiments, a spherical steel impactor head with a specified mass was launched toward the specimens using the developed spring-actuated device. The impact tests were conducted with varying spring extension lengths to control the impact energy applied to the glass panels. Key performance

indicators such as impact resistance, impact force duration, and central displacement were measured with precision. The laminated glass demonstrated varying levels of damage depending on the impact energy, with permanent displacements observed at the center of the specimen. These displacements were attributed to both the compression of the interlayer band within the glass assembly and localized fracture of the glass layers. The experiments provided valuable insights into the failure mechanisms and energy absorption capacity of laminated glass panels under high-speed impact conditions, which are critical for safety evaluations in architectural and automotive applications.

Impact tests were conducted on reinforced autoclaved aerated concrete (AAC) panels, which were mounted onto a reinforced concrete frame using steel plates to replicate realistic boundary conditions. To further examine energy dissipation and its effects on impact resistance, Energy Damping Connections (EDC) were integrated into the experimental setup. Wooden components were placed at the support points, and rubber materials were utilized at the loading points to minimize localized damage during testing. The impact tests revealed that while a portion of the energy stored in the springs was dissipated due to system friction, the impactor consistently delivered sufficient energy to induce measurable responses in the AAC panels. Analysis of the impact load-time graphs showed that increasing the impactor's velocity led to higher peak loads; however, the duration of load application remained relatively constant across all tests. In scenarios without EDC implementation, the reinforced AAC panels exhibited shear failure under short-duration dynamic loads. In contrast, the use of EDC effectively reduced the peak impact loads and extended the duration of the load application. This energy dissipation mechanism prevented structural damage in the reinforced AAC panels, although permanent deformation was observed in the EDC components themselves. These findings underscore the critical role of energy damping systems in enhancing the impact resistance of reinforced AAC panels by absorbing and redistributing impact energy, thereby mitigating potential damage to structural elements.

In accordance with the TS 5228-3-2 EN 259-2 standard, heavy-duty wallpaper samples adhered to gypsum panels of specified thickness were subjected to controlled impact testing using the spring-actuated device. The tests were conducted at a defined angle relative to the horizontal plane to simulate real-life application scenarios. A cylindrical steel impact head was utilized to deliver consistent impact energy to the specimens. Following each impact event, the test samples were examined in a standardized inspection chamber under controlled lighting conditions to assess the extent of surface damage. Irreversible damage was defined as any visible tearing, cracking, or permanent deformation of the coating material that compromised its protective or aesthetic function. The damage threshold was determined based on the energy level at which such permanent defects consistently appeared in repeated trials. This methodology ensured a reliable assessment of the coating's durability and its ability to withstand mechanical impact without compromising its integrity or appearance.

In this study, "irreversible damage" was defined as any crack, rupture, or structural failure of the coating layer that extended through to the underlying gypsum plaster panel, in accordance with the criteria outlined in TS 5228-3-2 EN 259-2. Impact tests conducted at the specified energy levels demonstrated that the wall coverings maintained their structural integrity, with no occurrences of irreversible damage observed throughout repeated trials.

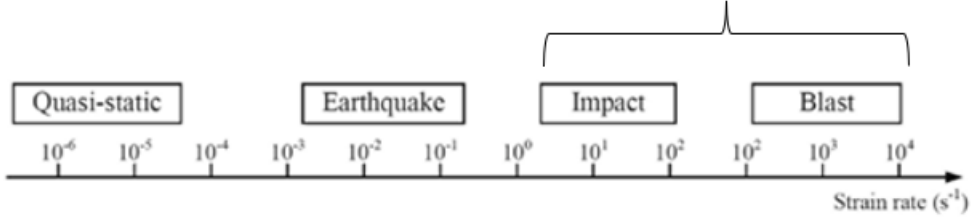
The experimental findings demonstrate that the developed spring-actuated impact test device provides a versatile, precise, and cost-effective solution for evaluating the behavior of materials and structural components under short-duration dynamic loads. The system's ability to adjust spring tension, control impactor velocity, accurately measure impact forces, and easily adapt different test heads enables comprehensive and repeatable testing across a wide range of materials. This research significantly advances material characterization methodologies by offering a practical and scalable alternative to more complex and costly dynamic testing systems. The reliable performance and adaptability of the device make it a valuable tool for both research and industrial applications, particularly in fields where understanding material response to high strain-rate loading is critical, such as defense, aerospace, and construction industries.



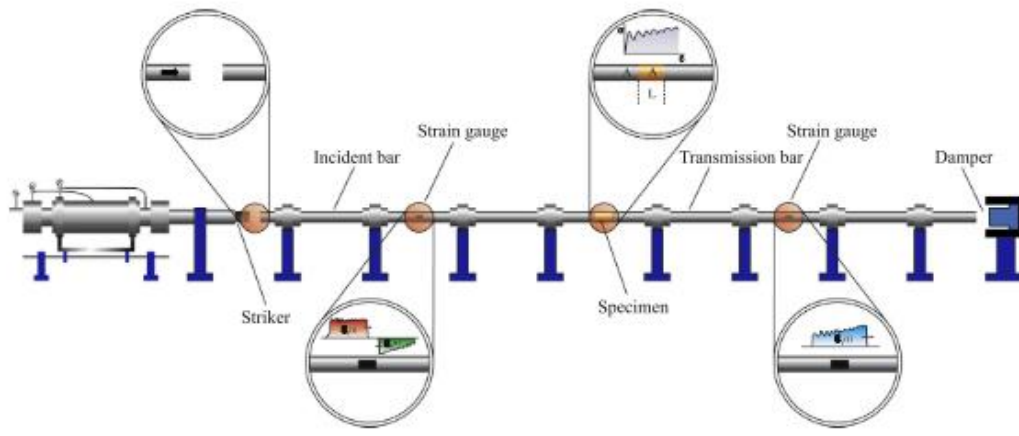
1. GİRİŞ

Mühendislik yapıları veya malzemeleri patlama ve darbe gibi yüksek hızlı ve kısa etki süreli yüklere maruz kaldığında, davranış karakterleri ve hasar mekanizmaları, statik veya yarı statik yükler altındakilerden büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedirler. Bu durumu doğru analiz edebilmek ve doğru bir mühendislik tasarımı için modelleme ve tasarımlarda malzemenin farklı yük etkilerindeki davranış özelliklerini belirlemek gerekmektedir. Malzemelerin yüksek gerinim hızları altındaki mekanik davranışları düşük gerinim hızları altında gözlemlenen mekanik davranışlarından oldukça farklıdır. Yük karakterine göre malzemelerin maruz kalabileceği gerinim hızları Şekil 1.1'deki gibidir. Malzemelerin belirtilen yük karakteri altındaki mekaniksel davranışlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Gerinim hızındaki değişimler malzemede dayanım, süneklik ve gerinim pekleşmesi gibi mekanik özelliklerinde değişimlere sebep olabilmektedir. Malzeme davranışının farklı gerinim hızlarındaki değişimlerinin Şekil 1.2'deki gibi Split Hopkinson Basma Çubuğu (SHBC) deney düzeneği ile belirlenmesi uzun süreden beri kabul görmüş ve hala kullanılan bir yöntemdir (Khosravani ve Weinberg, 2018). Şekil 1.2'de deney düzeneğinin ana bileşenleri detaylı gösterilmiştir. Örneğin betonun farklı hızlardaki çekme durumundaki dayanım artışı (Dinamik Arttırım Katsayısı, DAK) yapılan çalışmalar ve bazı yönetmeliklere göre Şekil 1.3'deki gibi verilmiştir. Bu grafik, farklı gerinim hızlarında malzeme davranışındaki çeşitliliği açıkça göstermektedir. Yine birçok malzeme için farklı deformasyon hızlarındaki dayanım değişimlerini literatürdeki çalışmalarda bulmak mümkündür. Duvar malzemesi olarak tuğlanın, harcın ve tuğla harç ara yüzey özelliklerinin de yüksek deformasyon hızı etkisindeki davranışları araştırmacılar tarafından ele alınmıştır (Burnett vd., 2007; Hao ve Tarasov, 2008; Wei ve Hao, 2009; Asprone vd., 2014; Rafsanjani vd., 2015; Li Piani vd., 2020).

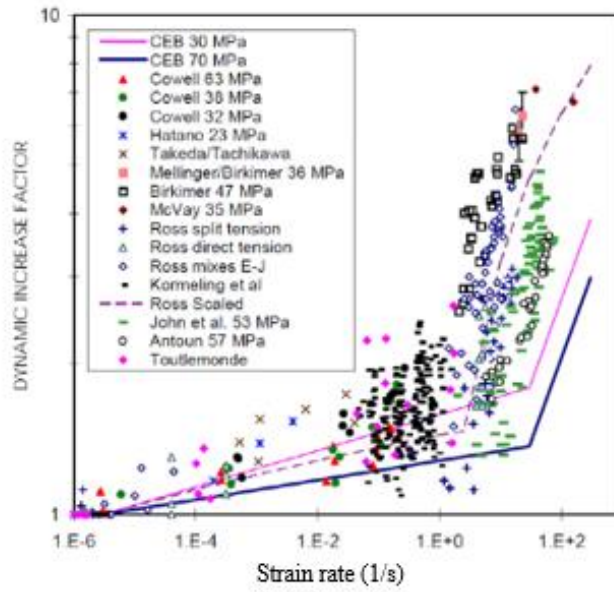
Kısa süreli dinamik yükler
(Krauthammer T., 2008)



Şekil 1.1 : Betonun farklı deformasyon hızlarındaki çekme dayanımı artışları (Zhang vd., 2020).

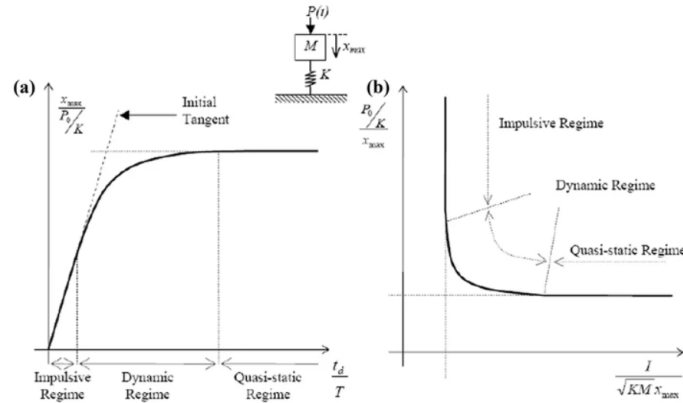


Şekil 1.2 : SHBC deney düzeneği şematik görünümü (Khosravani ve Weinberg, 2018).

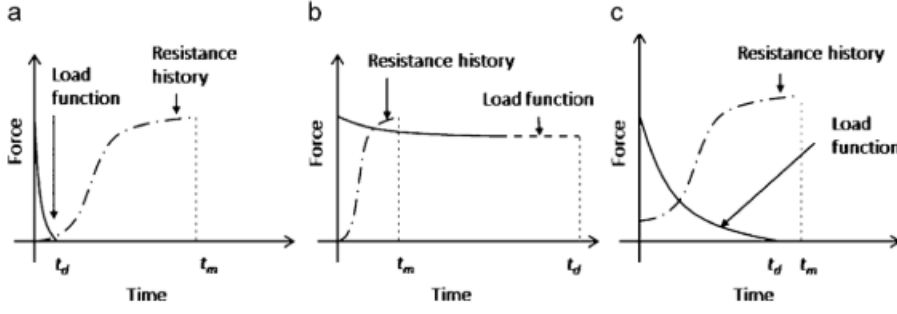


Şekil 1.3 : Beton için DAK (Levi-Hevroni vd., 2018).

Yapılan deneysel çalışmaların gerçekte yapısal veya yapısal olmayan elemanın maruz kalacağı yükü oldukça yakın bir şekilde temsil edebilecek yeterlilikte olması beklenir. Dolayısıyla bir laboratuvar çalışmasında yapı elemanlarının gerçekte maruz kaldıkları yükü benzetmek deneysel çalışmaların doğruluğu açısından önemlidir. Darbe yüklerinin deneysel çalışmadaki doğruluğu için darbe kuvvetinin miktarı, süresi ve etkime alanı önemli büyüklüklerdir. Bu doğruluğun elde edilmesi sırasında test sistemlerinin araştırmacıya geniş bir çalışma alanı sunması gerekmektedir. Şekil 1.4, yapı elemanlarının farklı yükleme koşullarındaki kritik eşiklerini anlamada temel bir araçtır. Yapı dinamiğinde, bir yapısal elemanın tepkisi, doğal periyodu ile elemana etki eden yükleme süresi arasındaki orana bağlı olmaktadır (Şekil 1.4). Bu ilişki üç ayrı kategoriye ayrılmıştır. Bu kategoriler Şekil 1.5’deki gibi eş değer statik, impulsif ve dinamik bölge olarak isimlendirilmektedir. Örneğin eş değer statik yük için rüzgar yükü, dinamik yük için deprem etkileri, impulsif yük içinde darbe ve patlama basıncı yükü etkileri söylenebilir. Eş değer statik yükte, yükleme süresi etkilediği elemanın doğal periyodundan oldukça uzundur. Eleman maksimum yük veya yer değiştirme seviyesine ulaşıncaya kadar eleman üzerindeki yükün azalması çok düşüktür. İmpulsif (impulsive) bölgede, yükün uygulanması ve eleman üzerinden kalkma süresi elemanın doğal titreşim periyodundan oldukça küçüktür yani eleman kısa süreli yük etkisine maruz kalmaktadır. Dinamik bölge, impulsif ve eşdeğer statik bölge arasında olmakla beraber, bu bölgede yükleme süresi ve elemanın doğal titreşim periyodu birbirleri ile yaklaşık olarak aynıdır (Krauthammer vd.,2008). Yüklerin etkime süresi elemanların ve malzemelerin davranışlarında önemli farklılıklar oluşturmaktadır dolayısıyla bir mühendislik tasarımında bu yük etkilerinin karakterleri göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 1.4 : Tipik tepki spektrumu ve (basıncı)-impuls diyagramı (Krauthammer vd.,2009).

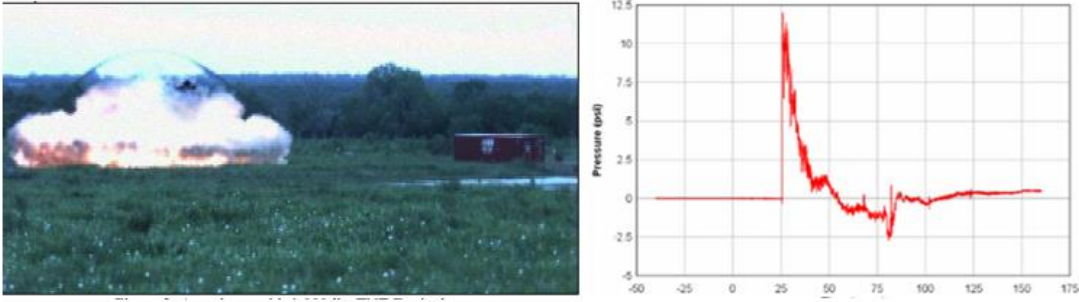


Şekil 1.5 : Tipik davranış alanları (a) impulsif (b) yarı statik ve (c) dinamik (Krauthammer vd.,2008).

Patlama ve darbe etkileri genellikle iki farklı şekilde ele alınmaktadır. İlk olarak, patlamadan kaynaklanan bir nesnenin yapı bileşenlerine çarpması; (şarapnel, kamyon vb.) (Group, A., 2020; Tamai vd., 2020; Tao vd., 2020; Wei vd., 2020; Zanuy ve Ulzurrun,2020); ikinci olarak ise, patlamanın oluşturduğu yüksek basınç veya şok dalgasının yapı yüzeyine etki etmesidir. (Pereira vd., 2015; Alsayed vd., 2016; Smith vd., 2016). Burada birincisi darbe yükü olarak ikincisi de patlama yükü olarak değerlendirilebilir. Şekil 1.4 ve 1.5'teki dinamik yükleme bölgeleri bu durumların analizi için önemli bir temel oluşturur. Bu tür çalışmalar, elemanların yapısal davranışını anlamak ve uygun güçlendirme yöntemleriyle dayanımlarını artırmak açısından kritik öneme sahiptir. Örneğin duvar bileşenlerin patlama ve darbe gibi kısa süreli dinamik yükleme altındaki davranışları araştırılmış (Gilbert vd., 2002; Burnett, 2004; Wei ve Stewart, 2010; Wang vd., 2012; Campidelli vd., 2016; Smith vd., 2016; Pereira ve Lourenço, 2017; Pourfalah vd., 2018; Sielicki ve Łodygowski, 2019) ve bazı güçlendirme yöntemleri geliştirilmiştir (Kiang Hwee ve Patoary, 2009; Sari vd., 2009). Örneğin, Kiang Hwee ve Patoary, 2009 yaptıkları çalışmada üç farklı lif takviyeli polimer (LTP) sistemiyle güçlendirilmiş 18 tam ölçekli duvarı deneyelemiştir. Güçlendirilmiş duvarların patlama altındaki tepkisi, yüksek hızlı veri toplama sistemleri tarafından kaydedilmiştir. Deney sonrası yapılan gözlemlerde, duvarların hiçbirinde görünür bir hasar, çatlak veya ayrılma olmadığı tespit edilmiş, bu da LTP güçlendirme tekniğinin patlama korumasında etkili olduğunu doğrulamıştır.

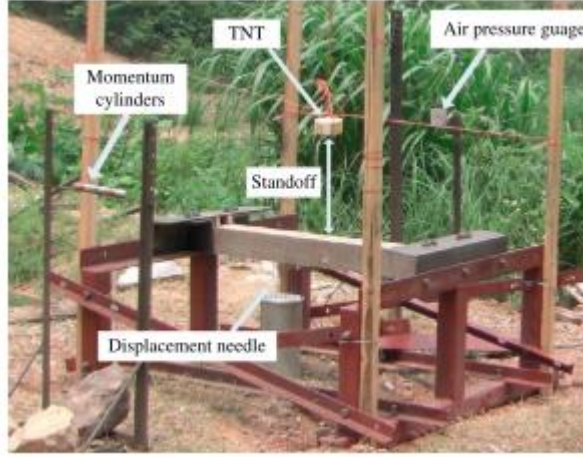
Kısa süreli dinamik yükün darbe ile sağlanması için çalışmalarda numune üzerine düşeyde kütle düşürerek (Pourfalah vd., 2018; Carlos ve Gonzalo, 2020) veya yatayda (Bo ve Shixiang, 2020; Li vd., 2020) darbe sağlamak, doğrusal bir cismin veya halatın ucuna bağlanan ağırlığın yer çekimi etkisiyle hareketinin sağlandığı pandül sistemi

Patlama basınç dalgasının büyüklüğü ve şekli daha çok patlamanın enerjisine ve patlama noktasıyla etkilediği bölge arasındaki mesafeye bağlı olmaktadır. Yapısal elemanların patlama yüklerine karşı davranışını incelemenin en etkili yöntemi, patlayıcı kullanılarak yapılan deneylerdir. Şekil 1.8’de örnek olarak bir patlama deneyi ve patlamanın herhangi bir yüzeye etki etmediği durumdaki (boş alandaki) basınç zaman ilişkisi verilmiştir. Şekil 1.8’de görülen basınç-zaman grafiği, patlama dalgasının etkisinin kısa sürede maksimum seviyeye ulaşip hızla düşüşe geçtiğini göstermektedir. Bu tür bir davranış, yapı elemanlarının patlama etkisi altında sergileyeceği deformasyon özelliklerini anlamada kritik öneme sahiptir. Patlama basıncının etki süresi, 25 ms gibi oldukça kısa bir zaman diliminde gerçekleşmiştir. Deneysel düzeneklerde, patlayıcı miktarı ve hedef yüzeye arasındaki mesafenin ayarlanması, yük parametrelerinin kontrol edilebilmesini sağlar.



Şekil 1.8 : Patlama kaynağından 110 feet uzaklıktaki boş alanda basınç-zaman ilişkisi (Sari and Barker,2008).

Literatürde, doğrudan patlama yapılarak yapısal ve yapısal olmayan bina elemanlarının performanslarının değerlendirildiği birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Betonarme döşeme, kolon, giriş ve duvar gibi elemanların patlama yükü etkisindeki davranışları Şekil 1.9 örneğindeki gibi doğrudan patlatma yapılarak araştırılmıştır (Zhang vd., 2013; Shi vd., 2020; Yan vd., 2020). Şekil 1.9’da görülen düzeneğin, farklı patlayıcı türlerinin yapı elemanları üzerindeki etkilerini analiz etmede sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmalarda farklı ağırlık ve mesafelerdeki patlayıcıların belirli boyutlarda üretilen numunelerin davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Örneğin Zhang vd. (2013), doğrudan patlama deneyleriyle, betonarme elemanların deformasyon ve çatlama davranışlarının patlama enerjisine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur.



Şekil 1.9 : Patlama deney düzeneği (Zhang vd., 2013).

Patlama deneyleri birçok bakımdan zorluk ve yetersizlikler içermektedir. Patlayıcı malzemenin yasal temini ve kullanımı, deneylerin ulusal düzenlemelere uygun bir şekilde gerçekleştirilmesini gerektirirken, deney ortamının güvenliği, çevresel etkiler ve insan faktörlerini dikkate almayı zorunlu kılmaktadır. (Stewart vd., 2014). Bu zorluklar karşısında patlama ve darbe gibi kısa süreli yükleri temsil edebilecek deney sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler, patlama yüklerinin temsilini daha güvenli ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirmeyi sağlamaktadır. Örneğin, bu zorlukların üstesinden gelmek için Split Hopkinson Basma Çubuğu (SHPB) ve kontrollü darbe sistemleri gibi deney düzeneği alternatifleri geliştirilmiştir.

Bu deneyler örnek olarak şok tüpü düzenekleri kullanılarak bir sıkıştırma odası aracılığıyla şok (sadme) dalgaları üretilir ve hedefe doğru salınırlar. Son olarak, istenen basınçtaki şok dalgaları sistemin ön yüzeyine tutturulmuş numuneye doğru hareket eder (Şekil 1.10). Bu deney düzeneği kurulumu oldukça maliyetli ve tekrarlanabilir deneyler yapılması bakımından oldukça zaman alıcıdır. Son yıllarda, şok tüpü deney düzeneklerinin daha verimli ve düşük maliyetli hale getirilmesi için çeşitli optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır (Thiagarajan ve Reynolds, 2017).

Bir diğer kısa süreli dinamik yük üretebilecek deney sistemi örneği, 2005 yılında University of California, San Diego'da kurulmuş deney sistemidir. Bu deney sistemi de Şekil 1.11'deki hidrolik sistemlerden oluşturulmuştur. Bu sistem, numuneye kontrollü bir şekilde bir kütleyi çarptırarak bir kısa süreli yük üretmek üzere tasarlanmıştır. Bu kısa süreli yük, kombine bir hidrolik / yüksek basınçlı nitrojen enerji kaynağı ile ultra hızlı, bilgisayar kontrollü hidrolik aktüatörler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yine bu düzenek oldukça maliyetli olup deney sisteminin

kurulması ve deneylerin tekrarlanması açısından zaman alıcıdır. Son yıllarda, bu tür sistemlerin daha ekonomik ve hızlı uygulanabilir hale getirilmesi için çeşitli optimizasyon çalışmaları yürütülmektedir (Stewart vd., 2014).



Şekil 1.10 : Şok tüpü deney sistemi (Thiagarajan ve Reynolds, 2017).

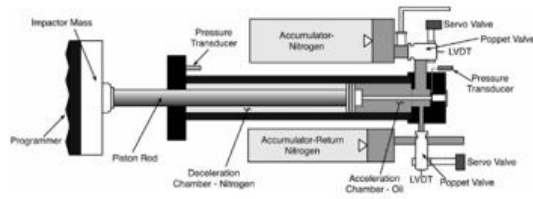
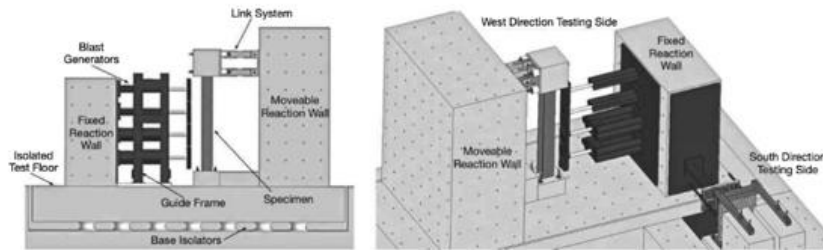
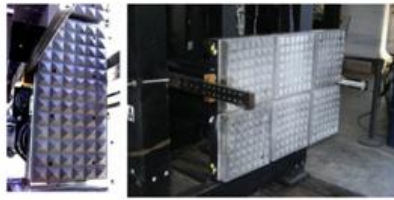


Fig. 3. Schematic of blast generator.



Şekil 1.11 : Patlama deney düzeneği (Stewart vd., 2014).

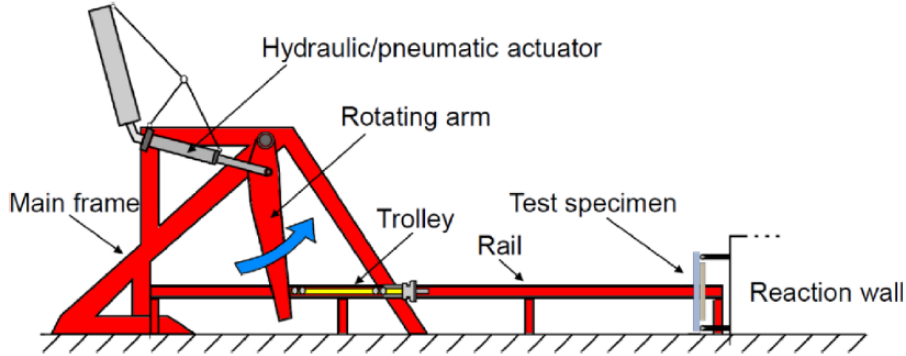
Şekil 1.12’de Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesinde bir darbe makinesine genel bir bakış görülmektedir. Bu tür sistemler, otomotiv sektöründe çarpma dayanımı testleri ve inşaat mühendisliği uygulamalarında yapı elemanlarının performansını değerlendirmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Temel olarak, deney düzeneği raylar üzerindeki bir darbe arabasını bir reaksiyon duvarına sabitlenmiş bir deney numunesine doğru hızlandırır. Hızlandırıcı sistem, bir dizi yatak etrafında dönen bir koldan oluşur, yani kol Şekil 1.12’deki düzlemde dönmekte serbesttir. Kolun kendisi, hareket kuvvetini sağlayan bir hidrolik/pnömatik aktüatör sistemine bağlıdır. Bu sistem, darbe arabasını istenen çarpma hızına kadar hızlandırır. Darbe arabası, kılavuz raylar boyunca yol kat eder ve daha sonra uzak uçta bulunan numuneye çarpar (Hanssen, A G vd., 2003). Bu sistem, darbe hızının hassas bir şekilde kontrol edilmesi ve numuneye eşit kuvvet uygulanması açısından diğer sistemlere kıyasla daha etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu düzenek, çarpma deneylerinde hız ve darbe kuvvetinin kontrollü bir şekilde uygulanmasını sağlayarak mühendislik uygulamalarında yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmesini mümkün kılar. Bu düzenek, doğrusal hareket kılavuz rayları sayesinde darbe arabasının hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlar ve çarpma deneylerinin güvenilirliğini artırır. Bu cihaz, özellikle hafif malzemelerin çarpma dayanımı deneylerinde ve otomotiv sektörü uygulamalarında kullanılmaktadır.

Şekil 1.13’te Queensland Teknoloji Üniversitesinde kurulmuş bir darbe deney cihazını göstermektedir. Bu cihaz yaklaşık 3,3 m uzunluğunda, 0,83 m genişliğinde ve 0,84 m yüksekliğindedir. Pnömatik aktüatör, darbe arabasını raylar boyunca hızlandırarak numuneye çarpma etkisi oluşturmaktadır. Bu mekanizma, kontrollü bir şekilde tekrarlanabilir darbe deneyleri gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Cihaz genel olarak bir çerçeve sistem, doğrusal hareket kılavuz rayları, bir darbe arabası, bir pnömatik aktüatör, bir hızlı serbest bırakma kancasından oluşmaktadır (Aghdamy vd., 2015)

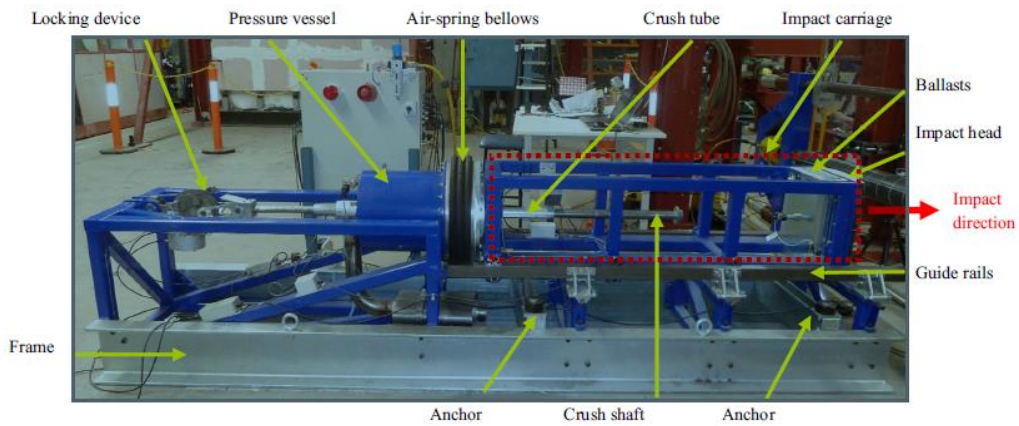
Şekil 1.14’te Guangxi Üniversitesinde kurulmuş bir yatay darbe deney düzeneği bulunmaktadır. Bu düzenek yatayda bir darbe arabasının düşeyde düşen bir kütleyle bağlanması şeklinde çalışmaktadır. Yatay darbe arabası düşeyde hareket eden arabanın ağırlığı ve bırakıldığı yüksekliğe göre hareket etmektedir. Yatay araba serbest hareket etmemektedir, deney numunesi montaj çözümlemesi açısından sistem oldukça fazla yer kaplamakta deney cihazı ile numune arasında işlevsel bir bütünlük söz konusu olmamaktadır (Bo ve Shixiang, 2020).

Wuhan Teknoloji Üniversitesinde darbe deneyleri Şekil 1.15'de gösterilen düşey hareket eden sonrasında numuneye çarpmadan yataylaşan bir deney makinesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu deney makinası, dört tekerlekli bir bıçak sırtı darbe arabası, güçlü bir düşey ve sonrasında yataylaşan hareket sistemi, düşey düzlemde dairesel ray güzergâhı, bir ivme sensörü ve hız ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Darbe arabasının kütlesi 60 kg ile 100 kg arasında değişmekte ve darbe arabasının hızı serbest bırakma yüksekliği değiştirilerek kontrol edilebilmektedir. Darbe arabasının hızı 8 m/s'ye kadar artırılabilir. Serbest bırakılan dört tekerlekli darbe arabası, sürtünmeyi mümkün olduğunca en aza indiren bıçak sırtı raylar üzerinde hareket etmektedir. Darbe arabası yüksek mukavemetli çelikten yapılmıştır, vurucunun dikey uzunluğu 100 mm'dir (Cai, W. vd., 2022).

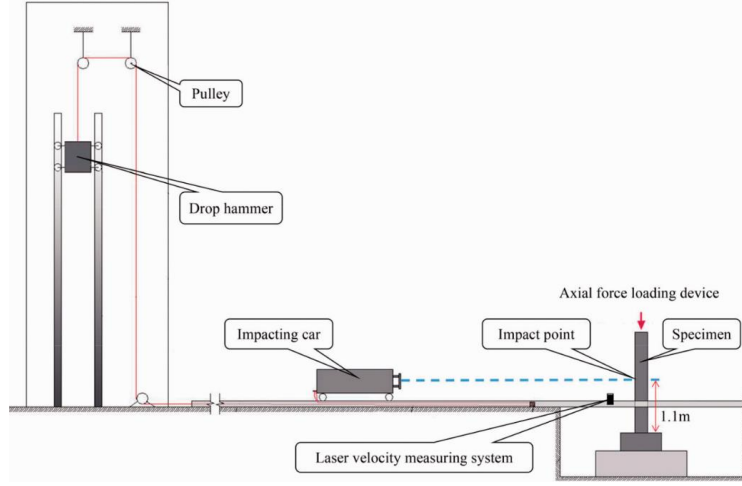
Şekil 1.16'da Queensland Teknoloji Üniversitesinde kurulmuş bir darbe deney cihazını göstermektedir. Bu cihaz pnömomatik sistem, top, fren sistemi, mermi ve taban destek çerçeveleri gibi mekanik bileşenlerden oluşmaktadır (Asad, M. vd., 2022).



Şekil 1.12 : Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesinde bir darbe deney cihazı



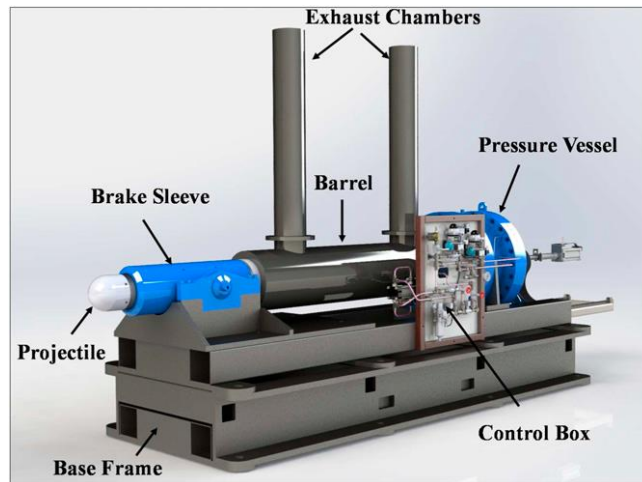
Şekil 1.13 : Queensland Teknoloji Üniversitesinde bir darbe deney cihazı



Şekil 1.14 : Guangxi Üniversitesinde kurulmuş bir yatay darbe deney düzeneği



Şekil 1.15 : Wuhan Teknoloji Üniversitesinde bir darbe deney düzeneği



Şekil 1.16 : Queensland Teknoloji Üniversitesinde kurulmuş bir darbe deney cihazı
Yukarıda görüldüğü gibi patlama ve darbe gibi kısa süreli dinamik etkiler, oluş biçimine ve oluş kaynağına bağlı olarak, mühendislik yapılarının veya malzemelerinin

çok kısa süren yüklere maruz kalmasına sebep olmaktadır. Bu durum yapısal elemanların ve malzemelerin beklenmedik davranışlar sergilemesine yol açabilmektedir. Bu tür etkiler, elemanların kısa süreli dinamik yüklere maruz kalmasına sebep olmaktadır. Bu yükü laboratuvar ortamında oluşturmanın yolları yukarıda, literatür bölümünde belirtilen deney sistemleriyle mümkün olabilmektedir. Fakat bu deney sistemlerinin, yüksek maliyetleri, düşük günlük tekrar kullanılabilirlik kapasiteleri ve güvenlik açısından oluşturdukları problemler gibi çeşitli sınırlamaları bulunmaktadır. Bu tez kapsamında belirtilen tüm bu problemler dikkate alınarak özgün bir deney sistemi geliştirildi. Bu sistem, yatay ekseninde darbe uygulayabilme, darbe enerjisini, hızını ve darbe yüzeyi geometrisini ayarlayabilme özellikleriyle alandaki önemli bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Daha önceki deney sistemlerinde bu tür yüklerin enerjilerini, yer çekimi, hava veya hidrolik basınç ekipmanlarından aldıkları görülmektedir. Bu yeni deney sisteminde ise enerji çekme yayları ile sağlanmaktadır. Bu sayede, deney sistemi hem maliyet hem de kullanım kolaylığı açısından önemli avantajlar sunmaktadır. İstenen darbe veya sadme yükleme özelliklerine göre bu yaylar ve araba üzerindeki kütle kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Deney sisteminin malzeme deneyleri kadar kolay ve hızlı uygulanabilir bir işleyişe sahip olduğu düşünülmektedir. Bu sayede gün içerisinde çok sayıda deney yapma imkanı olacak ve çok sayıda deney parametresi araştırmaları yapılabilecektir. Deney sistemi az yer kaplamaktadır ve bu sayede cihaz çok çeşitli deneyleri sınırlı bir alan içerisinde yapma becerisine sahiptir. Özet olarak;

Yukarıda belirtilen deney yöntemleri ve bu yöntemlerin uygulanış biçimleri açıklandı. Bu yöntemler incelendiğinde;

- Darbe yükü ve mesnet oluşturma bakımından sınırlı çözüm üretme kabiliyeti,
- Tek tip şekle sahip numunelerin denenebilmesi,
- Bazı durumlarda yük-zaman, ivme-zaman ve hız gibi verilerinin zamanlı kayıtlanamaması,
- Yer çekimi vb. zorlayıcı etkilerinin ortadan kaldırıldığı serbest çarpışma senaryolarına uygun olmaması,
- Yöntemlerin hem malzeme hem de eleman veya sistem deneylerine elverişsiz olması,
- Birçok farklı pozisyonda numune montaj kabiliyetlerinin olmaması,

- Kütle-hız-çarpışma yüzeyi geometrisi ve rijitliği üçlüsünde yapılabilecek kombinasyon sınırlaması,

gibi teknik konularda eksiklerin olduğu görüldü. Tüm bu eksiklerin tek bir deney konseptiyle tamamlanabileceği düşüncesiyle bu çalışma gerçekleştirildi. Sonuç olarak, bu yeni deney sistemi, düşük maliyeti, kompakt yapısı, yüksek tekrarlanabilirlik kapasitesi ve ayarlanabilir parametreleri ile literatürdeki sistemlere kıyasla önemli stnlkler sağlamaktadır.





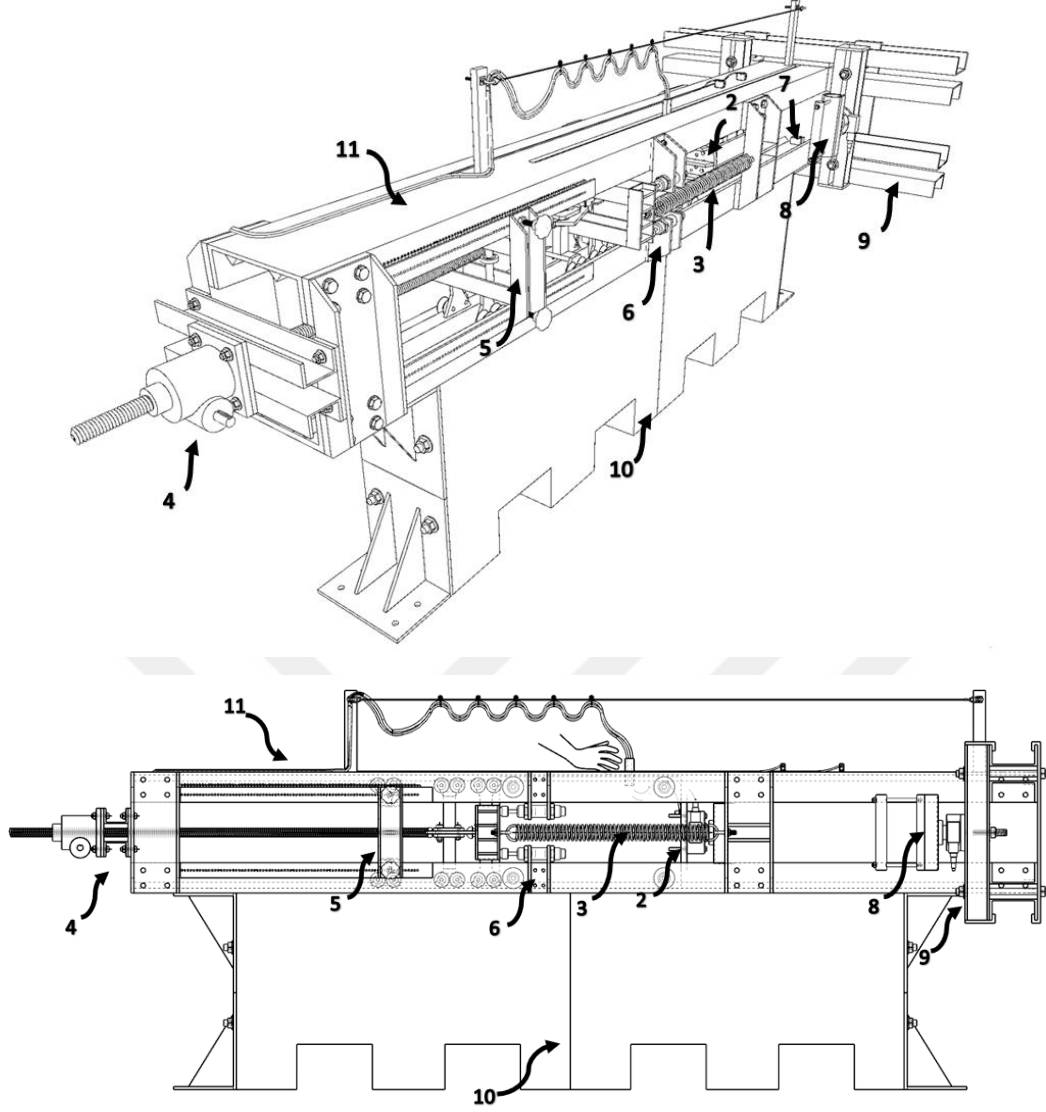
2. DENEY CİHAZI TASARIMI VE ÜRETİLMESİ

2.1 Deney Cihazı Tasarımı

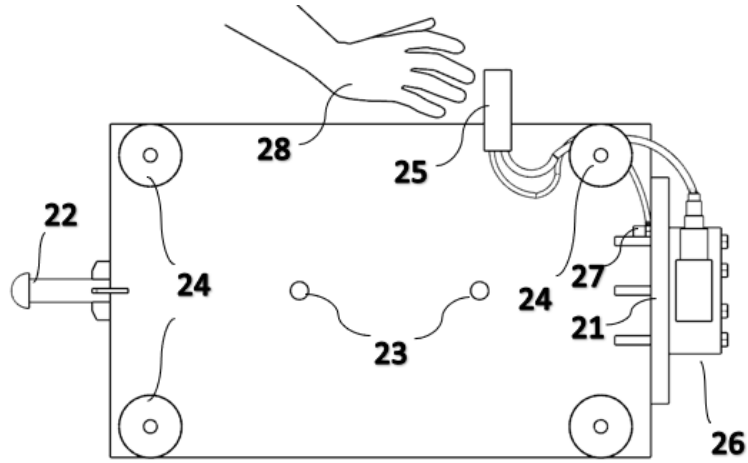
Geliştirilen darbe deney cihazı genel olarak aşağıdaki 11 bölümden oluşmaktadır;

1. Tasarlanan yay tahrikli darbe deney cihazının şematik diyagramı Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekil 2.1'de görüldüğü üzere, cihazın ana bileşenleri numaralandırılmıştır. Örneğin, 2 numaralı bileşen darbe arabasını temsil ederken, 3 numaralı bileşen yaylı fırlatma sistemi bölgesini göstermektedir. Cihaz ile ilgili detaylı çizimler ve açıklamalar Kucuk M ve Sarı A, 2024 patent dosyasında ve bu tezin Ekler bölümünde bulunmaktadır. Cihaz genel olarak belirli bir kütle için gerilen çekme yayları ile fırlatılması ve bu kütle için denenen nesnelere çarptırılması şeklinde çalışmaktadır. Bu sistem, çekme yayları aracılığıyla enerji transferi sağlayarak darbe deneylerinde hassasiyet ve tekrarlanabilirlik üstünlüklerini sunmaktadır. Cihazın tüm bölümleri 2-11 arasındaki takip eden numaralarda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2. Şekil 2,2'de darbe arabasının tüm bileşenleri görülmektedir. Bu bileşenler, darbe uygulaması sırasında hareket ve ölçüm işlevlerini yerine getiren kritik parçalardır. Bu araba; kütle ekleme delikleri 23, yük sensörü bağlantısı flanş 21, bir insan eli 28 ile kullanılabilir kurma kolu ve kablo taşıma kutusu 25, kanca tutma topuzu 22, ray tekerleri 24, yük sensörü 26, ivme sensörü 27 gibi bölümlerden oluşmaktadır. Kütle ekleme delikleri 23, darbe arabasının deneyde istenen kütleyle ulaştırılması için gerekli kütlelerin bağlanmasını sağlar. Yük sensörü 26, darbe sırasında oluşan kuvveti ölçmek için kullanılır.

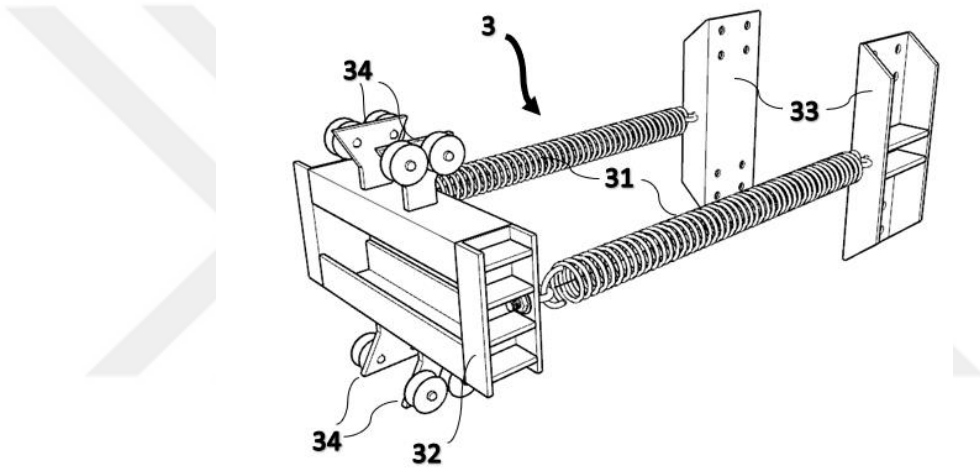


Şekil 2.1 : Yay tahrikli darbe deney cihazının şematik diyagramı.



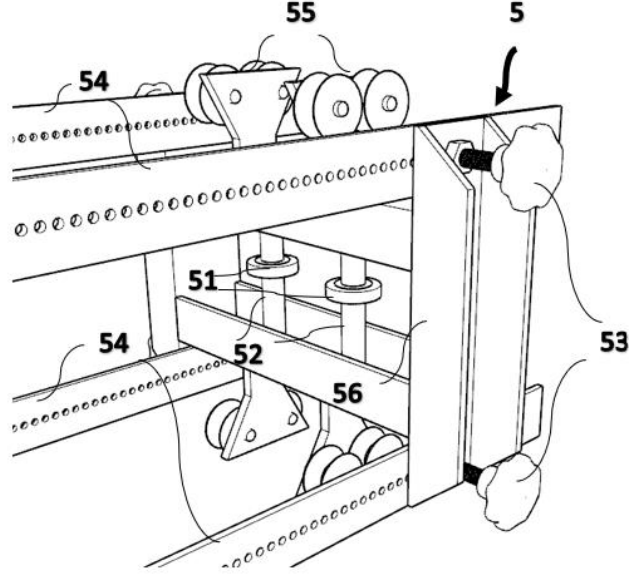
Şekil 2.2 : Darbe arabası.

3. Darbe arabası ile belli bir hız (v) ve enerjide $1/2mv^2$ darbe uygulanabilmesi için Şekil 2.3’de gösterilen yaylı fırlatma sistemi kullanılmaktadır. Şekil 2.3, yaylı fırlatma sistemini ve ana bileşenlerini göstermektedir. Bu sistem, enerjiyi depolamak ve darbe arabasına aktarmak için çekme yayları ve itme arabası gibi temel unsurlar içerir. Bu sistem; enerjinin depolanacağı iki adet çekme yayı 31, yaylardaki enerjiyi darbe arabasına aktaracak ray tekerleri 34 ile doğrusal hareket çerçevesi içinde raylar üzerinde hareket edebilecek itme arabası 32 ve yaylı fırlatma sisteminin doğrusal hareket çerçevesine bağlanmasını sağlayacak bağlantı kirişi 33 gibi bölümlerden oluşmaktadır. Bu sistem, enerji depolama ve aktarım süreçlerinde yüksek hassasiyet sağlayarak tekrarlanabilir deneyler için idealdir.



Şekil 2.3 : Yaylı fırlatma sistemi

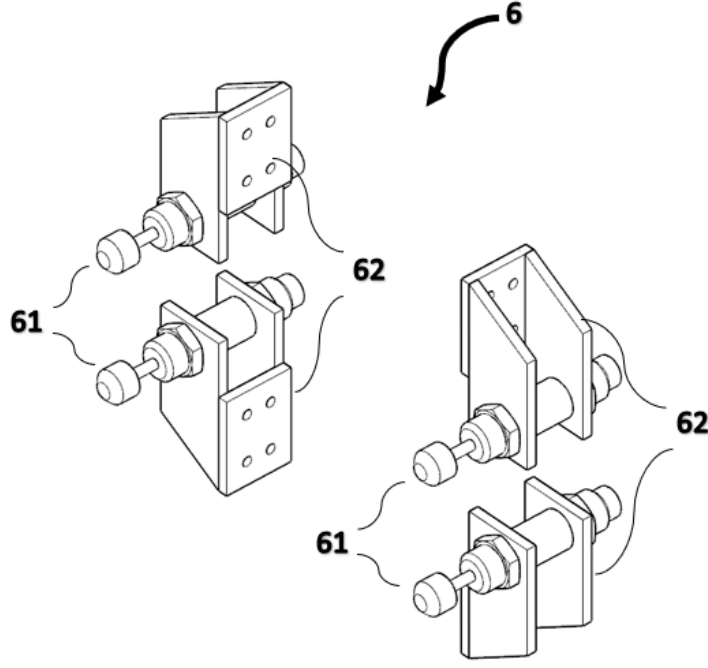
4. Yay gerdirmeye ve fırlatma işleminde Şekil 2.4’te gösterilen kanca ve yay germe sistemi kullanılmaktadır. Şekil 2.4’te, kanca ve yay germe sisteminin ana bileşenleri görülmektedir. Bu sistem, enerji aktarımı ve doğrusal hareket kontrolü için önemli bir role sahiptir. Bu sistem; darbe arabasında bulunan kanca tutma topuzunu tutmaya yarayacak ve yay gerdirmeye işlemi tamamlandıktan sonra kancayı serbest bırakarak darbe arabasını harekete geçirmeyi sağlayan hızlı serbest bırakma kancası 42, yay germe işleminde bir elektrik motorunun bağlanmasını 46 ile kullanılabilir ve yay germe işlemini hassas ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirmeyi sağlayacak hareket vidası (vidalı çektirme) 41, bu kancanın doğrusal hareket çerçevesi içerisinde hareket etmesini sağlayacak ray tekerleri 44, sistemin doğrusal hareket çerçevesine bağlanmasını sağlayacak bağlantı kirişleri 43, hareket vidasının (vidalı çektirmenin)



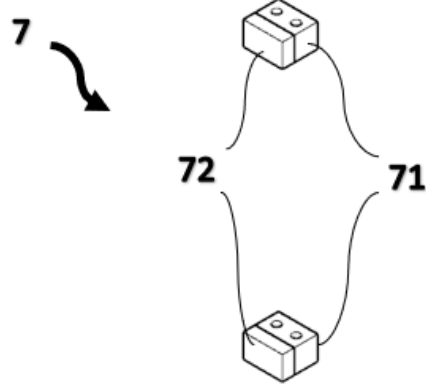
Şekil 2.5 : Yay germe mesafesi ayarlama ve kanca açma sistemi.

6. Yaylı fırlatma sistemi ile darbe arabasının itilmesi esnasında, yaydaki öngörülen enerjinin darbe arabasına aktarılmış olması ve belirli bir noktadan sonra darbe arabasının serbest hareket edebilmesi için yaylı fırlatma sistemindeki itme arabasının durdurulması gerekmektedir. Şekil 2.6, yaylı fırlatma sistemi ile darbe arabası arasındaki enerji transferi tamamlandıktan sonra, itme arabasını güvenli bir şekilde durduran darbe emici sistemi göstermektedir. Bu sistem; itme arabasının darbe arabasından ayrıldığı anda hasarsız bir şekilde durdurulmasını sağlayan dört adet darbe emiciden 61 ve bunların doğrusal hareket sistemine sabitlenmesini sağlayan bağlantı elemanlarından 62 oluşmaktadır. İtme arabasının darbe arabasından ayrılmasının istendiği mesafede itme arabası bu dört adet darbe emici 61 tarafından hasarsız bir şekilde durdurulmaktadır.

7. Darbenin deney numunesine uygulanmasından sonra darbe arabasının numuneyi geçerek doğrusal çerçeve içerisinden ayrılmasını önlemek için Şekil 2.7'deki gibi raydan çıkış bariyerleri kullanılmaktadır. Bu bariyerlerde; doğrusal hareket çerçevesine sabitleme elemanı 71 ve bu eleman önüne büyük şekil değiştirerek veya hasar görerek enerji yutan eleman 72 kullanılmaktadır. Darbe arabasının numuneyi hasara uğratarak devam etmesi halinde araba enerji yutan elemanlara 72 çarparak enerjisini büyük oranda kaybedecek ve duracaktır. Bu sistem, darbe arabasının güvenli bir şekilde durdurulmasını sağlayarak deney sırasında oluşabilecek ekipman hasarlarını ve güvenlik risklerini minimize eder.



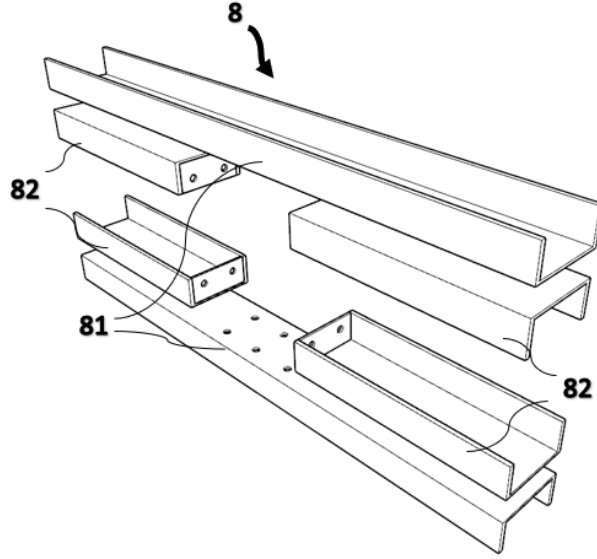
Şekil 2.6 : Darbe emici sistem.



Şekil 2.7 : Raydan çıkış bariyerleri.

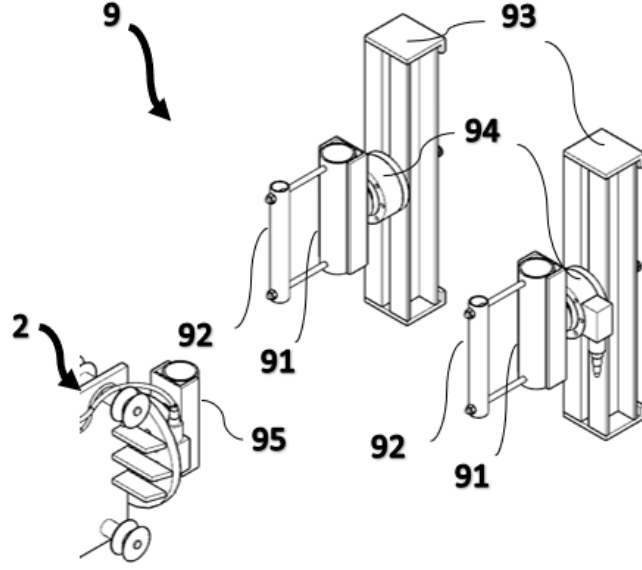
8. Şekil 2.8, numune ana montaj çerçevesini ve bileşenlerini göstermektedir. Bu çerçeve, deney numunelerinin güvenli bir şekilde sabitlenmesini sağlar ve farklı boyutlardaki numunelere uyum sağlayacak esneklikte tasarlandı. Bu montaj çerçevesi; darbe kütesinin/arabasının kılavuzlanarak tahrik edildiği doğrusal hareket çerçevesine alt ve yan taraflarından sabitlemek üzere sırasıyla iki adet uzun U kesitli profilden 81 ve dört adet kısa U kesitli çelik profilden 82 oluşmaktadır. Uzun U kesitli profiller 81, montaj çerçevesinin temel yapısını oluştururken, kısa U kesitli profiller 82 numunelerin yan desteklerini sağlar. Bu düzenin kurulmasından sonra oluşun

boşluklar 83 sayesinde numuneler, uygulayıcının uyduracağı ara numune montaj çerçevesi ile kolay ve birçok şekilde ana montaj çerçevesine 8 sabitlenmekte ve deney yapılabilmektedir. Bu sistem, farklı boyut ve şekillerdeki numunelerin kolayca monte edilmesine olanak tanıyarak deney ve numune çeşidi esnekliğini artırır.



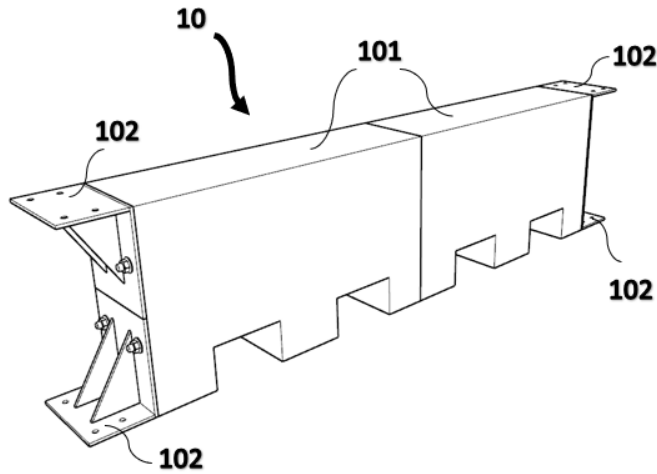
Şekil 2.8 : Numune ana montaj çerçevesi.

9. Örneğin üç noktalı bir deney yapılmak istenmesi durumunda Şekil 2.9'daki gibi üç noktalı yükleme sistemi numune ana montaj çerçevesine bağlanabilmektedir. Bu sistem; iki adet kayabilen kirişten 93, iki adet silindirik mesnetten 91 ve bu mesnetler ile kayabilen kiriş arasındaki 93 yük sensörlerinden 94 ve darbe arabasına 2 bağlı bir adet silindirik yükleme elemanından 95 meydana gelmektedir. Yük sensörleri (94), uygulanan kuvveti ölçerek darbe etkisinin numune üzerindeki sonuçlarını analiz etmeyi sağlar. Silindirik sıkıştırma elemanları 92, numuneyi sabit bir şekilde yerinde tutar. Kayabilen kirişler 93 sayesinde istenilen mesnet açıklığında deneyler gerçekleştirilebilmektedir. Numuneleri silindirik mesnet 91 üzerinde sabitlemek için silindirik sıkıştırma elemanları 92 kullanılmaktadır. Silindirik yükleme elemanı darbe arabasına 2 bağlı yük sensörüne bağlanmaktadır. Bu sistem, farklı boyut ve şekillerdeki numunelerin denenmesini mümkün kılar.



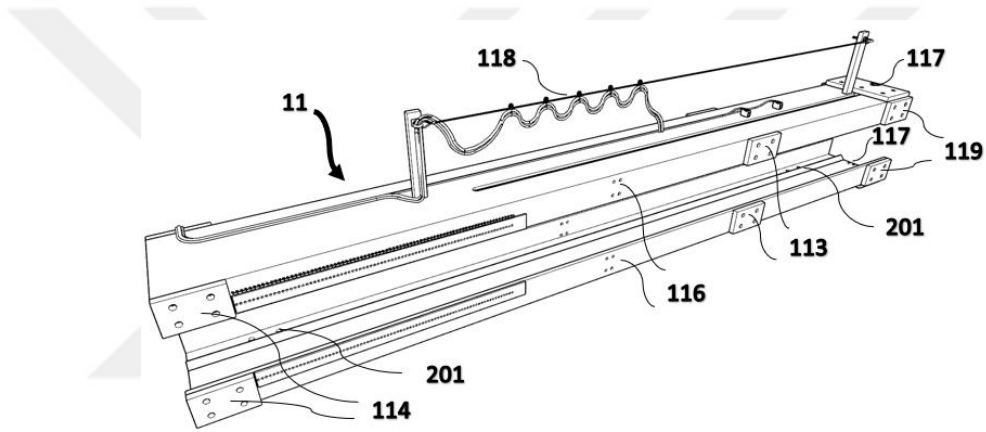
Şekil 2.9 : Üç noktalı yükleme sistemi.

10. Darbe arabasının yaylı fırlatma, hızlandırma sistemi ile harekete başlatılması esnasında darbe arabası dışındaki bileşenlerin hareketlerini önlemek için Şekil 2.10'da gösterilen geri tepme önleyici sistem kullanılmaktadır. Bu sistem; iki adet transpalet ile taşınabilir kütle bloklarından 101, kütle bloklarını birbirine bağlayan dört adet saplamadan, doğrusal hareket çerçevesinin 11 ağırlık/kütle blokları 101 ve zemine bağlanmasını sağlayan köşebentlerden 102 oluşmaktadır. Bu sistem, darbe arabasının dışındaki hareketleri yeterince büyük kütlesi ve yeterince büyük ağırlığıyla zeminde oluşturduğu sürtünme kuvveti sayesinde önleyerek gerilme uzunlukları önerilen üst sınırı aşmayan yaylardaki enerjinin tamamının darbeci kütleyle aktarılmasını, deneylerin tekrarlanabilirliğini, güvenliğini artırır ve ekipman hasarını minimize eder.



Şekil 2.10 : Geri tepme önleyici sistem.

11. Şekil 2.11’de gösterilen doğrusal hareket çerçevesi; iki adet U kesitli profilden 200, tekerlek raylarından 112, yaylı fırlatma sistemi bağlantı elemanlarından 113, kanca ve yay gerdirme sistemi bağlantı elemanlarından 114, yay germe mesafesi ayarlama cetvelinden 115, darbe emici sistem bağlantı noktasından 116, raydan çıkma bariyeri bağlantı noktasından, numune ana montaj çerçevesi bağlantı elemanlarından, geri tepme önleyici sistem bağlantı noktalarından 201, yük sensörü ve ivme sensörü için kablo taşıma düzeneğinden 118, hız ölçümü için iki adet mesafe sensöründen 111 oluşmaktadır. Bu çerçeve, tüm sistem bileşenlerini bütünleşik bir yapıda tutarak hareket sırasında stabilite ve doğruluk sağlar. Kablo taşıma düzeneği 118, sensörlerden gelen verilerin düzgün bir şekilde aktarılmasını sağlar. Mesafe sensörleri 111, darbe arabasının hızını ölçerek deneyin dinamik parametrelerini belirler.



Şekil 2.11 : Doğrusal hareket çerçevesi.

2.2 Deney Cihazı Üretimi

2.2.1 Çekme yayları

Çekme yaylarındaki yay tasarımında dikkate alınan geometrik özellikler Şekil 2.12’deki gibidir. Şekil 2.12’de görüldüğü üzere, yay geometrisi tasarım parametreleri arasında çap (D), tel çapı (d) ve sarım sayısı (n) önemli rol oynamaktadır. Deney cihazında kullanılmak üzere tasarlanan çekme yayı boyutları ve mekanik özellikleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’de sırasıyla verilmiştir. Çizelge 2.1’de verilen yay boyutları, Çizelge 2.2’deki mekanik özellikler göz önüne alınarak seçilmiştir. Bu boyutlara göre yay sabiti eşitlik 2.1 ile hesaplanabilmektedir. Eşitlik 2.1, yay sabitini kuramsal olarak hesaplamak ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmak için kullanıldı. Tasarlanıp imal edilen yaylar Şekil 2.13’deki gibidir. Yaylar, EN10270-1 SH standardına uygun yüksek mukavemetli çelikten üretilmiştir ve 550 N/mm² kayma

dayanımına sahiptir. Bu yaylara İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan MTS marka çekme cihazı ile Şekil 2.14'teki gibi çekme deneyi uygulandı. Bu deneyler sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrisi ve yayın kuramsal olarak hesaplanan yay sabitine göre çizdirilen kuvvet-uzama eğrisi Şekil 2.15'de aynı grafikte görülmektedir. Deneysel ve kuramsal kuvvet-uzama eğrilerinin birbirine yakınlığı, tasarım parametrelerinin doğruluğunu göstermektedir.

Deneysel egride 0 uzamadaki ~100 N civarındaki kuvvet ve 0 yüksüz durumda yay adımlarının tel çapına eşit olması bir içsel öngermeye veya artık çekme gerilmesine işaret etmektedir. Artık gerilme, çekme yayları üretildikten ve dış yük uygulanmadığında bile, yay malzemesi içinde kapanmış halde kalan içsel gerilmelerdir. Yani yay serbest (yüklenmemiş) durumdayken bile bu gerilmeler iç yapısında mevcuttur. Artık gerilme oluşumunda;

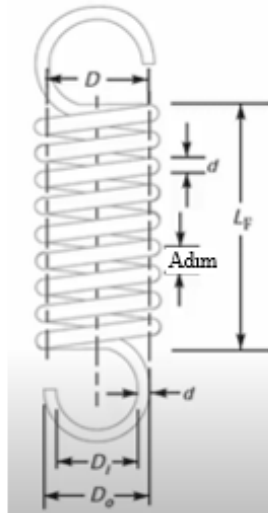
Sarma İşlemi: Yay sarılırken, telin dış liflerinde plastik şekil değişimi olur. Bu, telin kesitinde basma ve çekme gerilmeleri oluşmasına neden olur.

Isıl İşlem: Sarma işleminden sonra yaylara genellikle artık gerilmeleri azaltmak için bir ısıl işlem (gerilim giderme) uygulanır. Ancak bu işlemde sonra bile bir miktar artık gerilme kalır.

Kanca veya Halkalar: Çekme yaylarının uçları genellikle kanca ya da halka şeklinde şekillendirilir. Bu işlem sırasında da plastik deformasyon oluşur ve uç bölgelerde ek artık gerilmeler meydana gelir (Kobelev V., 2011).

Bu deneyler sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrisi ve yayın kuramsal olarak hesaplanan yay sabitine göre çizdirilen kuvvet-uzama eğrisi Şekil 2.15'de aynı grafikte görülmektedir. Deneysel ve kuramsal kuvvet-uzama eğrilerinin birbirine yakınlığı, tasarım parametrelerinin doğruluğunu göstermektedir (Spring Design Data Sheet, 2002; Budynas R. ve Nisbett K., 2012)

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3n} \quad (2.1)$$



Şekil 2.12 : Yayın geometrik büyüklükleri.

Çizelge 2.1 : Seçilen yay boyutları.

Yay çapı	Yayda kullanılan tel çapı	Yay serbest boyu	Yayın sarım sayısı
D (mm)	d (mm)	L_F (mm)	n
60	8	528	66

Çizelge 2.2 : Yay mekanik özellikleri (EN10270-1 SH).

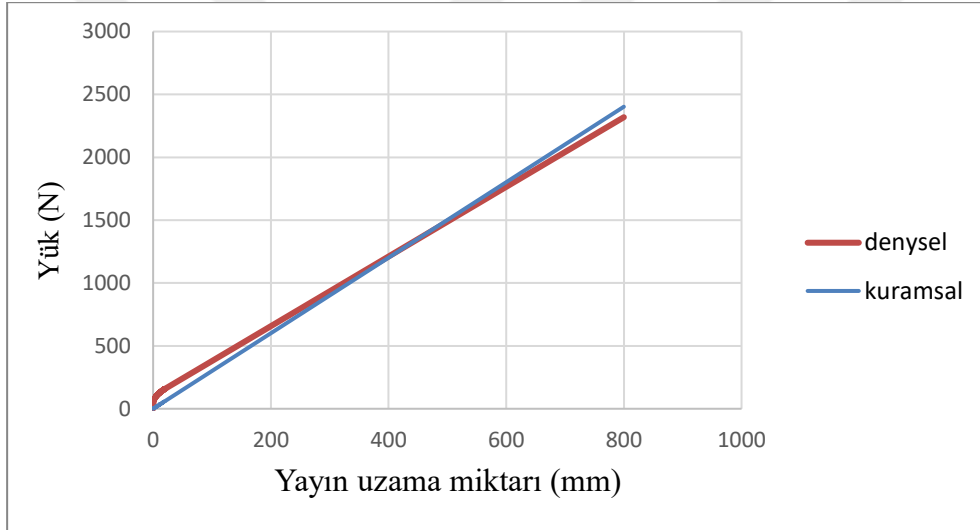
Yay teli kayma modülü	Yay teli kayma dayanımı	Yay sabiti
G	τ	k
(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/m)
84000	550	3016,8



Şekil 2.13 : Tasarlanıp imal edilen yaylar.



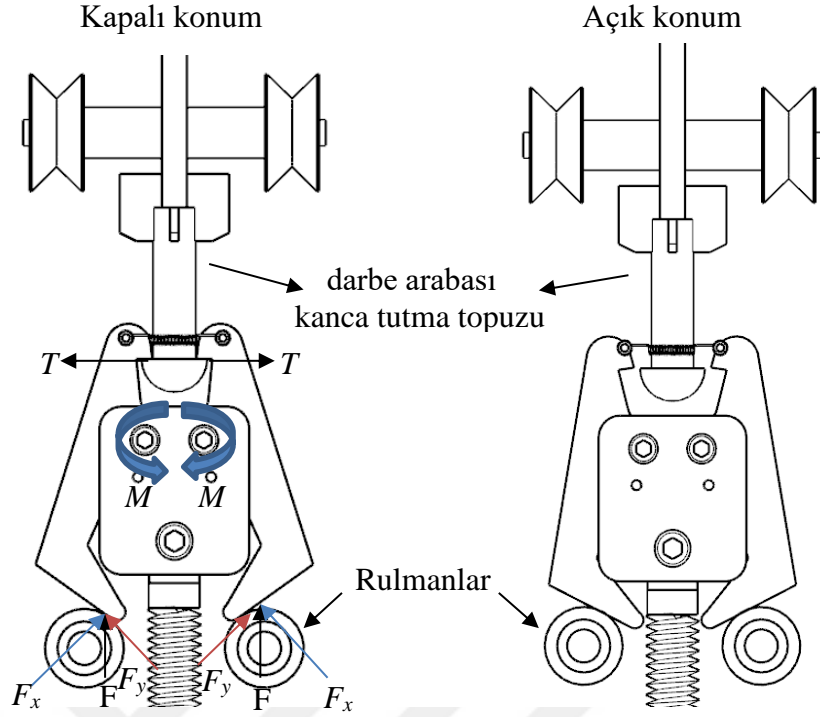
Şekil 2.14 : Yaylara uygulanan çekme deneyi.



Şekil 2.15 : Yayların kuramsal ve deneysel kuvvet-uzama eğrileri.

2.2.2 Serbest bırakma kancası tasarımı

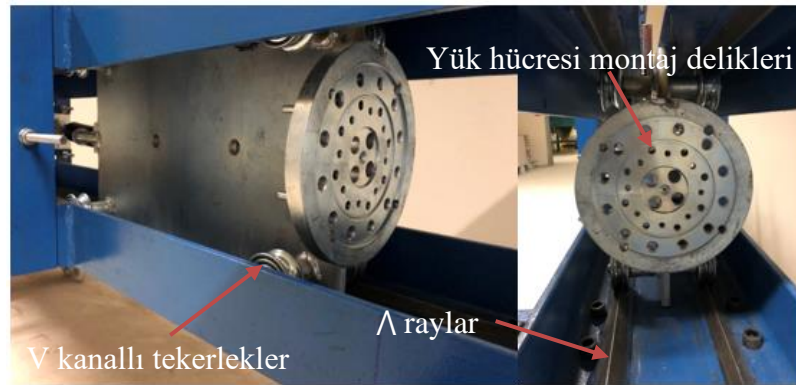
Serbest bırakma kancası tasarımı Şekil 2.16'daki gibidir. Şekil 2.16, serbest bırakma kancasının kapalı ve açık konumlarını, kuvvet dengelerini ve moment ilişkilerini göstermektedir. Yükün dengeli bir şekilde aktarılabilmesi için iki adet kancadan oluşmaktadır. Kancaların her biri kendi etrafında dönebilen rulmanlara temas ederek kanca uçları açılıp topuzun omuzlarından ayrılarak yay arabasını ve onun ittiği darbe arabasını harekete serbest bırakmaktadır.



Şekil 2.16 : Serbest bırakma kancası tasarımı.

2.2.3 Darbe arabası

Darbe etkisi Şekil 2.17'deki gibi 40,5 kg kütleli bir darbe arabası aracılığı ile sağlanmaktadır. Şekil 2.17, darbe arabasının genel görünümünü ve yük hücrelerinin monte edilebileceği dairesel levhayı göstermektedir. Bu araba doğrusal kılavuz sistemi içerisinde v kanallı tekerlekleri sayesinde yatayda yalnızca tek doğrultuda hareket edebilmektedir. Darbe arabasının önünde kaynaklı birleşimli bir dairesel levha ve üzerinde civataların takılabileceği dış açılmış delikler bulunmaktadır. Bu levhaya, darbenin etkisini darbe kuvveti-zaman eğrisi türünden algılayabilecek 50, 100 ve 500 kN kapasiteli yük hücreleri monte edilebilmektedir.



Şekil 2.17 : Darbe arabası.

2.2.4 Yaylı fırlatma sistemi

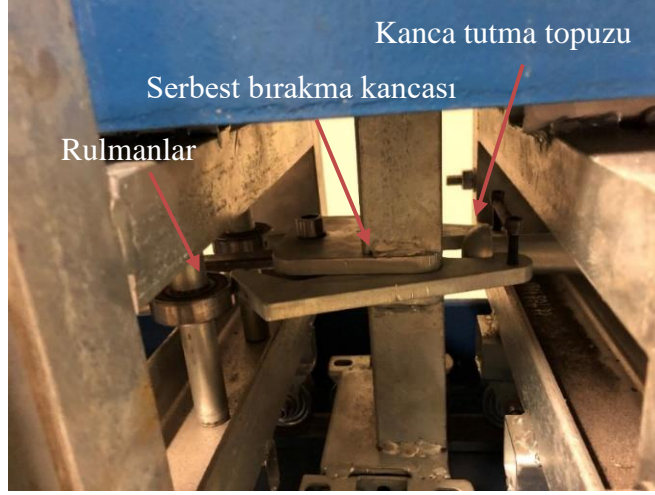
Şekil 2.18, yaylı fırlatma sisteminin deney düzeneği üzerindeki bağlantılarını ve bileşenlerini göstermektedir. Yay arabası çelik profilden yapılmış deney düzeneği taşıyıcı çerçevesine iki adet yay aracılığı ile bağlanmaktadır. Darbe arabasında olduğu gibi doğrusal kılavuz sistem üzerinde yalnızca tek doğrultuda hareket edebilmektedir. Yay arabası darbe arabasının yaylar ile itilmesini sağlamaktadır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : Yaylı fırlatma sistemi üretimi.

2.2.5 Serbest bırakma kancası

Serbest bırakma kancası darbe arabasına tutunarak çelik çerçeve-darbe arabası-yay arabası ve elektrik motorunun birbirlerine bağlanarak çalışmasını ve açılabilme özelliğiyle bu bağlantının ayrılmasını sağlamaktadır. Şekil 2.19, serbest bırakma kancasının çelik taşıyıcı çerçeve ve darbe arabasına bağlantı konumlandırmasını göstermektedir. Bu tasarım, hızlı serbest bırakma mekanizması sayesinde tekrarlanabilirliğini (hem birim zamanda gerçekleştirilebilecek deney sayısı ve hem de deney koşullarının istatistiksel tekrarı) arttırmakta ve deneylerde güvenliği sağlamaktadır.



Şekil 2.19 : Serbest bırakma kancası.

2.2.6 Cihazın kullanımı

Şekil 2.2’de gösterilen örnek el konumu ile darbe arabası arabası kurma kolu yardımıyla güvenli bir şekilde kancaya doğru itilir. Darbe arabasının arkasındaki topuzun kancalar tarafından tamamen kavrandığından emin olunmalıdır. Aksi takdirde, yay germe işlemi sırasında kancanın açılması cihazın güvenliğini tehlikeye atabilir.

Sistem yüklenmeden, eş deyişle, yaylar gerilmeden önce numunenin montajı tamamlanmalıdır. Montaj sırasında numunenin Şekil 2.9’da gösterilen üç noktalı eğilme deney düzeneğine sağlam bir şekilde bağlandığı denetlenmelidir. Gevşek bağlantılar deney sonuçlarının hatalı olmasına ve düzeneğin hasar görmesine neden olabilir.

Yük ölçümü için Şekil 2.17’de gösterilen darbe arabasının önüne Şekil 2.18’deki yük sensörlerinden deney numunesine ve elde edilmek istenen davranış özelliklerine uygun biri monte edilmektedir. Bu yük sensörünün önüne, planlanan deney türüne uygun olarak Şekil 2.9’da gösterilen üç noktalı eğilme düzeneği gibi bir darbe başlığı veya farklı başlıklar bağlanabilir.

Mevcut yaylar, maksimum 800 mm uzama kapasitesine sahiptir. Ancak güvenli bir kullanım için yaylar, 450 mm’ye kadar gerilir. 450 mm’nin üzerindeki bir gerilim, kancaların zor açılmasına neden olabilir.

Kancaların açılması gerektiğinde, kanca açma arabası, kancaların basma ucuna itilerek veya çarptırılarak açılma sağlanabilir. 450 mm’nin üzerinde yay gerilimi isteniyorsa,

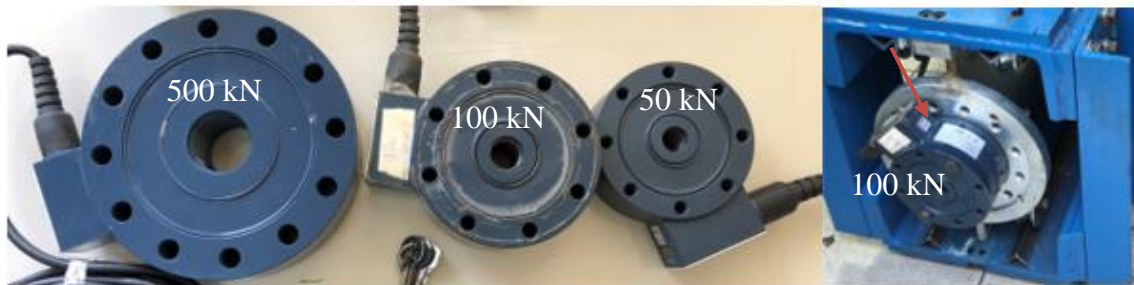
kanca açma arabası üzerindeki kolçaklar cihaz ana çerçevesine bu yay uzamasını temin edecek uzaklıkta sabitlenmeli ve elektrik motorlu hareket vidası (vidalı çektirme) yardımıyla kancaların kanca açma mekanizmasına ulaşır bu germe düzeyinde otomatik olarak açılması sağlanmalıdır.

2.2.7 Kullanılan ölçüm aletleri

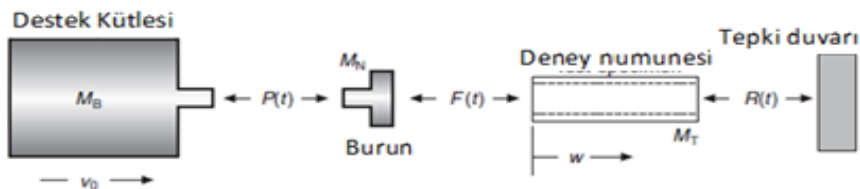
Bu cihaza ivme, yük, hız, yer değiştirme ve görüntü verilerini derlemek için birçok sensor kolayca uyarlanabilmektedir. Bu çalışmada aşağıdaki ölçüm seçenekleri kullanıldı;

Kuvvet Ölçümü

Darbe yükü etkisi, darbe arabası önüne kaynaklı dairesel plakaya bağlı darbe yükü-zaman eğrisi türünden algılayabilecek Şekil 2.20'deki 50, 100 veya 500 kN kapasitelerine sahip CAS LS model yük hücreleri ile ölçülüp kaydedilmektedir. Yük hücreleri tarafından darbe arabasından kaydedilen toplam kuvvet-zaman geçmişi $P(t)$ iken, numuneye doğrudan etki eden darbe kuvveti $F(t)$ 'dir. Şekil 2.21'deki sensorün tek yönlü bir katı cisim hareketi olduğunu varsayarak, destek kütlesi M_B ve ön kütle M_N 'nin hareket denklemleri eşitlik 2.2 ve eşitlik 2.3 olur (Hanssen, A G vd., 2003).



Şekil 2.20 : Darbe arabasıyla uyumlu yük hücreleri.



Şekil 2.21 : Darbe arabasının numuneye uyguladığı yük için oluşturulmuş katı cisim diyagramı.

$$\ddot{w} = -P(t)/M_B \quad (2.2)$$

$$F(t) = P(t) - M_N \ddot{w} \quad (2.3)$$

Yer değiştirme ölçümü

Test edilen numunelerin belirli bölgelerindeki darbe yüküne bağlı yer değiştirmeleri ölçmek için Şekil 2.22'deki OPKON SLPIS 50 mm kapasiteli yer değiştirme ölçerler kullanıldı.



Şekil 2.22 : Yer değiştirme ölçer.

Hız ölçümü

Hız ölçümü için Şekil 2.23'teki gibi 2 adet E18-50NK model sensor ve bir adet hız okuma ekranı kullanıldı. Bu iki sensor deney numunesi yakın olacak şekilde aralarında 180 mm mesafe bırakılarak yerleştirildi. Darbe arabası numuneye çarpmadan hemen önce bu sensörlerden önce biri sonra diğeri tarafından algılanmaktadır. Bu iki sensörün arasındaki mesafe darbe arabasını algıladıkları zaman farkına bölünerek darbe arabasının ulaştığı hızlar tespit edilmektedir. Ölçülen hızlar hız okuma ekranından okunabilmektedir.



Şekil 2.23 : Hız ölçüm düzeneği.

Veri Toplama Sistemi

Veri toplamak için Şekil 2.24'deki gibi 8 dijital kanala, 204,8 kS/s örnekleme hızına, 24-bit çözünürlüğe sahip DEWE-43A model veri toplama cihazı ve DewesoftX yazılımını kullanıldı.



Şekil 2.24 : Veri toplama sistemi.

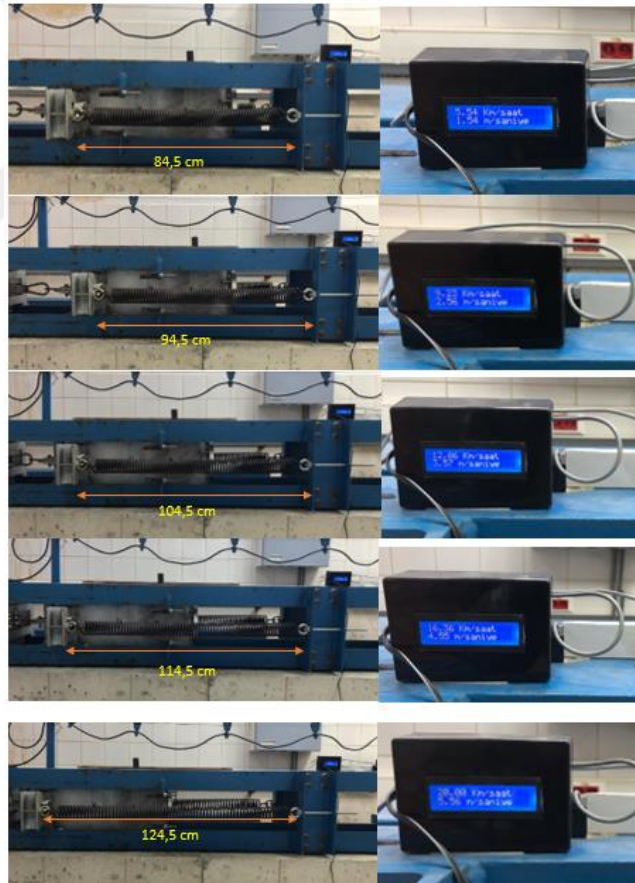
Bu tez kapsamında geliştirilen cihazın maksimum kapasiteleri ve bu tez kapsamında sınırları aşağıdaki Çizelge 2.3'te özetlendi. Cihaz yaklaşık 2000 kg kütlelidir. Cihaz güçlü bir zemine sabitlenebilmektedir. Kendi 2000 kg kütlesi ile ve bu tez çalışması kapsamında kullanılan sınırlarda cihaz taşıyıcı çerçevesinde zemine göre herhangi bir hareket oluşmadı. Bu sebeple bu tez çalışması kapsamında kullanıldığı kapasitelerde cihazı zemine sabitleme ihtiyacı duyulmadı. Daha yüksek kapasitelerde cihazın hareketi kontrol edilip gerekirse yeterince güçlü bir zemine sabitlenmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.3 : Darbe deney cihazı kapasiteleri ve sınırları.

Açıklama	Kapasite
Darbe arabası kütlesi, M_B , kg	40,50 -108,78
Maksimum yay germe mesafesi, x_{max} , mm	800
Maksimum yay potansiyel enerjisi, E_{SP} , J	3016,8
Uygulanan maksimum yay germe mesafesi aralığı, mm	0-500
Uygulanan maksimum yay potansiyel enerji, E_{SPMAX} , J	0-961
Uygulanan maksimum hız (0,50 m yay germe), km/h	20
Uygulanabilecek maksimum hız (0,70 m yay germe), km/h	25
Maksimum darbe kuvveti, N	500000
Uygulanan darbe kuvveti aralığı, N	170 - 60000
Darbe arabasının serbest hareket uzunluğu, mm	1000
Yaklaşık deney cihazı kütlesi, kg	2000
Veri toplama frekansı, kS/s	204,8
Yer değiştirme ölçüm aralığı, mm	0-50
Güçlü zemine sabitleme	8 adet sabitleme deliği

Aynı zamanda Şekil 3.5'te her bir kütlenin aynı yay germe miktarlarında ulaştığı hızlar ile hesaplanan enerji değerleri görülmektedir. Bu grafikler deney cihazının istenilen hız ve yay uzama parametrelerine göre belirtilen sınırlar içerisinde istenildiği gibi çalıştırılabildiğini göstermektedir.

Şekil 3.5'ten elde edilen verilere göre darbe arabasının hızının ve darbe arabasının hızının ve kütlesinin birlikte artması sonucu yaylarda depolanan enerjinin artmasıyla darbe arabasına aktarılma verimliliği de artmaktadır. Bu durum, serbest bırakma kancasının darbe arabasının topuzuna tutunma süreci ve serbest bırakılması sırasında yay arabasının darbe arabaya uyguladığı kuvvetin belirsizliğinden kaynaklanıyor olabilir. Ancak deney verileri göstermektedir ki, cihazın stabilitesi darbe arabasının kütlesi arttıkça yükselmektedir ve 108,78 kg ve üzeri kütlelerde daha öngörülebilir bir hareket sağlanmakta ve tekerleklerdeki ve tekerlek ray arayüzündeki sürtünmelerin etkisinin arttığı anlaşılmaktadır.



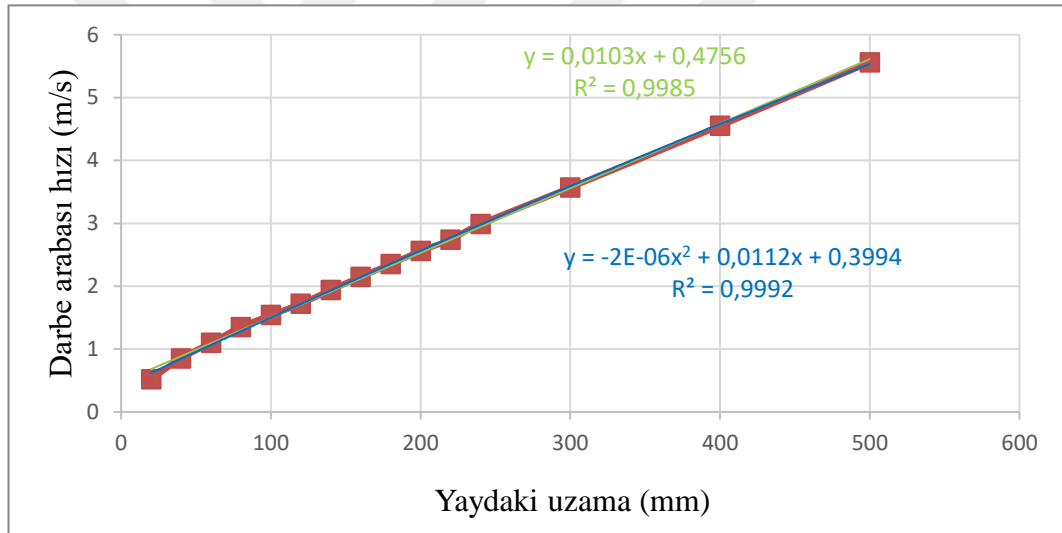
Şekil 3.2 : Deney cihazında 0,10 m'lik aralıklarla yayın gerilmesi durumları ve ölçülen hızlar.

Çizelge 3.1 : Deney cihazında yayın 100 mm'ye kadar gerilmesi sonucu darbe arabasının ulaştığı hızlar (40,5 kg kütle için).

YAYDA UZAMA (mm)		20	40	60	80	100
Ölçülen hız (km/h)	1. Ölçüm	1,95	3,00	4,02	4,98	5,63
	2. Ölçüm	1,96	3,09	3,98	4,83	5,71
	3. Ölçüm	1,95	3,05	4,00	4,83	5,67
Ortalama hız, V km/h		1,95	3,05	4,00	4,88	5,67
Standart Sapma, km/h		0,006	0,045	0,020	0,087	0,040
E_S : Yaylarda enerji (J)		11,85	25,93	42,2	60,73	81,45
E_T : Darbe arabasında enerji (Joule)		5,87	14,36	24,70	36,76	49,62
E_S/E_T		2,02	1,81	1,71	1,65	1,64

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx^2 \quad (3.1)$$

$$\sqrt{mv} = \sqrt{kx} \quad (3.2)$$

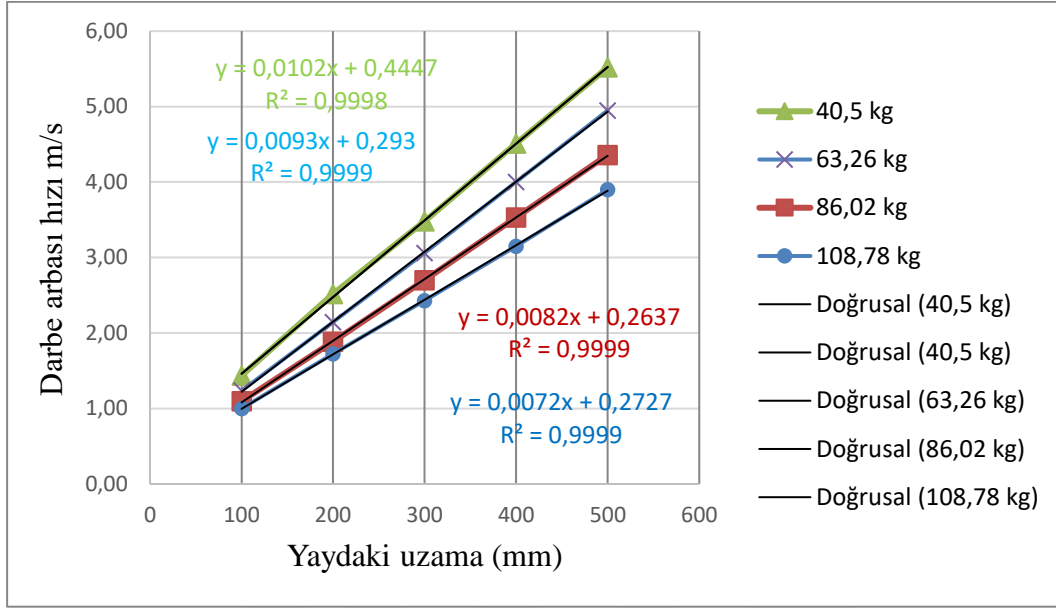


Şekil 3.3 : 500 mm'ye kadar yayların uzatılması ile hız arasındaki ilişki.

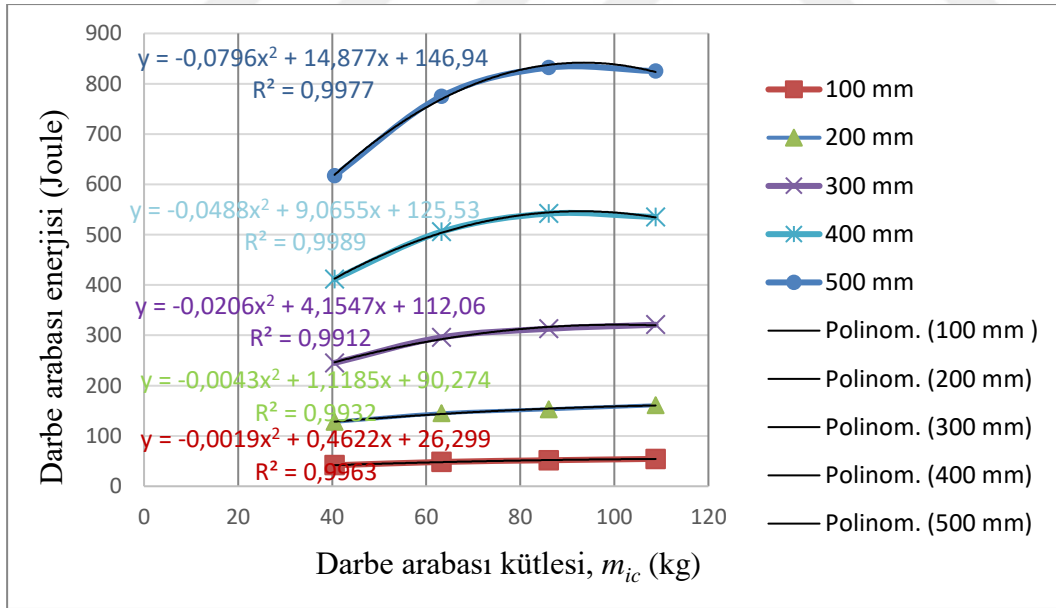
Deneyle sonuçunda, yay uzaması ile darbe arabasının ulaştığı hız arasında doğrusal bir ilişki olduğu doğrulandı (Şekil 3.3). Farklı kütleli darbe arabalarının ulaştığı hızlar ve enerji değerleri incelendiğinde, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te görüldüğü üzere, daha yüksek kütleli darbe arabalarının ulaştığı hızlarla daha kararlı çalıştığı anlaşıldı. Şekil 3.5'ten elde edilen verilere göre, darbe arabasının kütlesi arttıkça yaylardaki enerjinin darbe arabasına aktarılma verimliliği de artmaktadır.

Bunun temel sebebi, düşük ağırlıklarda (40,5 kg gibi) serbest bırakma kancasının hareket belirsizliği nedeniyle kinetik enerjinin bir kısmının kaybolmasıdır. Ancak yüksek kütlelerde (örneğin, 108,78 kg ve üzeri), sistemin daha dengeli çalıştığı ve

enerji aktarımının daha verimli hale geldiği belirlenmiştir. Bu durum, yaylı fırlatma sisteminin ve öngerme düzeyinin özellikle yüksek kütleli darbe arabaları için uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.4 : Farklı kütlelerin farklı yay uzamalarına göre elde edilen darbe arabası hızları.



Şekil 3.5 : Aynı yay gerdirme uzunluklarına bağlı olarak farklı darbe arabası kütlelerine göre darbe arabasının ulaştığı enerji miktarı.

Deney sonuçlarına göre, yay sisteminin dinamik yük aktarımı açısından doğrusal öngörülebilirlik sunduğu ve cihazın farklı kütlelerle tekrarlanabilir deneyler yapma yeteneğine sahip olduğu görüldü. Ancak, düşük kütleli darbe arabalarının daha düşük belirsizlik ile çalışabilmesi için serbest bırakma kancasının tasarımında iyileştirmeler yapılabilir. Bu bağlamda, gelecekte, düşük ağırlıklarda da yüksek stabilite sağlamak adına kanca açılma mekanizması üzerine ayrıntılı analizler yapılması önerilmektedir

3.2 Örnek Numune Deneyleri

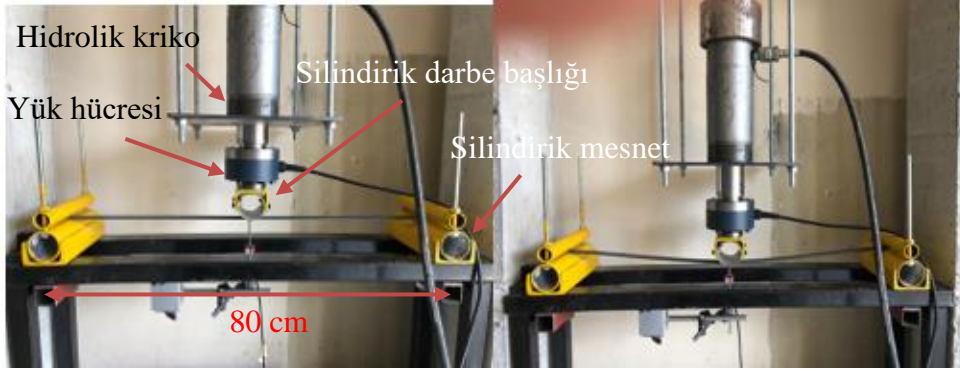
3.2.1 Çelik lama deneyleri

3.2.1.1 Üç noktalı eğilme deneyi

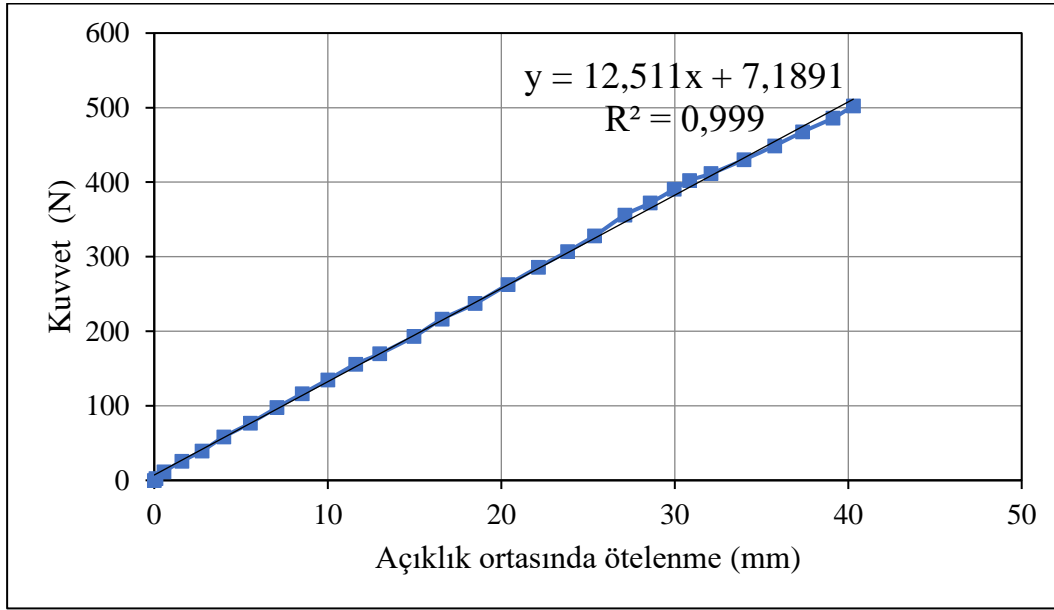
800 mm mesnet açıklığında 20 mm · 5 mm kesit alanına sahip çelik bir lama ile Şekil 3.6'da gösterilen gibi eşdeğer statik üç noktalı eğilme deneyi yapıldı. Çelik lamanın eğilme rijitliği Şekil 3.7'deki grafikte 12,51 N/mm olarak ölçüldü. 60 mm çapında silindirik darbe başlığı ve 60 mm çapında silindirik mesnet koşulları kullanılarak Şekil 3.8'de gösterilen darbe deneyleri gerçekleştirildi. Bu deneylerde sabit 46,5kg darbe kütlesi kullanıldı. Deneylerde yay germe miktarları, darbe arabasının ulaştığı hızlar ve enerji seviyeleri, çelik lamada ölçülen yük ve ötelenme (yer değiştirme) değerleri Çizelge 3.2'de özetlendi.

Elde edilen ötelenme- yük değerleri Şekil 3.9'da karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Aynı yer değiştirme değerlerinde darbe yüklerinin eşdeğer statik yüklere göre yüksek olduğu gözlemlendi. Darbe arabasının numuneye darbe uygularken ulaştığı hızlarla hesaplanan enerji değerlerinin, numunenin enerji-ötelenme grafiğiyle karşılaştırılması Şekil 3.10'da verildi. Bu grafikten, darbe arabası enerjisi ile deney numunesi enerjisinin uyumlu olduğu sonucuna ulaşıldı.

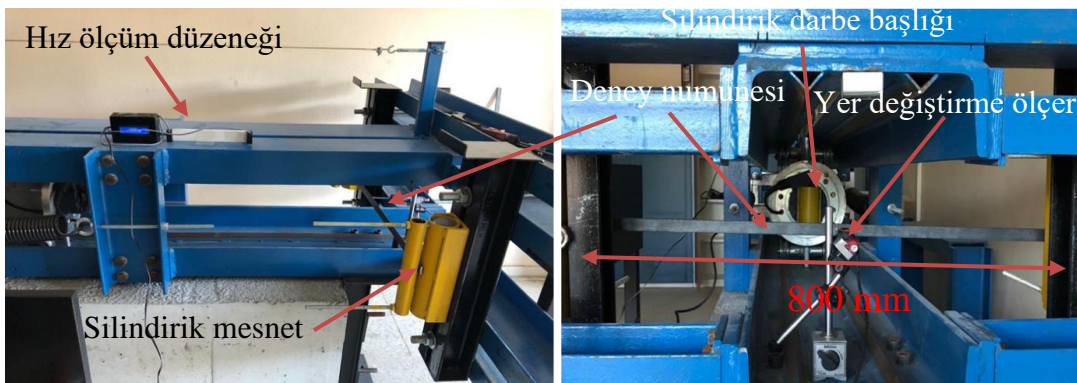
Darbe kuvveti-zaman ve ötelenme-zaman eğrileri sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 12'de gösterildi. Bu grafiklere göre hız arttıkça çelik lama ortasındaki ötelenme ve darbe kuvvetinin arttığı görülmektedir. Ayrıca tüm deneylerde darbe yükü ve ötelenmenin etkili olduğu süre yaklaşık 200 ms (milisaniye) olarak ölçüldü.



Şekil 3.6 : Üç noktalı eş değer statik deney düzeneği.



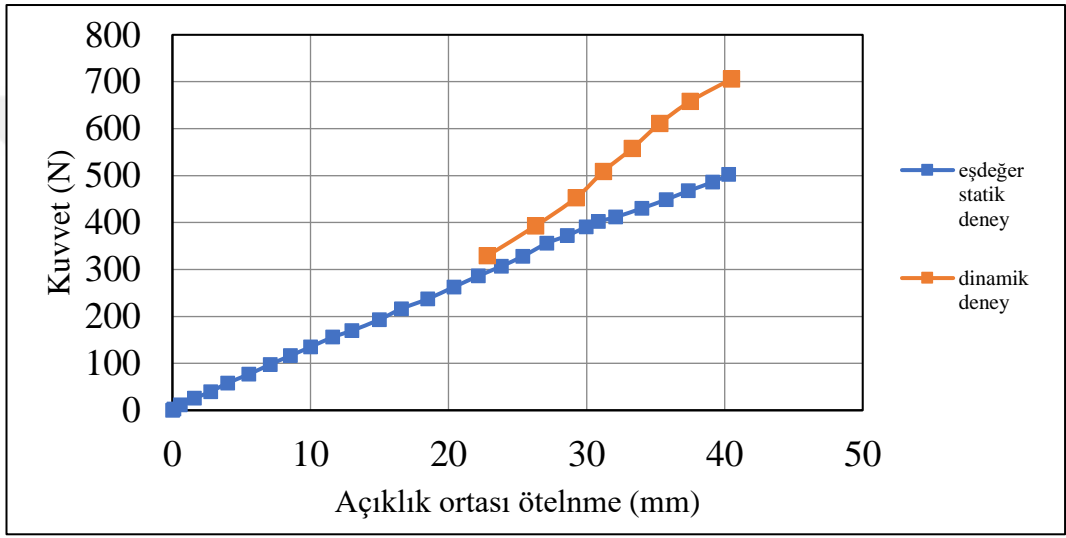
Şekil 3.7 : Çelik lama kuvvet açıklık ortasında ötelenme ilişkisi.



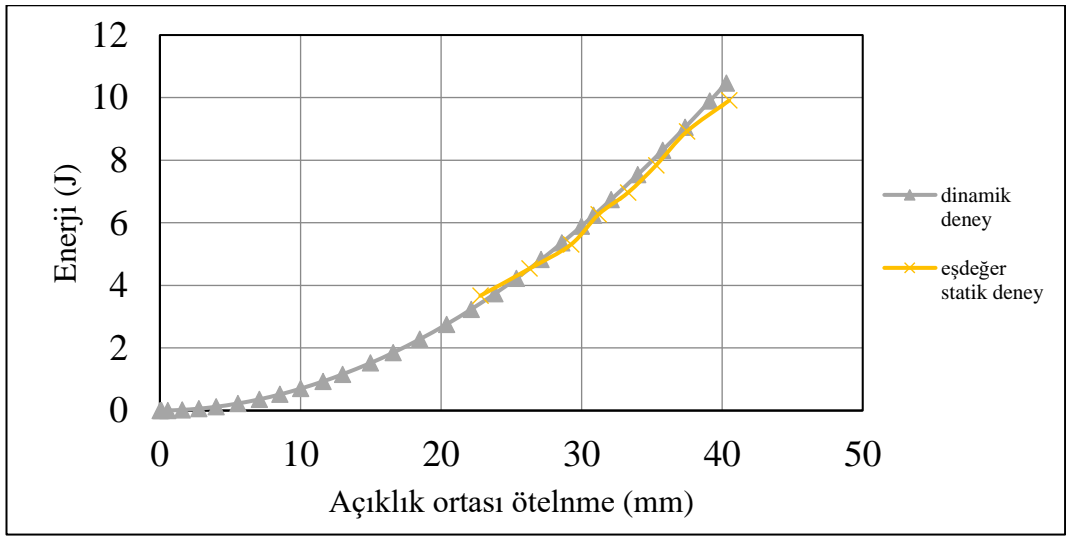
Şekil 3.8 : Çelik lama üzerinde üç noktalı dinamik deney.

Çizelge 3.2 : Çelik lamada ulaşılan yük ve eğilme değerleri.

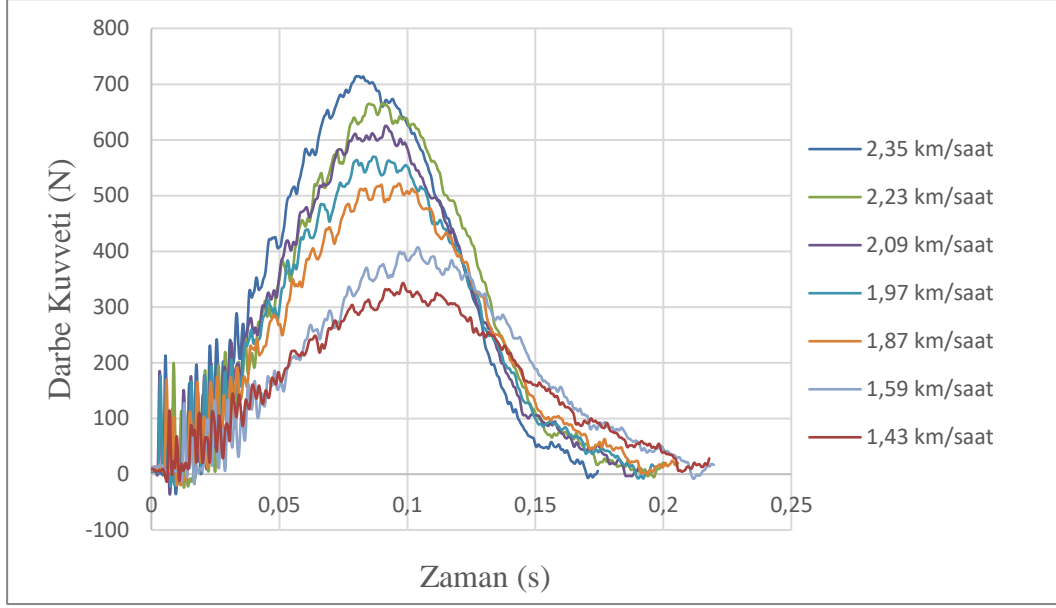
Yaydaki uzama (mm)	Darbe arabası hızı, $v = \sqrt{k/m} \cdot x$		Darbe arabası enerjisi, $E = m \cdot v^2/2$ (J)	Maksimum kuvvet (N)	Maksimum ötelenme (mm)	Kalıcı ötelenme (mm)
	(km/h)	(m/s)				
20,0	1,43	0.397	3,67	330	22,80	-
22,5	1,59	0.442	4,54	410	26,30	-
25,0	1,72	0.478	5,31	460	29,25	-
27,5	1,87	0.519	6,27	520	31,22	-
30,0	1,97	0.547	6,96	570	33,30	-
32,5	2,09	0.581	7,84	625	35,30	-
35,0	2,23	0.619	8,92	665	37,50	-
37,5	2,35	0.653	9,91	715	40,50	8,40



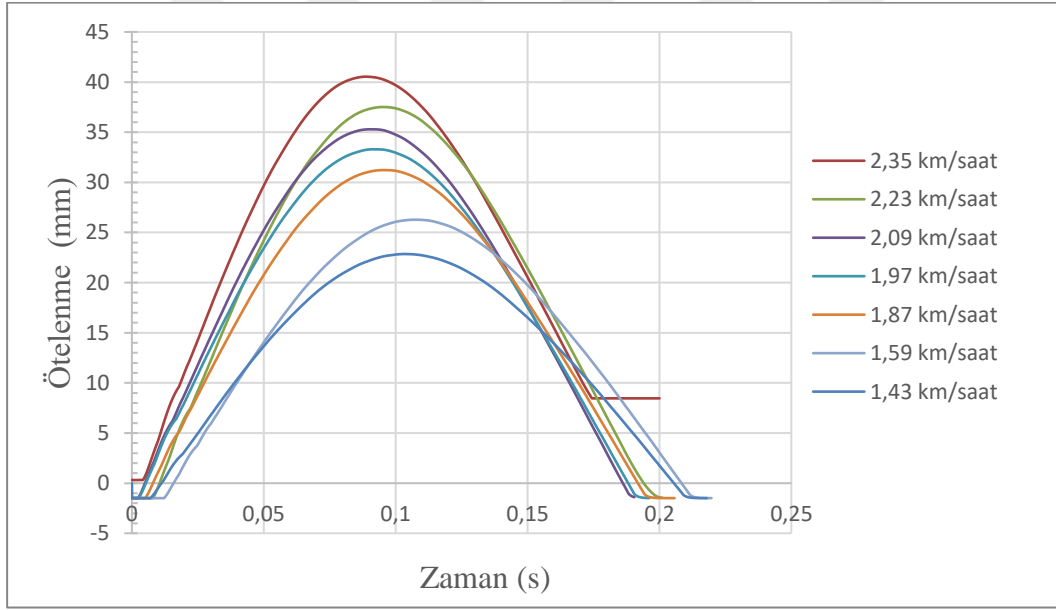
Şekil 3.9 : Eş değer statik ve dinamik yük açıklık ortası ötelenme değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi.



Şekil 3.10 : Eşdeğer statik ve dinamik enerji-ötelenme grafiklerinin karşılaştırmalı gösterimi.



Şekil 3.11 : Darbe kuvveti-zaman eğrisi (çelik lama üzerinde).

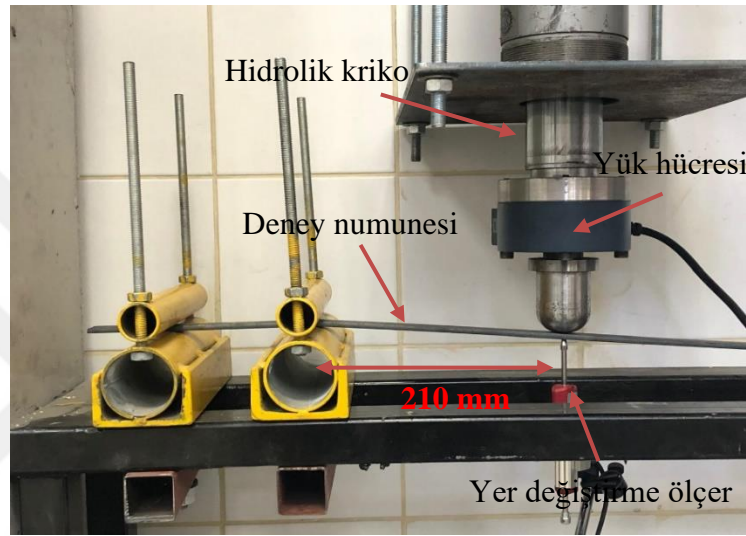


Şekil 3.12 : Çelik lama orta nokta ötelenme-zaman eğrisi.

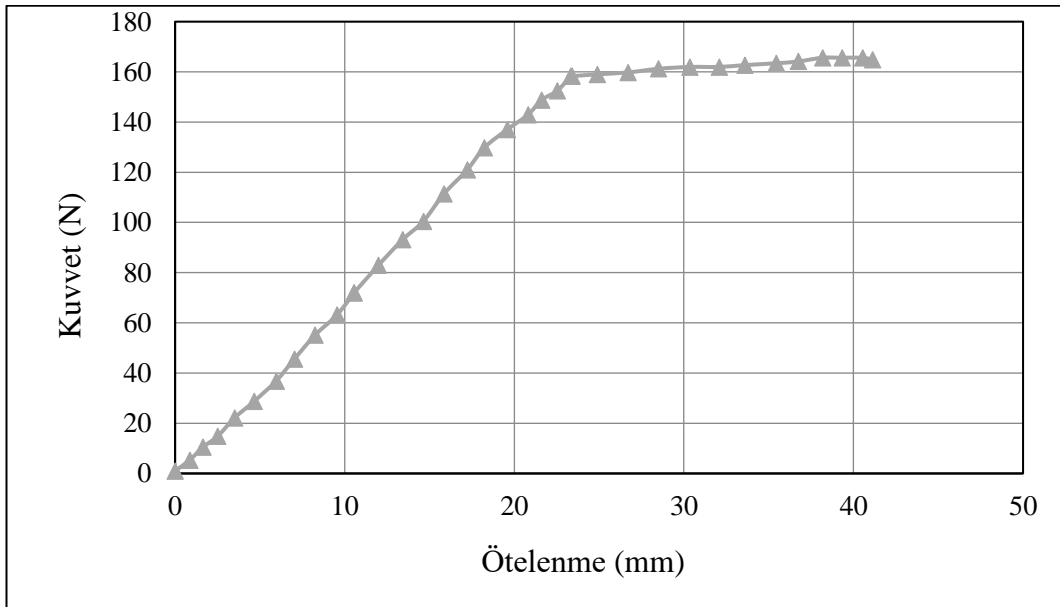
3.2.1.2 İki noktalı eğilme deneyi

210 mm mesnet açıklıklı, 20 mm · 5 mm kesit alanına sahip çelik bir lama kullanılarak Şekil 3.13'te gösterilen eşdeğer statik iki noktalı eğilme deneyi gerçekleştirildi. Deney sonucunda Şekil 3.14'deki yük-ötelenme ilişkisi elde edildi. Aynı mesnet koşulları altında Şekil 3.15'de gösterilen düzenek kullanılarak deneyler yapıldı. Deneylerde 45,5 kg kütleli darbe arabası kullanıldı. Bu deneylerde darbe arabasının ulaştığı hızlar sırasıyla 0,36 m/s, 0,66 m/s ve 0,85 m/s olarak ölçüldü. Elde edilen darbe yükleri ile eş değer statik deneylerdeki yüklerin karşılaştırılması Şekil 3.16'da görülmektedir.

Darbe sırasında numunenin ötelenme hızına göre darbe arabasının hızları Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19'daki grafiklerde sırasıyla 0,23, 0,50 0,64 m/s olarak belirlendi. Darbe arabasının hızlarının numuneye çarpma ve ötelenme oluşturma sürecinde enerjisini kaybetmesi nedeniyle daha düşük olduğu gözlemlendi. Ancak hız değerlerinin birbirine yakın olması deney verilerinin uygunluğunu göstermektedir. Bu grafiklerden hareketle lamada eşdeğer statik ve darbe yüklerine karşı dinamik artırım katsayıları sırasıyla 1,17 (0.36 m/s), 1,35 (0.66 m/s) ve 1,27 (0.85 m/s) olarak hesaplandı.



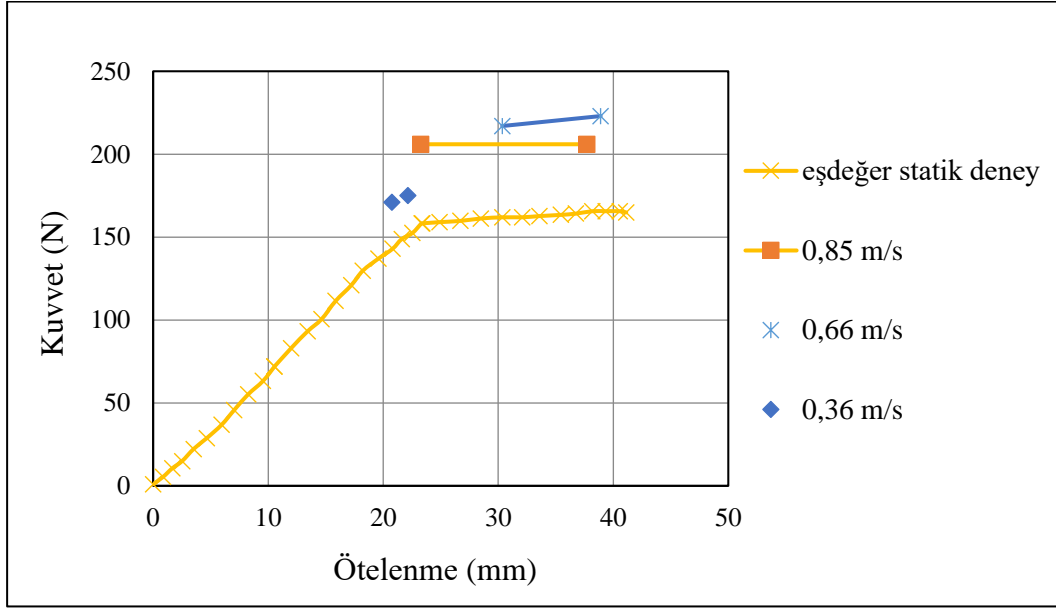
Şekil 3.13 : Çelik lama eşdeğer statik iki noktalı eğilme deneyi düzeneği.



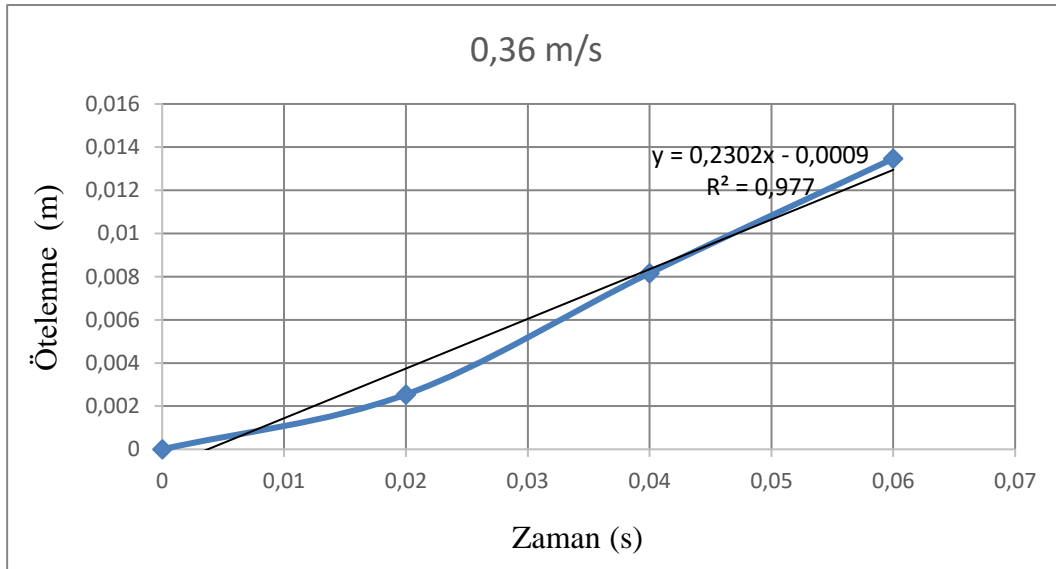
Şekil 3.14 : Çelik lama eş değer statik iki noktalı eğilme deneyi kuvvet-ötelenme grafiği.



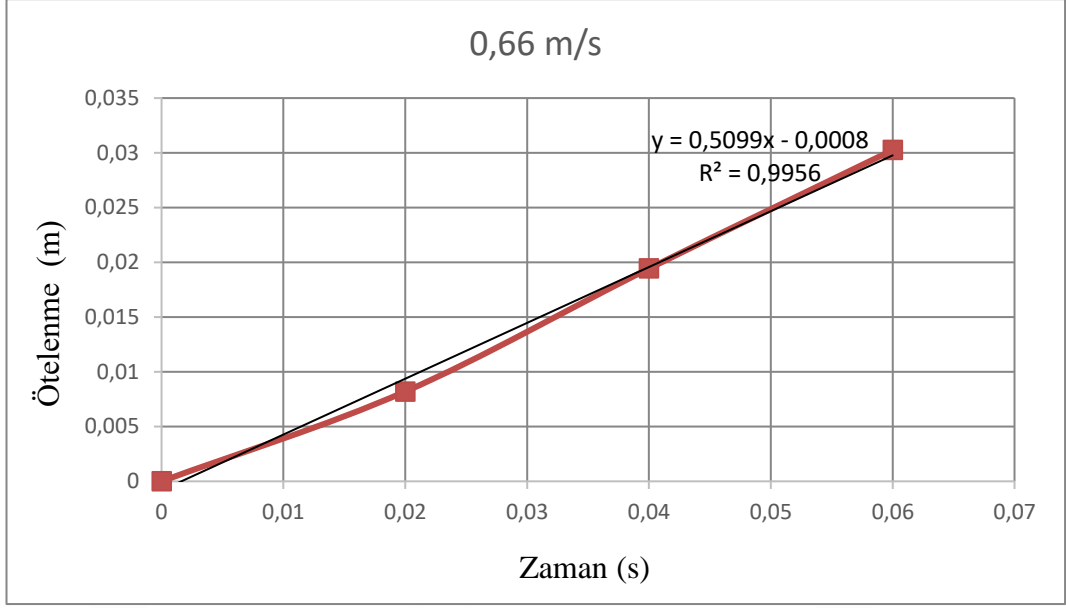
Şekil 3.15 : Çelik lama iki noktalı dinamik deney.



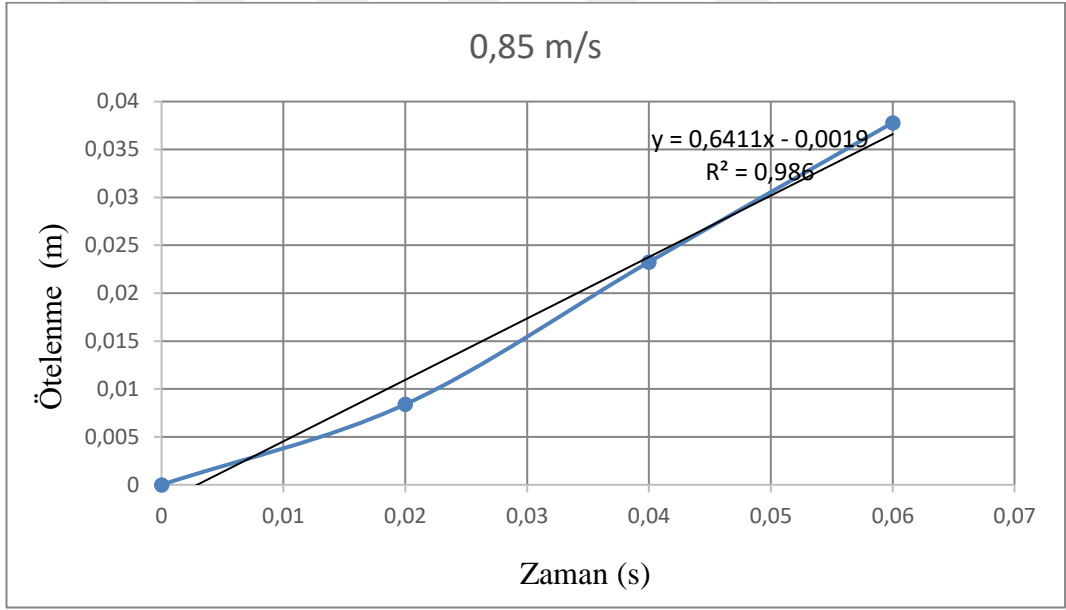
Şekil 3.16 : Çelik lama iki noktalı dinamik ve eşdeğer statik deney karşılaştırması.



Şekil 3.17 : Çelik lama 0,36 m/s için ötelenme-zaman grafiği.



Şekil 3.18 : Çelik lama 0,36 m/s için ötelenme-zaman grafiği.



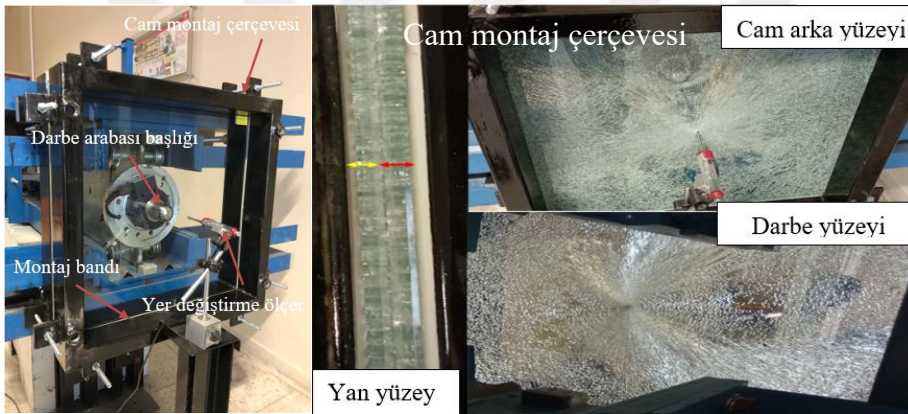
Şekil 3.19 : Çelik lama 0,85 m/s için ötelenme-zaman grafiği.

Yapılan dinamik ve statik deneyler sonucunda, darbe arabasının hızlarının ölçümlerinin tutarlı olduğu ve deney düzeninin yeterince tekrarlanabilir ve güvenilir sonuçlar verdiği görüldü. Dinamik artırma katsayıları, darbe yükleri statik yüklerle karşılaştırıldığında numunelerde daha yüksek kuvvetler oluşturduğunu ortaya koydu. Bu durum, dinamik yüklerin daha kısa sürede daha büyük etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca, ortalama 1,26 olarak ölçülen DAK ile literatürdeki Ying Chen vd. 2023 çalışması ile elde edilen ortalama 1,23 katsayısının yakınlığı yapılan ölçümlerin verimliliği açısından olumlu sonuçlanmaktadır. Bu sonuçlar, çelik lama tipi

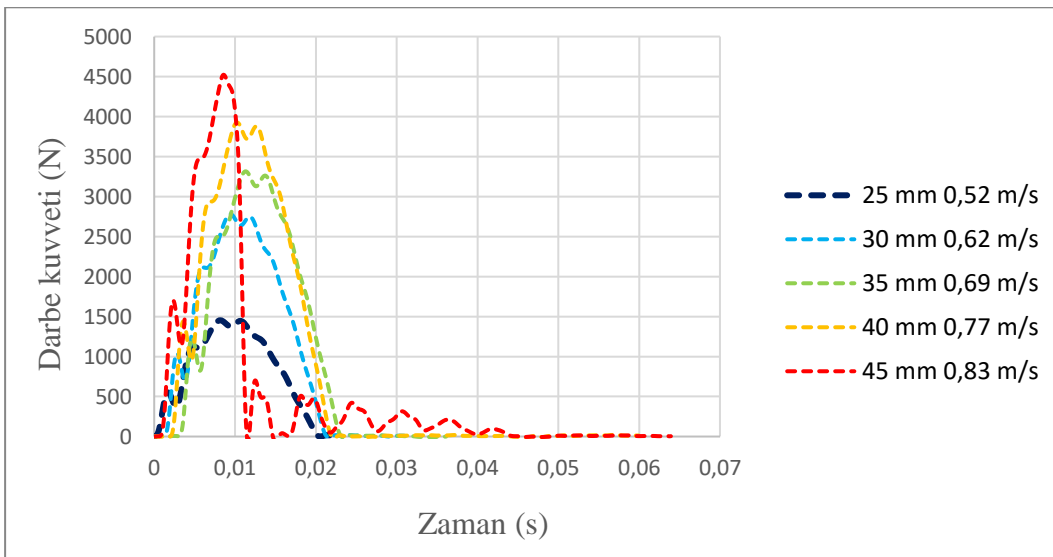
malzemelerin darbe yüklerine karşı davranışlarının belirlenmesinde önemli bir katkı sağlamaktadır.

3.2.2 Lamine cam deneyi

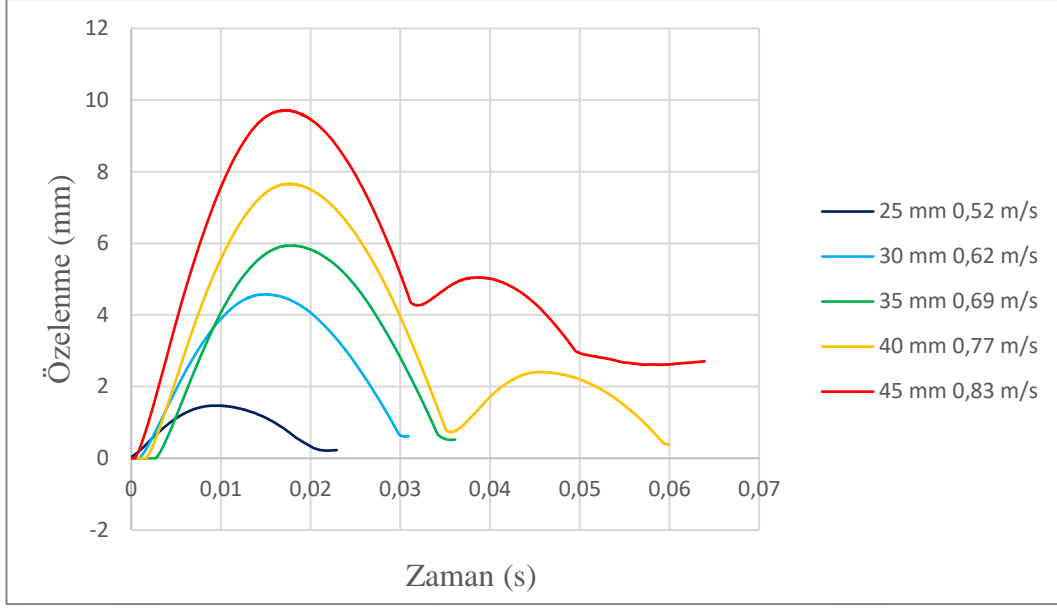
Şekil 3.20’de görüldüğü gibi 600 mm · 600 mm boyutlarında 8,28 mm kalınlığında lamine cam kullanıldı. Yaklaşık 45,5 kg kütleli darbe arabası 25, 30, 35, 40, 45 mm değişen yay germe uzunluklarıyla lamine cama fırlatıldı. Darbe başlığı olarak 50 mm çapında küresel çelik eleman tercih edildi. Bu deneylerde lamine camın darbe dayanımı yaklaşık 4500 N darbe yükü süresi de yaklaşık 20 ms olarak ölçüldü (Şekil 3.21). Lamine cam merkezinde ölçülen ötelenme değerleri Şekil 3.22’de gösterilmektedir. Cam montaj bandının sıkışması nedeniyle oluşan kalıcı yer değiştirme yaklaşık 0,3 mm, Camın kırılması sonucu oluşan kalıcı yer değiştirme yaklaşık 2,4 mm olarak kaydedildi.



Şekil 3.20 : Lamine cam deneyi düzeneği ve deney sonrası hasar şekli.



Şekil 3.21 : Lamine cam darbe deneyi kuvvet-zaman grafiği.



Şekil 3.22 : Lamine cam darbe deneyi ötelenme-zaman grafiği.

Deney sonuçları, lamine camın 4500 N'lik darbe dayanımına ulaştığını ve camın darbe yükü karşısındaki mekanik davranışının darbe hızına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Şekil 3.21'deki darbe kuvveti-zaman grafiğinde, darbe yükünün yaklaşık 20 ms içinde maksimum seviyeye ulaştığı ve ardından hızla azaldığı görüldü. Bu, darbe enerjisinin kısa bir sürede cama aktarıldığını ancak bu süreçte yüksek bir pik kuvvet oluştuğunu ifade etmektedir. Şekil 3.22'deki ötelenme-zaman grafiğine göre, darbe hızının artmasıyla camın merkezindeki ötelenme değerlerinin de arttığı gözlemlendi. Kalıcı deformasyonlar açısından, cam montaj bandının sıkışması sonucu oluşan 0,3 mm'lik yer değiştirme darbe enerjisinin bir kısmını absorbe ettiğini gösterirken, camın kırılması sonucu oluşan 2,4 mm'lik kalıcı yer değiştirme, camın mekanik sınırına ulaştığını ve büyük ölçüde enerjiyi absorbe ettiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, deney düzeneğinin güvenilirliğini ve kullanılan yöntemlerin lamine camın darbe dayanımını değerlendirmekte uygun olduğunu desteklemektedir. İlerleyen çalışmalarda, daha fazla numune üzerinde deney yapılarak sonuçların ortalama değerlerle sunulması, deneylerin genellenebilirliğini artıracaktır.

3.2.3 Donatili gaz beton panel deneyi

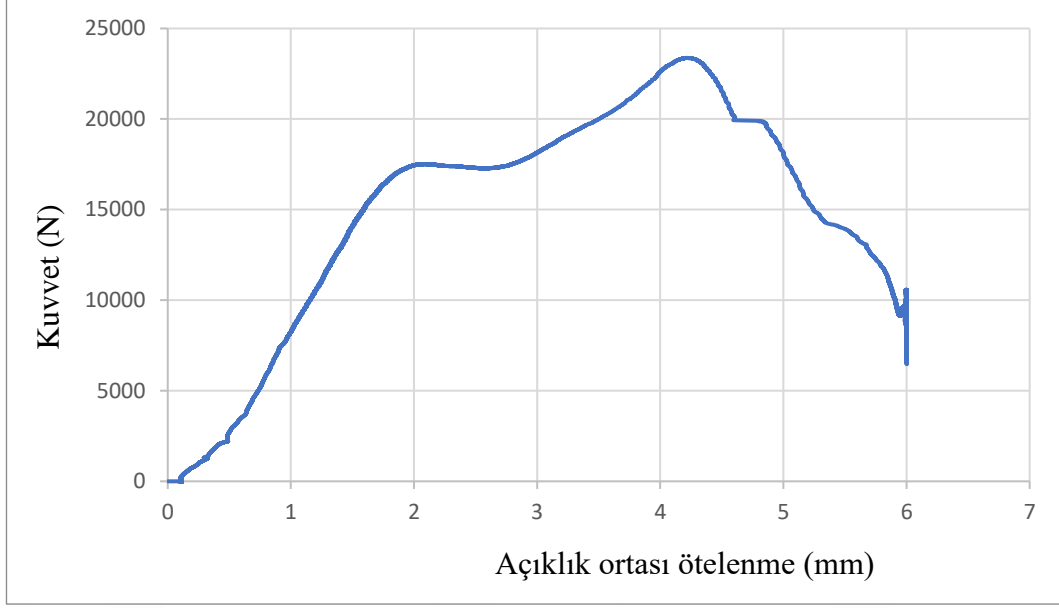
1200 mm · 300 mm · 150 mm boyutlarındaki PDG panelin Şekil 23'deki gibi mesnet açıklığı 1000 mm olacak şekilde üç noktalı eğilme deneyi yapıldı. Panel orta noktasından elde edilen kuvvet-ötelenme bilgileri ile Şekil 25'teki gibi kuvvet-ötelenme grafiği elde edildi. Deney sonucunda panelin maksimum 23209 N yük değerine ulaştığı ve hasar şeklinin Şekil 24'deki gibi kesme hasarı olduğu görüldü. Panelin başlangıç rijitliği Şekil 26'daki gibi 9975,9 N/mm olarak belirlendi.



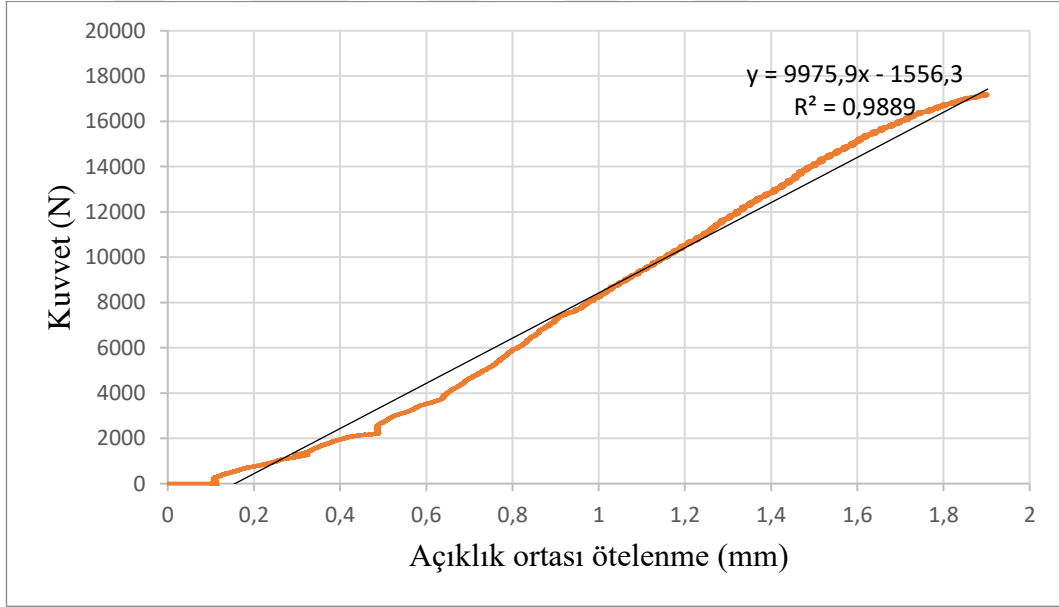
Şekil 3.23 : PDG panel eşdeğer statik üç noktalı eğilme deneyi.



Şekil 3.24 : PDG panel eşdeğer statik üç noktalı eğilme deneyi hasar durumu.



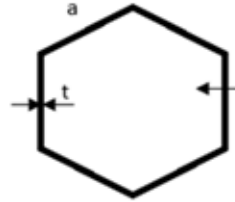
Şekil 3.25 : PDG panel eşdeğer statik üç noktalı eğilme deneyinde kuvvet-ötelenme eğrisi.



Şekil 3.26 : PDG açıklık ortası kuvvet - ötelenme (sehim) ilişkisi.

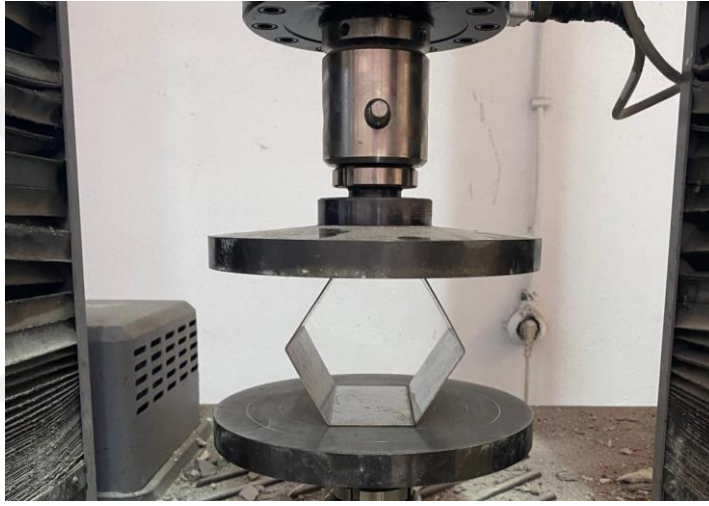
Enerji sönmüleyici bağlantı (ESB) eleman tasarımı yapılırken PDG panelin F_{PDGmax} yük taşıma kapasitesinin, ESB elemanın F_{ESBa} akma dayanımından büyük olması koşulu göz önünde bulunduruldu. Bu durumda Şekil 3.27'deki özelliklere sahip ESB bağlantısı üretildi. ESB davranışını belirlemek için Şekil 3.28'deki gibi basınç deneyi yapıldı. Basınç deneyi sonucunda Şekil 3.29'daki gibi kuvvet-ötelenme eğrisi elde edildi. Tasarlanan ESB'nin yaklaşık 895,62 N yükünde akmaya başladığı ve 50 mm ve daha sonrası yer değiştirme değerlerine kadar bu yüke yakın olarak akmaya devam

ettiği belirlenmiştir. Her duvarın alt ve üstünde ikişer ESB olmak üzere toplam dört adet ESB kullanımı değerlendirildiğinde toplamda ESB'lerin 3582,48 N karşılayacağı değerlendirilmektedir. Bu durumda ESB'lerin akma dayanımlarının PDG panellerin taşıyabilecekleri maksimum yükün altında kaldığı görülmektedir.

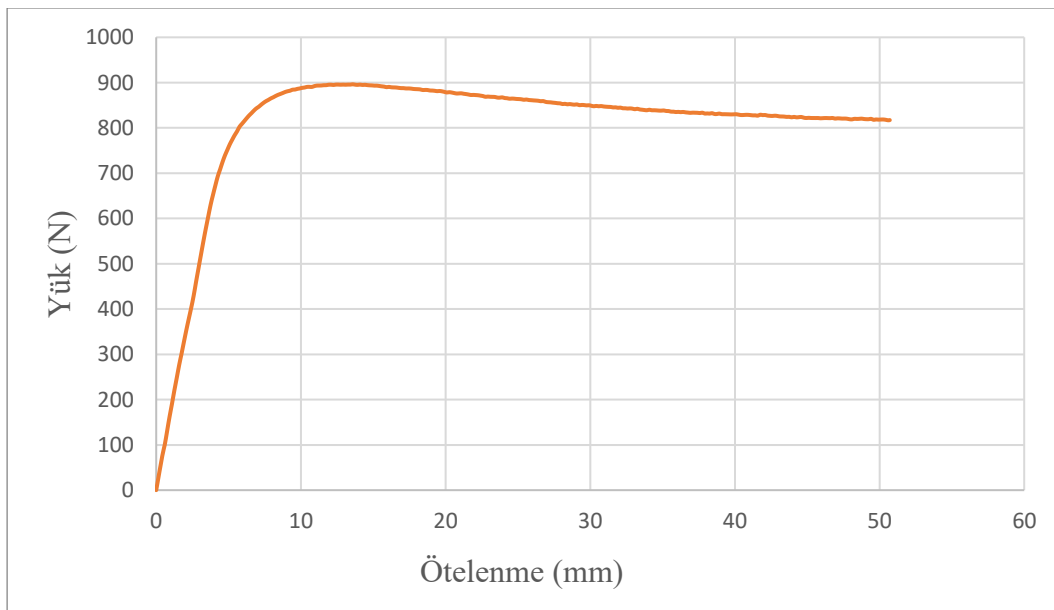


Malzeme: ST35 Çelik
Geometrik büyüklükler:
 $a = 50 \text{ mm}$
 $t = 1 \text{ mm}$

Şekil 3.27 : ESB'lerin malzeme ve geometrik özellikleri.

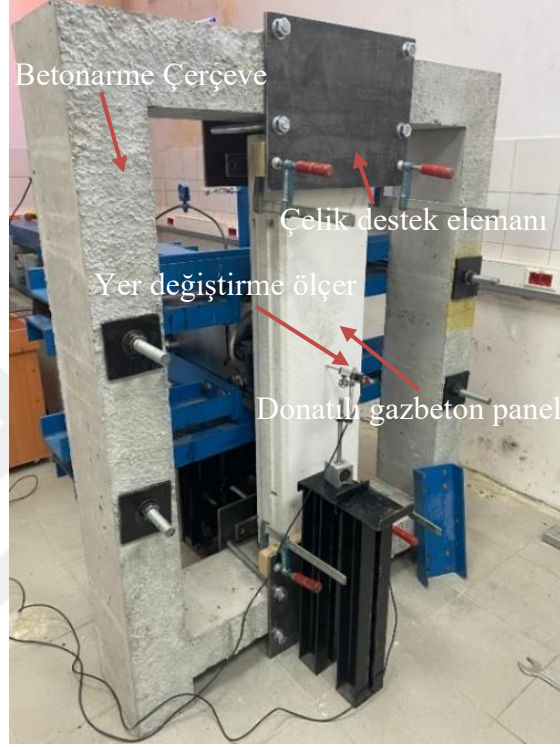


Şekil 3.28 : ESB basınç deneyi.



Şekil 3.29 : ESB kuvvet-ötelenme eğrisi.

1200 mm · 300 mm · 150 mm boyutlarındaki PDG paneller üzerinde darbe deneyleri gerçekleştirildi. Bu amaçla, paneller daha önce üretilmiş olan betonarme çerçeve ve deney cihazına sabitlendi (Şekil 3.30). PDG elemanının mesnet ve yükleme noktalarında hasar oluşmaması için mesnet bölgesinde 45 mm · 70 mm · 350 mm boyutlarında ahşap malzeme; yükleme bölgesinde ise 20 mm · 130 mm · 300 mm boyutlarında kauçuk malzeme yerleştirildi (Şekil 3.31).



Şekil 3.30 : Donatılı gaz beton panel deney düzeneği.



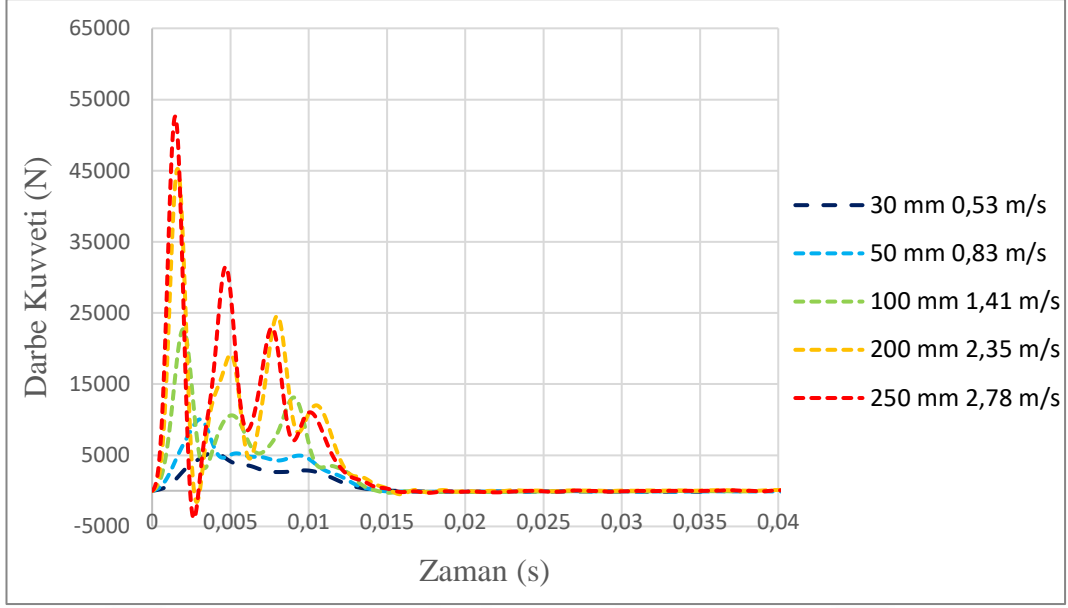
Şekil 3.31 : Donatılı gaz beton panel deneyi darbe başlığı ve mesnet özellikleri.

Çizelge 3.3'te gösterildiği gibi yaylarda depolanan enerjinin bir kısmı sürtünme, yay kütlesi ve darbe itici elemanı (yay arabası) kütlesi nedeniyle harcanmakta, enerjinin yaklaşık yarısı darbe kütlesinin numuneye belirli bir hızla çarpmasını sağlamaktadır. Kullanılan darbe arabası kütlesi yaklaşık 50 kg'dır. Yayların 30 mm, 50 mm, 100 mm, 200 mm ve 250 mm çekilmesi durumunda, darbe arabasının sırasıyla 0,53 m/s, 0,83 m/s, 1,41 m/s, 2,35 m/s ve 2,78 m/s hızlarla PDG panele çarptığı görüldü. Darbe yükü-zaman grafikleri Şekil 3.32'de sunuldu. Görüldüğü üzere darbe arabasının çarpma hızının artmasıyla birlikte uygulanan yük artmakta, ancak yükün etkiye süresi tüm numuneler için yaklaşık 16 ms civarında sabit kalmaktadır. Deney sonucunda yalnızca 250 mm yay uzaması ve 2,78 m/s hız değerine sahip senaryoda PDG panelinde kesme hasarı gözlemlendi (Şekil 3.33). Bu senaryoda Şekil 3.34'de gösterildiği gibi tasarlanan ESB kullanıldı. ESB kullanılması ve kullanılmaması durumlarına ait darbe yükü-zaman grafikleri Şekil 3.35'de verildi. ESB kullanıldığında darbe yükünün 58000 N'dan 50500 N'a düştüğü görüldü. Deney sonrasında ESB'de yaklaşık 30-40 mm arasında kalıcı bir şekil değiştirme meydana gelirken PDG panelde de herhangi hasar oluşmadı. Ayrıca Şekil 3.35'de yük-zaman verilerine bakıldığında ESB kullanıldığında yük karakterinin 0,005 s'den sonra değiştiği anlaşılmaktadır. Bu da ESB'lerin bu süreden sonra deney sistemi üzerinde daha fazla etkin olduğuna gelmektedir. ESB kullanımında darbe kuvvetinin etkiye süresinin 60 ms kadar uzadığı görülmektedir.

Çizelge 3.3 : PDG panellerine uygulanan darbe yüklerinin hızı ve enerji parametreleriyle ilişkisi.

Yaydaki uzama (mm)	Yayda depolanan enerji (Joule)	Darbe hızı (m/s)	Darbe kütlesi (kg)	Darbe Enerjisi (Joule)
30	18,62	0,53	50,5	7,09
50	33,80	0,83	50,5	17,39
100	81,45	1,41	50,5	50,20
200	218,30	2,35	50,5	139,44
250	307,50	2,78	50,5	195,14
300	410,56	3,23	50,5	263,43

Not: Yaydaki uzama (mm): Yayın başlangıç durumundan itibaren uzama miktarıdır. Darbe enerjisi, darbe arabasının kinetik enerjisi olarak hesaplanmıştır.



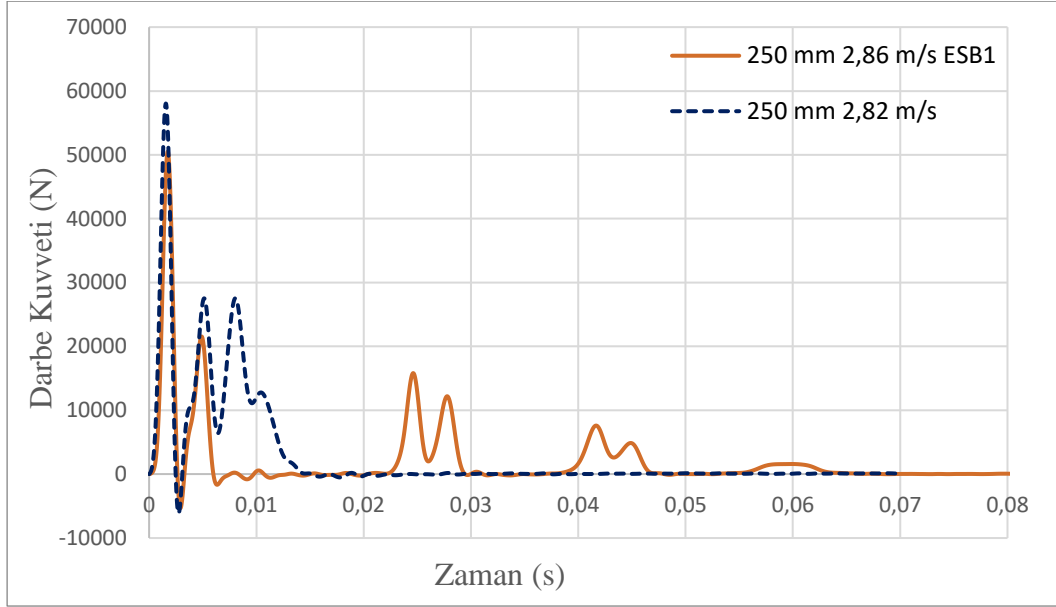
Şekil 3.32 : PDG paneller için darbe kuvveti-zaman grafiği.



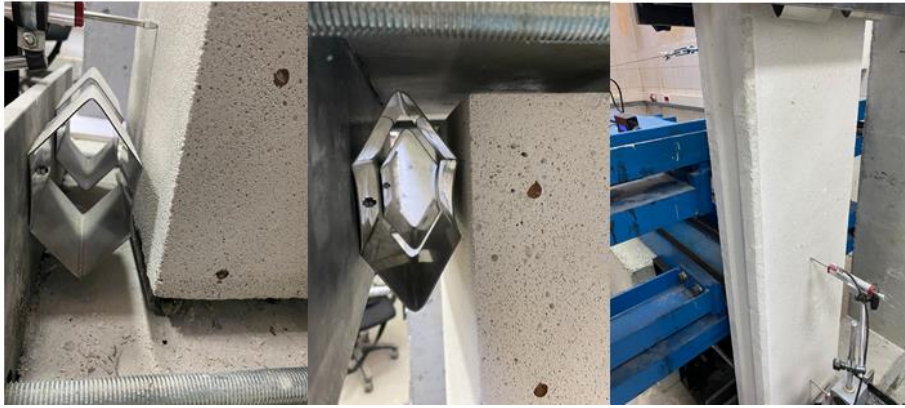
Şekil 3.33 : PDG panel darbe deneyi sonrası aldığı hasar.



Şekil 3.34 : PDG panellerde ESB kullanılması.



Şekil 3.35 : PDG panellerde ESB kullanılması ve kullanılmaması durumunda kuvvet-zaman eğrileri.



Şekil 3.36 : PDG panellerde darbe yükü sonrası ESB hasar durumu.

PDG paneller üzerinde yapılan darbe deneyleri, numunelerin darbe yüklerine karşı dayanıklılığını değerlendirmek için önemli veriler sundu. Çizelge 3.3 ve Şekil 3.32 incelendiğinde, darbe arabasının hızının artışıyla birlikte PDG paneller üzerine uygulanan darbe yükünün de arttığı gözlemlendi. Ancak, darbe yükünün etkime süresi (~ 16 ms) tüm numuneler için sabit kaldı. Bu durum, malzemenin belirli hız aralıklarında stabil bir davranış sergilediğini göstermektedir. Şekil 3.33'te görüldüğü üzere, 250 mm uzama ve 2,78 m/s hız senaryosunda PDG panelde kesme çatlakları oluştu. Daha düşük uzama ve hız seviyelerinde ise panelde herhangi bir hasar oluşmadı.

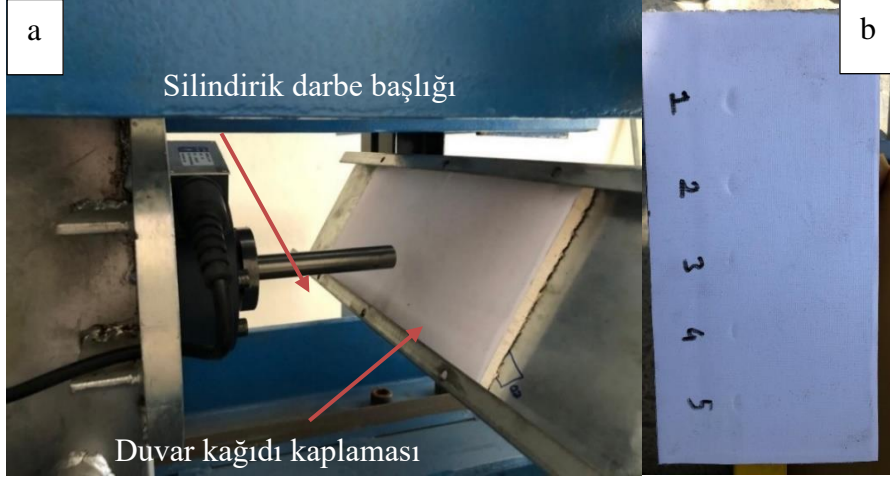
Deneylerde, ESB'nin kullanımı ile PDG panellerin koruma performansının önemli ölçüde arttığı görüldü. Şekil 3.35’de, ESB’nin darbe yükünü 58,0 kN’den 50,5 kN’ye düşürmesi, darbe enerjisinin büyük bir kısmının ESB tarafından absorbe edildiğini ve panelde herhangi bir hasar oluşmasının önlendiğini göstermektedir. Şekil 3.36’da ESB’de meydana gelen 30-40 mm arasındaki plastik şekil değiştirme, darbe enerjisinin sönmüldüğünü doğrulamaktadır.

Bu sonuçlar, PDG panellerin darbe dayanımını artırmak için ESB'nin etkili bir çözüm olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle deprem bölgeleri veya yüksek darbe riski taşıyan yapı elemanları için bu sistem, enerji sönmüleyici bir çözüm olarak dikkat çekmektedir. Elde edilen bulgular, ESB tasarımında kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerinin, PDG panellerin performans sınırlarını genişletecek şekilde optimize edilebileceğini göstermektedir.

3.2.4 Duvar kağıdı deneyi

Prensip olarak TS 5228-3-2 EN 259-2 standardına göre bir ağır hizmet duvar kaplamasından kesilmiş, 12,5 mm kalınlığında bir alçı panele tutturulmuş bir deney parçası kullanıldı. Deney sırasında 44 kg kütlede ve yaklaşık 1 J darbe enerjisi sağlayan bir darbe uygulayıcısı benimsenmiştir. Darbe sonrası deney parçasının yüzey durumu değerlendirildi. Bu standarda göre deney numunesi 300 mm uzunluğunda ve 150 mm genişliğinde olmalıdır. Deney numunesi, yatay ile 30 derecelik açı yapacak şekildedir. Ayrıca darbe başlığının 20 mm çapında silindirik bir çelik eleman olması gereklidir (Şekil 3.29). Numune her bir darbe sonrası muayene kabinde çıplak gözle incelendi. Kaplama yüzeyinin darbeden etkilenmediği veya geri dönüşsüz bir hasarlanmanın olup olmadığı kontrol edildi.

“Geri dönüşsüz hasarlanma” ibaresinden, kaplamanın kaplama uygulanan yüzeye (alçı panel) kadar uzanan bir çatlama veya patlama gösterdiği anlaşılır. Deney cihazında yayın yaklaşık 18 mm gerilmesi ile Çizelge 3.4’teki sonuçlar elde edildi.



Şekil 3.37 :Duvar kağıdı darbe deneyi a) deney düzeneği b) numune deney sonrası hasar durumu.

Çizelge 3.4 : Duvar kağıdı deney sonuçları.

No	Yay germe miktarı (mm)	Ulaşılan hız (m/s)	Enerji (J)	Geri dönüşsüz hasarlanma
1	18	0,29	1,85	yok
2	18	0,25	1,38	yok
3	18	0,23	1,16	yok
4	18	0,25	1,38	yok
5	18	0,22	1,06	yok

Bu çalışma kapsamında, kavramsal olarak standarda tam uyulmasa da ilkesel bakımdan standardın gerekliliklerine uygun bir yöntem izlendi. Geliştirilen deney cihazı mevcut standartlara adapte edildi ve modifiye edilerek kullanılabilirliği gösterildi. Bu bağlamda deney cihazının mevcut standartlara uyarlanabilmesi ya da deney cihazına özel yeni standartların oluşturulması mümkün görülmektedir. Böylece, deney cihazının endüstride geniş bir uygulama alanına sahip olacağı düşünülmektedir.

Bu deney, cihazın düşük enerji seviyelerinde darbe performansını değerlendirmede yeterli hassasiyete sahip olduğunu gösterdi. Yay germe miktarına göre darbe enerjisini kontrol edebilme yeteneği, cihazın denenen duvar kağıdı numunesi üzerindeki etkilerini hassas şekilde ölçmesine olanak sağladı. Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi, tüm senaryolarda geri dönüşsüz hasarlanma gözlemlenmedi. Bu sonuç, kullanılan duvar kağıdının düşük darbe enerjilerine karşı dayanıklı olduğunu ve cihazın düşük enerjili darbe uygulamaları için uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Deney TS 5228-3-2 EN 259-2 standardı ilkelerine uygun şekilde gerçekleştirildi. Bu durum, cihazın mevcut standartlara uyarlanabileceğini ve gerekirse yeni standartların oluşturulmasında kullanılabilirliğini göstermektedir.

3.2.5 Penetrasyon deneyi

Geliştirilen yay tahrikli darbe deney cihazında, yerel darbe etkilerinin incelenebilmesi amacıyla penetrasyon (nüfuz etme) deneyleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla, Şekil 3.38'deki gibi darbe arabasına özel olarak tasarlanmış sivri uçlu darbe başlıkları monte edildi. Şekil 3.38'deki görsellerde söz konusu başlıklar; hem darbe arabasına monte edilmiş durumda (solda), hem de detaylı olarak ayrı halde (sağda) görülmektedir. Başlıklar, cihazın darbeci arabasına cıvata-flanş bağlantısı ile rijit biçimde sabitlenmiş olup, darbe sırasında başlık ekseninin kayması veya salınımı engellemektedir. Bu geometri, darbe enerjisinin küçük bir yüzey alanına yoğunlaştırılmasını sağlayarak yerel nüfuz etkisi oluşturmakta ve malzeme içerisindeki kırılma veya çatlama davranışlarını daha belirgin hale getirmektedir.

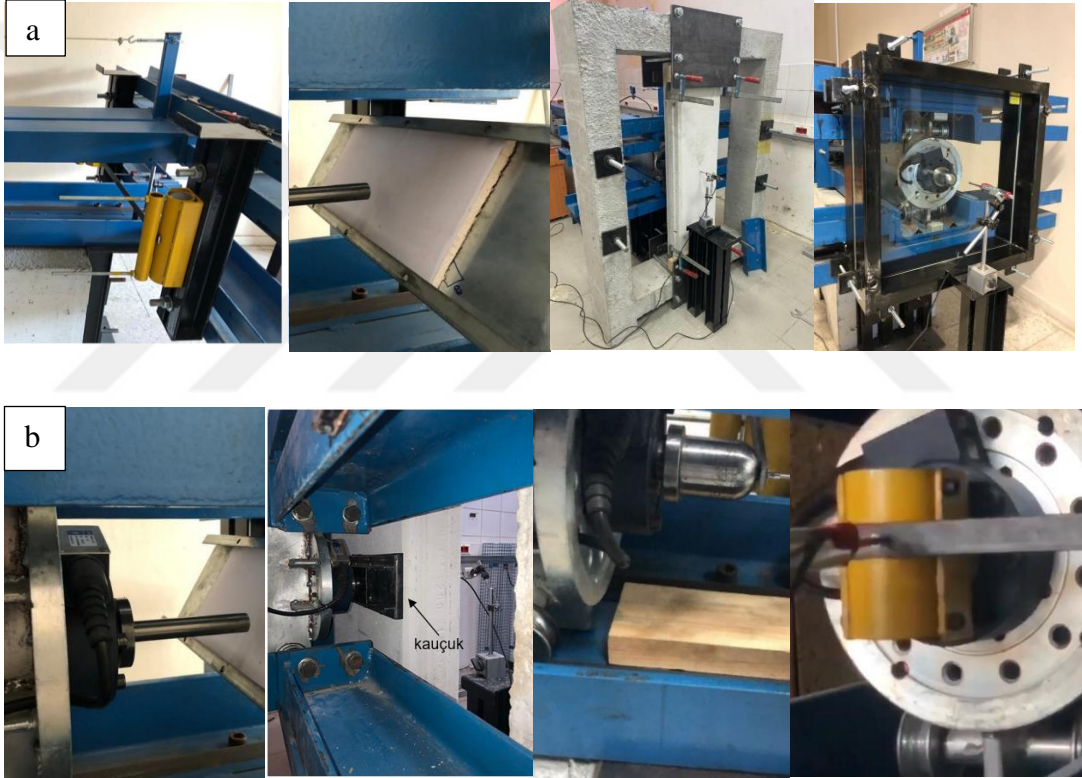


Şekil 3.38 :Penetrasyon deneyleri için darbe başlığı.



4. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında geliştirilen deney cihazı ile çeşitli mesnet koşulları ve çeşitli darbe arabası başlıkları kullanıldı (Şekil 4.1). Deney cihazına bu belirtilen koşulların uygulanabilmesi deney cihazının birçok deney senaryosuna kolay bir şekilde uyarlanabildiğini göstermektedir. Kullanıcı, cihazı PDG panel, lamine cam, çelik lama gibi farklı numune türlerinde hızlı bir şekilde uyarlayabilmektedir.



Şekil 4.1 : Darbe deney cihazında kullanılan a) mesnet koşulları ve b) darbe arabası başlıkları.

Şekil 3.6'da ve Şekil 3.8'de kullanılan mesnetlerin ve darbe ucunun bıçak sırtı olmaması yüzeylerin boyalı olması ve açıklık ortası yüklemde serbest dönmenin kısıtlanması, ötelenmelerin ihmal edilebilecek düzeyde küçük olmaması gibi nedenlerle ideal basit ve ankastre mesnet koşulları sağlanmadı. Şekil 13'de ve Şekil 3.15'te kuvvetin uygulandığı taraftaki mesnette dönmenin tam önlenememesi sebebiyle ideal ankastre mesnet koşulları sağlanmadı. Bu durumlara rağmen, bu tez

çalışma kapsamında hem statik hem de dinamik deneylerde aynı mesnet koşullarının kullanılması statik ve dinamik deney verilerinin kıyaslanmasını mümkün kılmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde elde edilen darbe yükü süreleri karşılaştırıldığında; çelik lamalar, lamine cam numunleri ve PDG paneller sırasıyla daha tok (fazla enerji yutan) kurulmuş birer düzenek olduğu anlaşılmaktadır. Eş değer statik duruma göre PDG panelin eğilme rijitliği 9975,9 N/mm, çelik lamanın eğilme rijitliği ise 12,51 N/mm olarak ölçüldü. Buna karşın, darbe yükü süreleri PDG panellerde yaklaşık 16 milisaniye, çelik lamalarda yaklaşık 200 milisaniye, lamine cam numunelerde ise yaklaşık 22 milisaniye ölçüldü.

Şekil 3.27’de sunulan kuvvet-zaman eğrilerine göre, mesnetlerde çelik ile desteklenmiş ahşap malzeme kullanımı ile çelik destekli ESB malzemesi kullanımı karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, ESB kullanımı ile taşıyıcı sistemin daha esnek/sünek/tok hale geldiğini ve darbe yükünün etkime süresinin 65 milisaniyeye kadar uzadığını göstermektedir. Bu durum, yük aktarım düzeneğindeki esnekliğin artmasıyla darbe yükü etkime süresinin de arttığını ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, yük aktarım düzeneğinin deneysel çalışma üzerindeki etkisinin daha hassas değerlendirilmesi için mesnet bölgelerinde kuvvet ölçüm sensörlerinin kullanımı önerilmektedir. Ayrıca, bazı deneylerde kullanılan yer değiştirme sensörlerinin (Şekil 2.22) darbe kuvvetinin etkisi ile farklı ötelenme ölçümleri verebileceği değerlendirildi. Bu nedenle, belirli deney koşullarında ölçme almaçın kütesinin ve dinamik tepkisinin ölçülen ötelenmeden etkilenmeyeceği lazer veya uygun özellikte optik yer değiştirme ölçerlerin kullanımı daha uygun ve güvenilir olacaktır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan bu deney cihazı ve yöntemi, mühendislik uygulamalarında yaygın kullanım alanı bulabilecek çeşitli deney numunelerinin hem darbe hem de statik yükler altında denenebilmesini sağlayabilmektedir. Cihazın en önemli avantajlarından biri, darbe arabası ile numune arasında yerçekiminden bağımsız olarak serbest bir çarpışma gerçekleştirilmesine olanak tanınmasıdır. Bu özellik, darbe yükünün doğrudan ve kontrollü bir şekilde numuneye aktarılmasını sağlarken, orta açıklıkta yer değiştirme ve darbe yükü gibi parametrelerin hassas bir şekilde ölçülmesine imkan vermektedir.

Geleneksel darbe deney yöntemlerinden olan Izod ve Charpy deney aletlerinde günümüzdeki standart halleriyle (Abidin NMZ vd., 2019; Patil S. ve Reddy M., 2018; Pai Y., Pai KD. ve Kini MV 2021), sadece enerjiye dayalı ölçümler yapılabilmekte, yük ve yer değiştirme verileri elde edilememektedir. Ayrıca, bu yöntemler belirli numune biçim ve boyutları ile sınırlıdır ve farklı deney senaryolarına imkân sağlamamaktadır.

Benzer şekilde, sarkaç tipi darbe deneylerinde (Starr ve Krauthammer, 2005; Cheng ve McComb, 2010) darbe arabası, yer çekimi etkisi ile numuneye çarpmakta ve enerji aktarımı kontrolsüz bir şekilde gerçekleşmektedir. Çarpma işlemi, darbe kütlesi enerjisini tüketene kadar devam eder ve gerçek bir serbest çarpışma senaryosu oluşturulamaz.

Ağırlık/kütle düşürmeye dayalı deney yöntemlerinde (Uyaner M. ve Kara M., 2007; Pourfalah vd., 2018; Carlos ve Gonzalo, 2020), belirli bir yükseklikten serbest bırakılan kütle, numuneye darbe uygular. darbe sonrası enerjisini tamamen absorbe edemeyen numunelerde darbe kütlesi yerçekiminin etkisiyle numuneye tekrar tekrar çarpar. Bu da, yaygın kullanımdaki standart cihazlarda serbest çarpışma koşullarını sağlamak açısından yetersiz kalmaktadır.

Ayrıca, geleneksel darbe deney cihazlarında numune montaj alanı sınırlıdır ve kullanıcıya deney düzeneklerinde esneklik sağlamaz. Bu durum, deneysel numune tasarım ölçü ve ölçütlerinde kısıtlamalara yol açar. Bu çalışmada geliştirilen deney cihazı, geniş montaj alanı ve farklı numune türlerine uyarlanabilir yapısıyla, değişik deney senaryolarının kolaylıkla uygulanabilmesini mümkün kılmaktadır.

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere, deney cihazının yatay ekseninde tasarlanmış olması, farklı tipte mesnet sistemlerinin ve numune türlerinin kolaylıkla ana montaj çerçevesine entegre edilmesine olanak sağlamaktadır. Uyarlanabilir yapısı sayesinde, bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerde ana montaj çerçevesine birçok farklı mesnet düzeni uygulandı ve sistemin modüler yapısı başarılı bir şekilde sınanabildi.

Geleneksel darbe deney sistemlerinde, özellikle Izod ve Charpy cihazlarında (Abidin NMZ vd., 2019; Patil S. ve Reddy M., 2018; Pai Y., Pai KD. ve Kini MV 2021) ile kütle düşürme tekniğinde (Uyaner M. ve Kara M., 2007; Pourfalah vd., 2018; Carlos ve Gonzalo, 2020), farklı destek ve mesnet sistemlerinin entegre edilmesine imkan

sağlayacak yeterli montaj alanı bulunmamaktadır. Bu durum, farklı deney düzenlemelerinin gerçekleştirilmesinde kısıtlayıcı olabilmektedir.

Geliştirilen cihaz ise; seramik, kompozit, betonarme ve metal yapı elemanları da dahil olmak üzere geniş bir malzeme ve numune çeşitliliğini deneyebilmekte, ayrıca Şekil 2.8'de gösterildiği gibi, iki ve üç noktalı yükleme sistemlerine sahip mesnetlerin ve farklı geometriye sahip çerçeve yapıların cihaz sistemine kolaylıkla monte edilmesine olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak, geliştirilen bu deney cihazı, giriş bölümünde ele alınan geleneksel standart sistemlerin sınırlamalarını aşarak, farklı malzeme ve yapı elemanlarının kısa süreli dinamik yükler altındaki davranışlarının hassas şekilde belirlenmesine imkan sağlayan, uyarlanabilir, modüler ve kullanıcı dostu bir sistem olarak literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

5. SONUÇ, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, mevcut darbe deney cihazlarının sınırlamalarını aşmak ve mühendislik malzemelerinin kısa süreli dinamik yükler altındaki davranışlarını hassas bir şekilde belirlemek amacıyla, yay tahrikli yenilikçi bir darbe deney cihazı tasarlandı ve geliştirildi. Cihaz, farklı malzeme tiplerine ve deney senaryolarına, düzenlemelerine uyarlanabilirliği sayesinde; savunma sanayii, petrol ve gaz endüstrisi, kimyasal ve nükleer tesisler, darbe ve patlama mühendisliği, inşaat ve yapı sektörü, makine-imalat, havacılık ve otomotiv sektörleri gibi geniş bir uygulama alanına hitap etmektedir. Ayrıca, üniversitelerin Ar Ge laboratuvarları için de kısa süreli dinamik yük altında malzeme davranışını incelemeye yönelik önemli bir ihtiyaç karşılanmaktadır.

Deney cihazının çalışma prensibini ve performansını değerlendirmek amacıyla çeşitli deneysel çalışmalar gerçekleştirildi. Bu deneylerde öncelikli olarak, darbe arabasının farklı kütlelerle ve değişen yay germe uzunluklarıyla ulaştığı hızlar ölçüldü ve analiz edildi. Elde edilen veriler, darbe arabasının hızlarının, uygulanan belirli yay germe aralığında, yayın germe-uzama miktarı ile yeterince doğrusal bir ilişki içerisinde olduğunu ortaya koydu. Bu doğrusal ilişki, cihazın farklı hız ve darbe enerjisi taleplerine göre hassas bir şekilde ayarlanabildiğini ve farklı deney parametrelerine uyum sağladığını kanıtlamaktadır.

Aynı zamanda, deney cihazının farklı mühendislik malzemeleri ve bu malzemelerden üretilmiş yapı elemanlarının dinamik yükler altında nasıl deneneceği araştırıldı. Bu kapsamda; çelik lamalar üzerinde üç noktalı ve iki noktalı eğilme deneyleri, lamine cam paneller ve donatılı gaz beton paneller (hem ESB'li hem ESB'siz) üzerinde darbe deneyleri gerçekleştirildi. Ayrıca, TS 5228-3-2 EN 259-2 standardına uygun olarak, duvar kağıdı kaplaması deneyleri yapıldı. Tüm bu deneylerde, darbe başlıklarının farklı geometrilerde seçimi ve deney numunelerinin montaj aparatları başarıyla kullanıldı, cihazın çeşitli deney senaryolarına kolaylıkla uyum sağladığı ve güvenilir veriler elde edildiği görüldü.

Sonuç olarak, geliştirilen bu deney cihazı; numune montajında sağladığı kolaylık ve farklı deney senaryolarına uyum sağlayabilmesiyle dikkat çekmektedir. Darbekütlesi, kullanıcı tarafından istenilen değerlere göre kolayca artırılabilen veya azaltılabilmekte; darbe başlıklarının temas yüzeyi kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Ayrıca, darbe yükü-zaman verileri geniş bir ölçüm kapasitesinde güvenilir şekilde elde edilebilmekte ve yay sistemleri, deney programına göre hızlı bir şekilde değiştirilebilmektedir. Yatay düzlemde darbe uygulayarak yer çekimine bağlı etkiler minimize edilmekte ve numune ile darbe arabası arasında serbest çarpışma koşulları sağlanmaktadır.

Cihazda bulunan yük, hız ve ivme ölçüm sensörleri, deney programına göre kolaylıkla uyarlanabilmekte; sistemin kurulumu ve deney alanındaki konumlandırması kullanıcı tarafından kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Tüm bu özelliklerin bir arada sunulması, cihazı benzerlerinden ayırmakta ve üstünlük sağlamaktadır.

Kısa süreli dinamik yüklere (örneğin, darbe veya patlama etkilerine) karşı mühendislik yapılarının tasarımında, malzemelerin statik yükler altındaki dayanımları, çoğunlukla Dinamik Artış Faktörleri (DAF) kullanılarak dinamik etkiler için revize edilmektedir. DAF, malzemelerin statik yükler altındaki mukavemet değerlerinin, yüksek hızda veya ani yüklemelerde artış gösterdiğini kabul ederek belirlenen katsayılardır. Ancak, bu faktörlerin belirlenmesinde kullanılan yöntemler çoğu zaman kuramsal verilere dayanmaktadır ve deneysel doğrulamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu nedenle, mühendislik malzemelerinin dinamik yükler altındaki mukavemet artış oranlarının doğru belirlenmesi ve bu malzemelerle üretilen yapı elemanlarının farklı ölçeklerde kısa süreli dinamik yükler altındaki davranışlarının ayrıntılı olarak anlaşılması kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada geliştirilen deney cihazı ve yönteminin, malzeme ve yapı elemanlarının kısa süreli dinamik yükler altındaki davranışlarının deneysel olarak araştırılmasında, literatürdeki mevcut boşlukları dolduracağı ve endüstriyel uygulamalara önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Yapılan deneyler ve elde edilen bulgular göstermektedir ki, geliştirilen darbe deney cihazı yalnızca sağladığı geniş deney olanakları ile değil, aynı zamanda mevcut standartlara uyarlanabilirliği ile de öne çıkmaktadır. Cihaz, farklı deney protokollerine kolaylıkla entegre edilebilmekte ve belirli standartlara göre yapılan deneylerin

gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, cihazın sunduğu uyarlanabilir ve modüler yapı sayesinde, endüstrinin ihtiyaç duyduğu yeni deney standartlarının oluşturulmasında bu deney cihazının temel alınabileceği ve uygulama senaryolarının geliştirilmesinde önemli bir referans olabileceği değerlendirilmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, geliştirilen darbe deney cihazına daha ileri düzeyde darbe kütlesi fırlatma, daha gelişkin sensör ve kontrol sistemleri entegre edilerek daha otonom ve hassas bir deney sistemi haline getirilebilir. Cihaz, darbe arabasının numuneye çarpması ve ayrılmasından sonraki hızını yüksek hassasiyetle ölçebilen lazer tabanlı yer değiştirme sensörleri ile geliştirilebilir. Ayrıca, yayların gerilme durumunu izleyen yük sensörleri ve yüksek hızlı kamera sistemleri sayesinde, darbe anı ve sonrası ayrıntılı bir şekilde analiz edilebilir. Tüm bu sensörlerden elde edilen veriler, gelişmiş bir kontrol kutusu ve yazılım altyapısında birleştirilerek, deney süreçleri tamamen otomatik hale getirilebilir. Böylece, yazılım sistemi darbe yükü, darbe süresi ve hedeflenen deney senaryolarına göre otomatik darbe başlığı seçimini ve parametre ayarlarını optimize ederek, deneysel sürecin güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini artırabilir.



KAYNAKLAR

- Abidin, N. M. Z., Sultan, M. T. H., Shah, A. U. M., & Safri, S. N. A.** (2019). Charpy and Izod impact properties of natural fibre composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 670(1), 012031.
- Aghdamy, S., Thambiratnam, D. P., & Dhanasekar, M.** (2016). Experimental Investigation on Lateral Impact Response of Concrete-Filled Double-Skin Tube Columns Using Horizontal-Impact-Testing System. *Experimental Mechanics*, 56(7), 1133-1153.
- Alsayed, S. H., Elsanadedy, H. M., Al-Zaheri, Z. M., Al-Salloum, Y. A., & Abbas, H.** (2016). Blast response of GFRP-strengthened infill masonry walls. *Construction and Building Materials*, 115, 438-451.
- Asad, M., Zahra, T., Thambiratnam, D. P., Chan, T. H. T., Liu, X., Zhuge, Y., Nguyen, C.** (2022). Innovative impact testing machine for enhancing impact related research in Australia. *International Journal of Protective Structures*, 13(2), 273-294.
- Asprone, D., Cadoni, E., Iucolano, F., & Prota, A.** (2014). Analysis of the strain-rate behavior of a basalt fiber reinforced natural hydraulic mortar. *Cement and Concrete Composites*, 53, 52-58.
- Aykac, B., Aykac, S., Kalkan, I., & Bocek, M.** (2016). The Out-of-Plane Bending Behavior of Brick Infill Walls Strengthened with Perforated Steel Plates. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(4), 429-435.
- Budynas R.G., ve Nisbett J. K.** (2012). *Mechanical Springs*, Shigley's Mechanical Engineering Design.
- Burnett, S.** (2004). *Impact resistance of masonry walls: materials characterisation and numeric modelling*. (Doctoral dissertation). University of Sheffield.
- Burnett, S., Gilbert, M., Molyneaux, T., Tyas, A., Hobbs, B., & Beattie, G.** (2007). The response of masonry joints to dynamic tensile loading. *Materials and Structures*, 40(5), 517-527.
- Cai, W., Zhu, L., & Qian, X.** (2022). Dynamic responses of steel plates under repeated ice impacts. *International Journal of Impact Engineering*, 162, 104129.
- Campidelli, M., Tait, M. J., El-Dakhkhni, W. W., & Mekky, W.** (2016). Numerical strategies for damage assessment of reinforced concrete block walls subjected to blast risk. *Engineering Structures*, 127, 559-582.
- Cheng, L., & McComb Ashley, M.** (2010). Unreinforced Concrete Masonry Walls Strengthened with CFRP Sheets and Strips under Pendulum Impact. *Journal of Composites for Construction*, 14(6), 775-783.

- Dok, G., Caglar, N., Ilki, A., & Yilmaz, C.** (2020). Effect of impact loading on residual flexural capacity of high-strength reinforced concrete beams. *Structures*, 27, 2466-2480.
- EN** (2001). *Wallcoverings in roll form. Heavy duty wallcoverings Determination of impact resistance* (EN 259-2). Retrieved from <https://www.en-standard.eu>.
- Gilbert, M., Hobbs, B., & Molyneaux, T. C. K.** (2002). The performance of unreinforced masonry walls subjected to low-velocity impacts: mechanism analysis. *International Journal of Impact Engineering*, 27(3), 253-275.
- Gurbuz, T., Ilki, A., Thambiratnam, D. P., & Perera, N.** (2019). Low-Elevation Impact Tests of Axially Loaded Reinforced Concrete Columns. *ACI Structural Journal*, 116(1).
- Hanssen, A. G., Auestad, T., Tryland, T., & Langseth, M.** (2003). The kicking machine: A device for impact testing of structural components. *International Journal of Crashworthiness*, 8(4), 385-392.
- Hao, H., & Tarasov, B. G.** (2008). Experimental study of dynamic material properties of clay brick and mortar at different strain rates. *Australian Journal of Structural Engineering*, 8(2), 117-132.
- Khosravani, M. R., & Weinberg, K.** (2018). A review on split Hopkinson bar experiments on the dynamic characterisation of concrete. *Construction and Building Materials*, 190, 1264-1283.
- Krauthammer, T., Astarlioglu, S., Blasko, J., Soh, T. B., & Ng, P. H.** (2008). Pressure-impulse diagrams for the behavior assessment of structural components. *International Journal of Impact Engineering*, 35(8), 771-783.
- Krauthammer, T., Astarlioglu, S., & Blasko Joseph, R.** (2012). Load-Impulse Diagrams for Protected Facility Assessment. *Structures Congress*. 1-11.
- Kobeleev, V.** (2011). Analytical Model for Simulation of Forming Process & Residual Stresses in Helical Springs Part 1. *Wire Forming Technology International*, 14(1), 46-53
- Kucuk, M., ve Sari, A.** (2024). *T.R Patent No: 2022 010390*. Ankara: Türk Patent ve Marka Kurumu.
- Levi-Hevroni, D., Kochavi, E., Kofman, B., Gruntman, S., & Sadot, O.** (2018). Experimental and numerical investigation on the dynamic increase factor of tensile strength in concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 114, 93-104.
- Li, R. W., Zhou, D. Y., & Wu, H.** (2020). Experimental and numerical study on impact resistance of RC bridge piers under lateral impact loading. *Engineering failure analysis*, 109, 104319.
- Liu, T., Kang, T. H. K., Nghiem, A., & Xiao, Y.** (2020). Impact Testing of Reinforced Concrete Beams Shear-Strengthened with Fiber-Reinforced Polymer Wraps. *ACI Structural Journal*, 117(3).

- Mavroulis, S., Gogou, M., Carydis, P., & Lekkas, E.** (2019). Environmental effects of the September 2018 Mw 7.5 Palu (Sulawesi Island, Indonesia) earthquake and building damage induced by the earthquake and the subsequent tsunami and liquefaction phenomena, *Geophysical Research Abstracts*, 21, 1-1.
- Pai, Y., Pai, K. D., & Kini, M. V.** (2021). A review on low velocity impact study of hybrid polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 46, 9073-9078.
- Parisi, F., & Sabella, G.** (2017). Flow-type landslide fragility of reinforced concrete framed buildings. *Engineering structures*, 131, 28-43.
- Patil, S., Reddy, D. M., & Reddy, M.** (2018, April). Low velocity impact analysis on composite structures—A review. In *AIP conference proceedings* (Vol. 1943, No. 1). AIP Publishing.
- Pereira, J. M., Campos, J., & Lourenço, P. B.** (2015). Masonry infill walls under blast loading using confined underwater blast wave generators (WBWG). *Engineering Structures*, 92, 69-83.
- Pereira, J. M., & Lourenço, P. B.** (2017). Experimental characterization of masonry and masonry components at high strain rates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(2), 04016223.
- Piani, T. L., Weerheijm, J., Peroni, M., Koene, L., Krabbenborg, D., Solomos, G., & Sluys, L. J.** (2020). Dynamic behaviour of adobe bricks in compression: The role of fibres and water content at various loading rates. *Construction and Building Materials*, 230, 117038.
- Pourfalah, S., Cotsovos, D. M., Suryanto, B., & Moatamedi, M.** (2018). Out-of-plane behaviour of masonry specimens strengthened with ECC under impact loading. *Engineering Structures*, 173, 1002-1018.
- Rafsanjani, S. H., Lourenço, P. B., & Peixinho, N.** (2015). Dynamic interface model for masonry walls subjected to high strain rate out-of-plane loads. *International Journal of Impact Engineering*, 76, 28-37.
- Rafsanjani, S. H., Lourenço, P. B., & Peixinho, N.** (2015). Implementation and validation of a strain rate dependent anisotropic continuum model for masonry. *International Journal of Mechanical Sciences*, 104, 24-43.
- Sari, A., & Barker, D.** (2008). Blast Response of Portable Buildings in Petrochemical Facilities. In *Structures Congress 2008: Crossing Borders* (pp. 1-10).
- Sari, A., Whitney, M., & Sawruk, W.** (2009). Blast analysis and retrofit of structures in industrial facilities. In *Structures Congress 2009: Don't Mess with Structural Engineers: Expanding Our Role* (pp. 1-13).
- SDDS** (2002). The Design Of Helical Extension Springs. *The Institute of Spring Technology Ltd.*
- Shi, Y., Wang, J., & Cui, J.** (2020). Experimental studies on fragments of reinforced concrete slabs under close-in explosions. *International Journal of Impact Engineering*, 144, 103630.
- Sielicki, P. W., & Łodygowski, T.** (2019). Masonry wall behaviour under explosive loading. *Engineering failure analysis*, 104, 274-291.

- Smith, N. L., Tait, M. J., El-Dakhakhni, W. W., & Mekky, W. F.** (2016). Response analysis of reinforced concrete block infill panels under blast. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(6), 04016059.
- Starr, C. M., & Krauthammer, T.** (2005). Cladding-structure interaction under impact loads. *Journal of Structural Engineering*, 131(8), 1178-1185.
- Stewart, L. K., Freidenberg, A., Rodriguez-Nikl, T., Oesterle, M., Wolfson, J., Durant, B., & Hegemier, G. A.** (2014). Methodology and validation for blast and shock testing of structures using high-speed hydraulic actuators. *Engineering Structures*, 70, 168-180.
- Tamai, H., Sonoda, Y., & Bolander, J. E.** (2020). Impact resistance of RC beams with reinforcement corrosion: Experimental observations. *Construction and building materials*, 263, 120638.
- Tan, K. H., & Patoary, M. K. H.** (2009). Blast resistance of FRP-strengthened masonry walls. I: approximate analysis and field explosion tests. *Journal of Composites for Construction*, 13(5), 422-430.
- Thiagarajan, G., & Reynolds, K.** (2017). Experimental behavior of High-Strength concrete one-way slabs subjected to shock loading. *ACI Structural Journal*, 114(3), 611.
- TS** (2003). *Ağır hizmet duvar kaplamaları - Deney metotları* (TS 5228-3-2). Alındığı yer <https://intweb.tse.org.tr>.
- Turgut, P., Gurel, M. A., & Pekgokgoz, R. K.** (2013). LPG explosion damage of a reinforced concrete building: A case study in Sanliurfa, Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 32, 220-235.
- Uyaner, M., & Kara, M.** (2007). Dynamic response of laminated composites subjected to low-velocity impact. *Journal of Composite materials*, 41(24), 2877-2896.
- Wang, S. Y., Sloan, S. W., Abbo, A. J., Masia, M. J., & Tang, C. A.** (2012). Numerical simulation of the failure process of unreinforced masonry walls due to concentrated static and dynamic loading. *International Journal of Solids and Structures*, 49(2), 377-394.
- Wei, J., Li, J., & Wu, C.** (2020). Behaviour of hollow-core and steel wire mesh reinforced ultra-high performance concrete columns under lateral impact loading. *International Journal of Impact Engineering*, 146, 103726.
- Wei, X., & Hao, H.** (2009). Numerical derivation of homogenized dynamic masonry material properties with strain rate effects. *International Journal of Impact Engineering*, 36(3), 522-536.
- Wei, X., & Stewart, M. G.** (2010). Model validation and parametric study on the blast response of unreinforced brick masonry walls. *International journal of impact engineering*, 37(11), 1150-1159.
- Wu, B., & Xu, S.** (2014). Experimental study on damage evaluation of stainless steel-reinforced concrete piers under lateral impact. *Advances in Mechanical Engineering*, 12(5), 1687814020924886.

- Yan, J., Liu, Y., Xu, Z., Li, Z., & Huang, F.** (2020). Experimental and numerical analysis of CFRP strengthened RC columns subjected to close-in blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 146, 103720.
- Zanuy, C., & Ulzurrún, G. S. D.** (2020). Impact Resisting Mechanisms of Shear-Critical Reinforced Concrete Beams Strengthened with High-Performance FRC. *Applied Sciences*, 10(9), 3154.
- Zhang, C., Gholipour, G., & Mousavi, A. A.** (2020). Blast loads induced responses of RC structural members: State-of-the-art review. *Composites Part B: Engineering*, 195, 108066.
- Zhang, D., Yao, S., Lu, F., Chen, X., Lin, G., Wang, W., & Lin, Y.** (2013). Experimental study on scaling of RC beams under close-in blast loading. *Engineering Failure Analysis*, 33, 497-504.



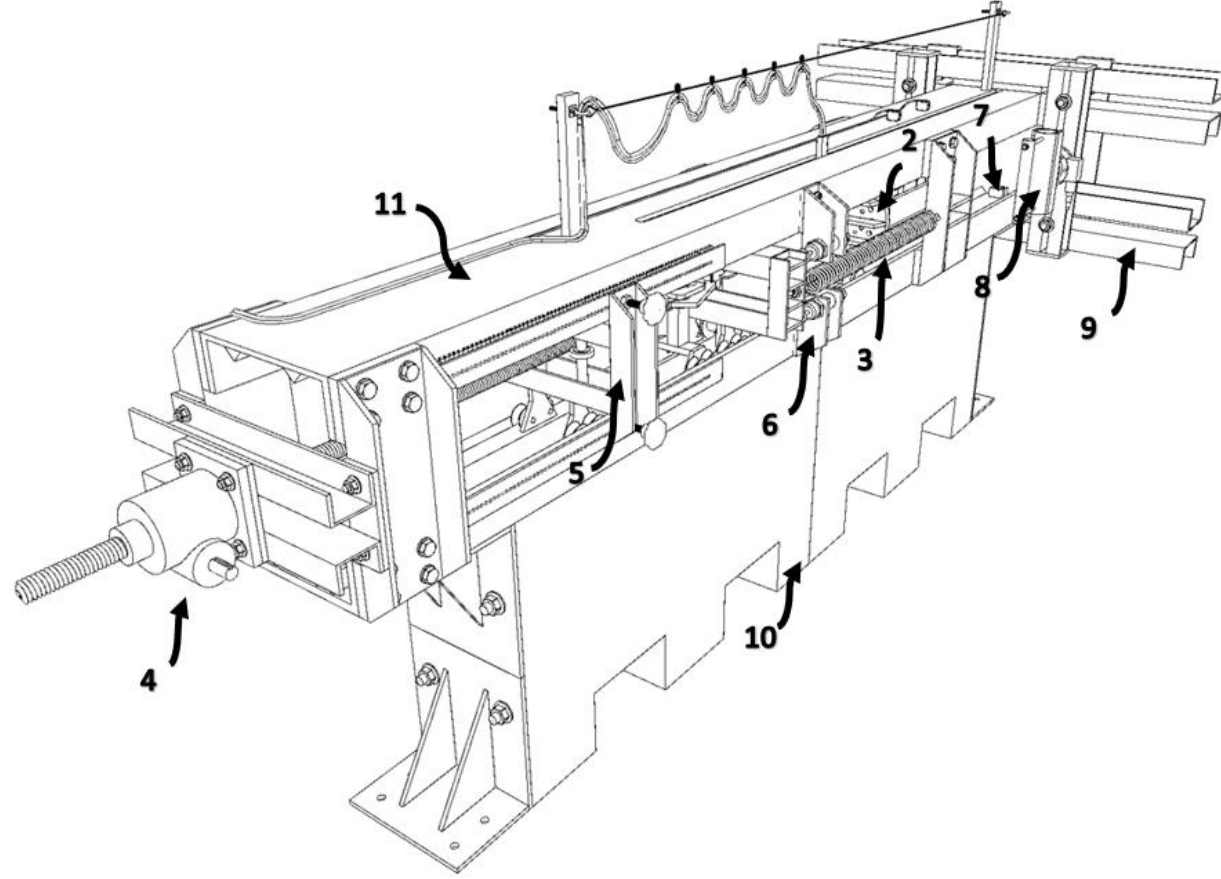


EKLER

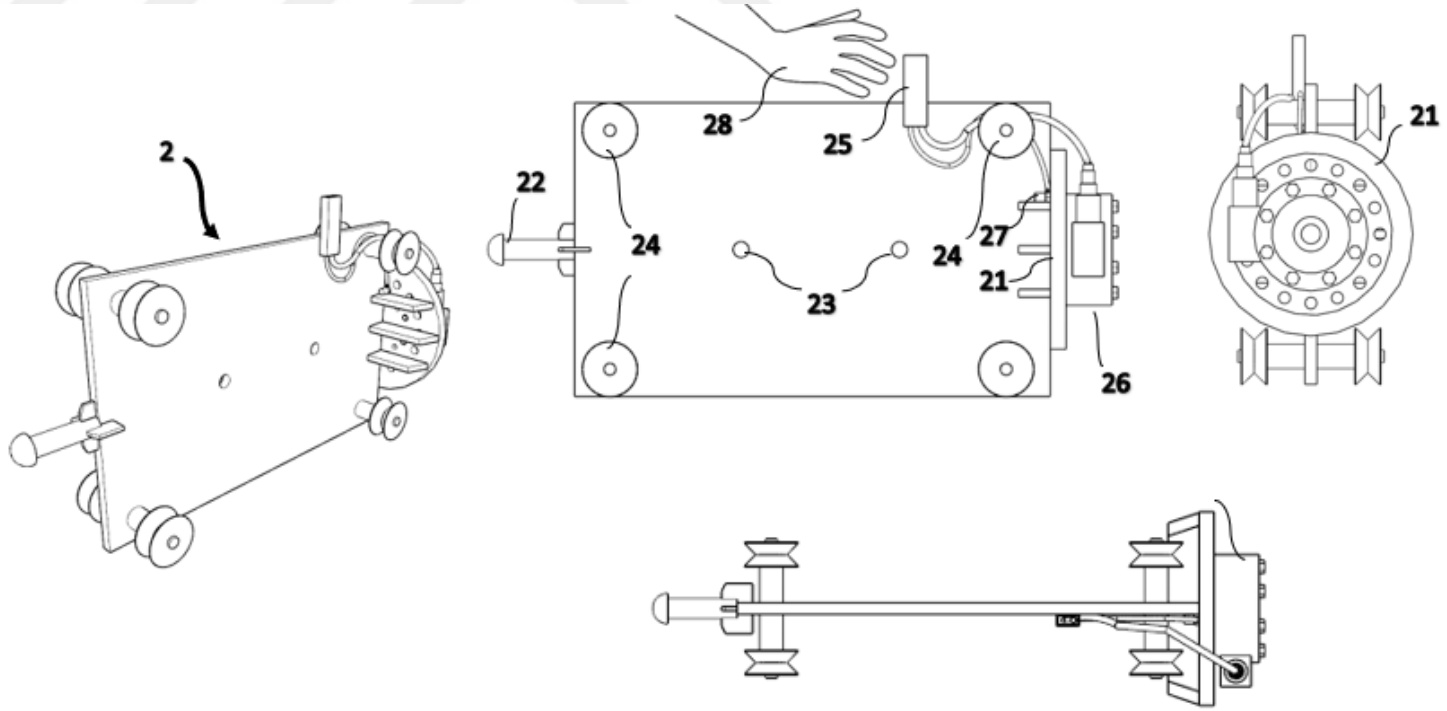
EK A : Yaylı Üniversal Darbe Deney Cihazı Çizimleri



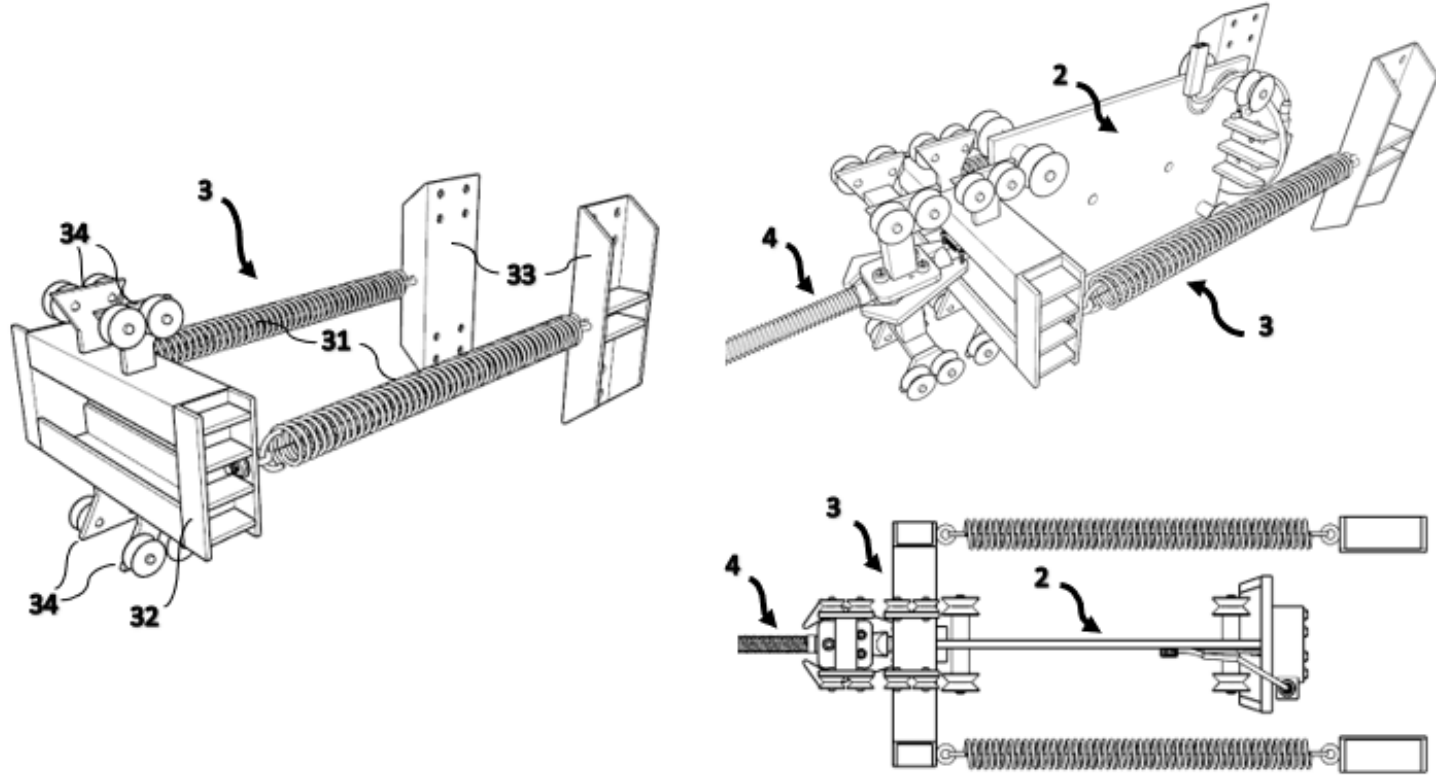
EK A : Yaylı Üniversal Darbe Deneý Cihazý Çizimleri



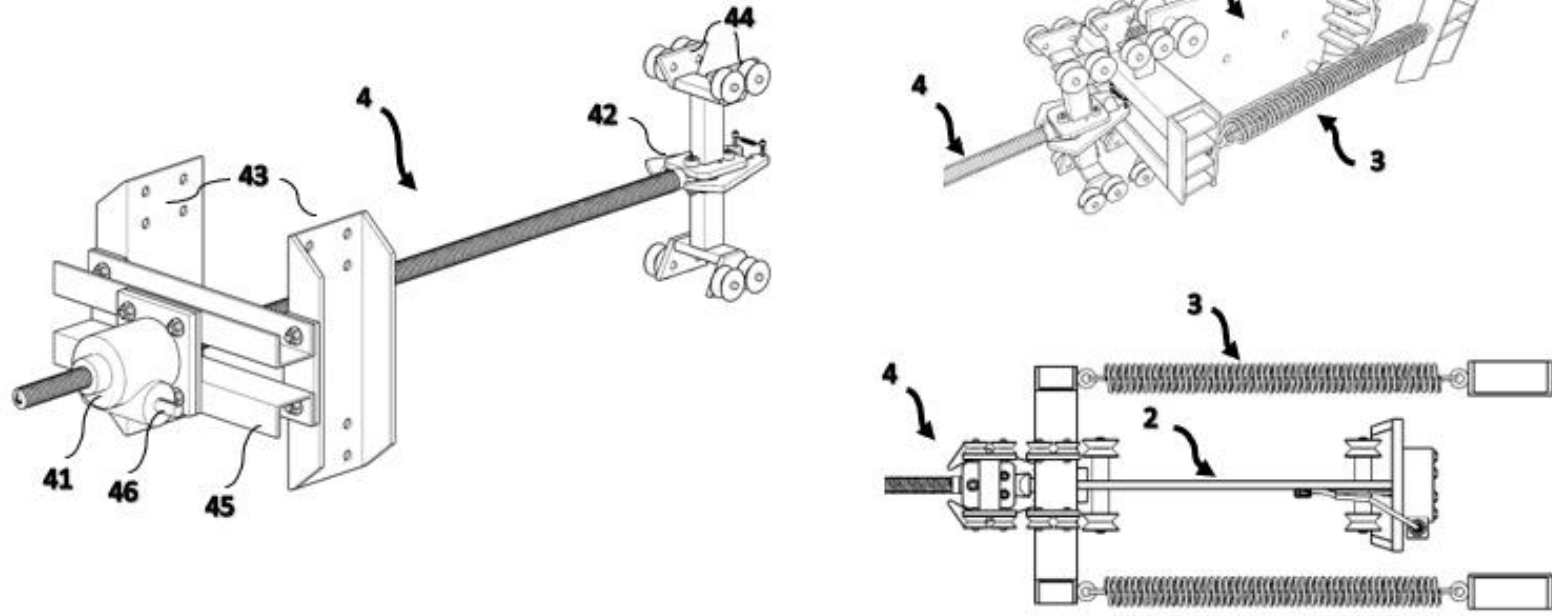
Şekil A.1 : Yaylı Üniversal Darbe Deneý Cihazý Önden Görünüm.



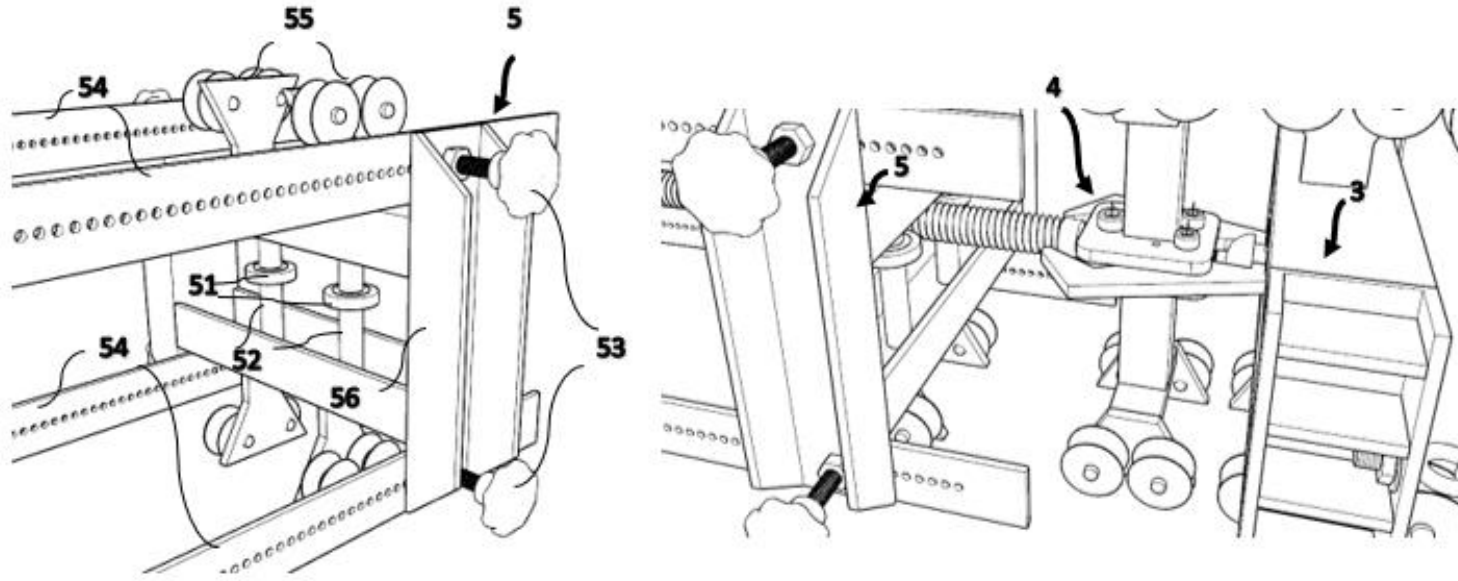
Şekil A.2 : Darbe arabası.



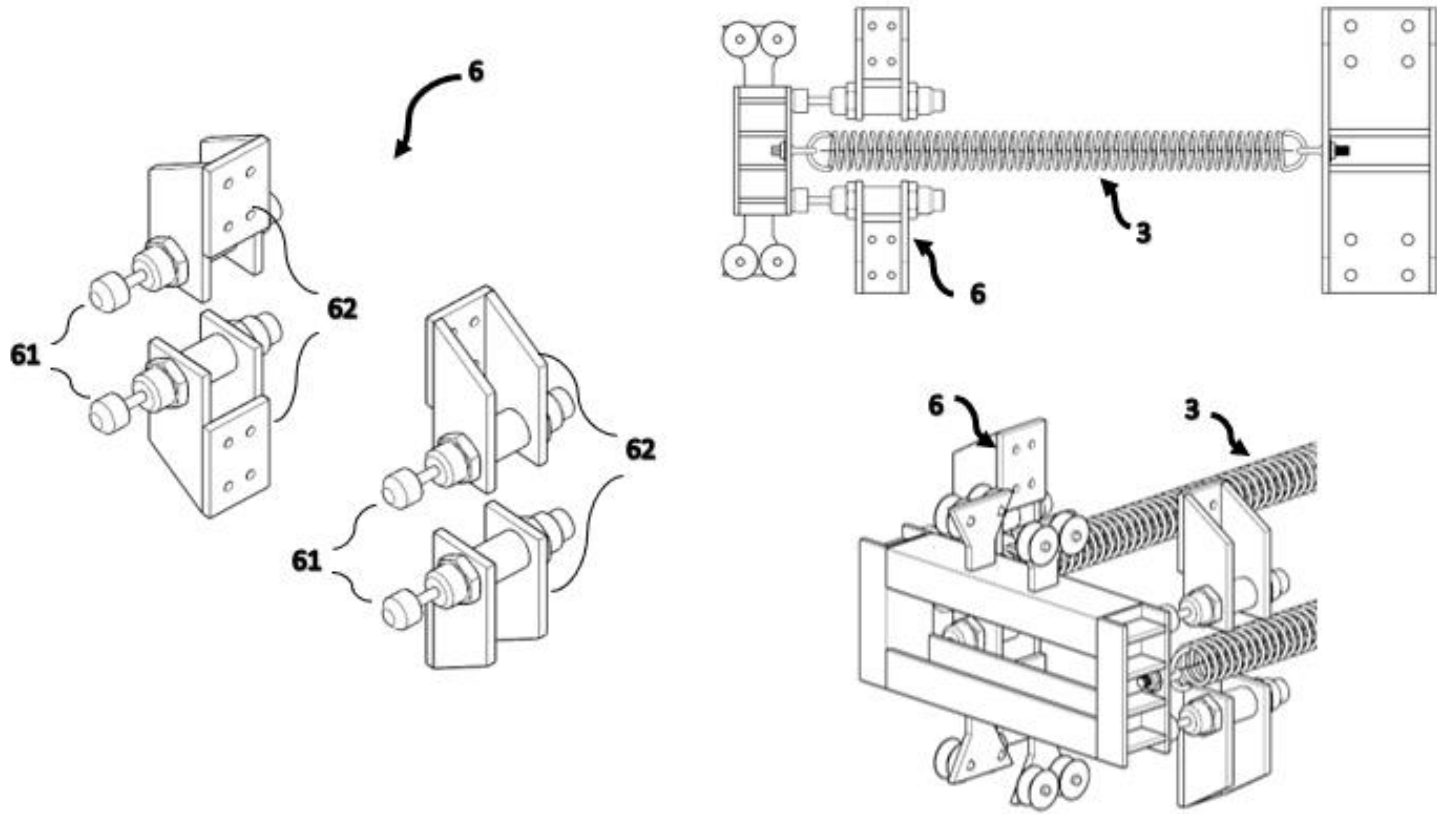
Şekil A.3 : Yaylı fırlatma sistemi.



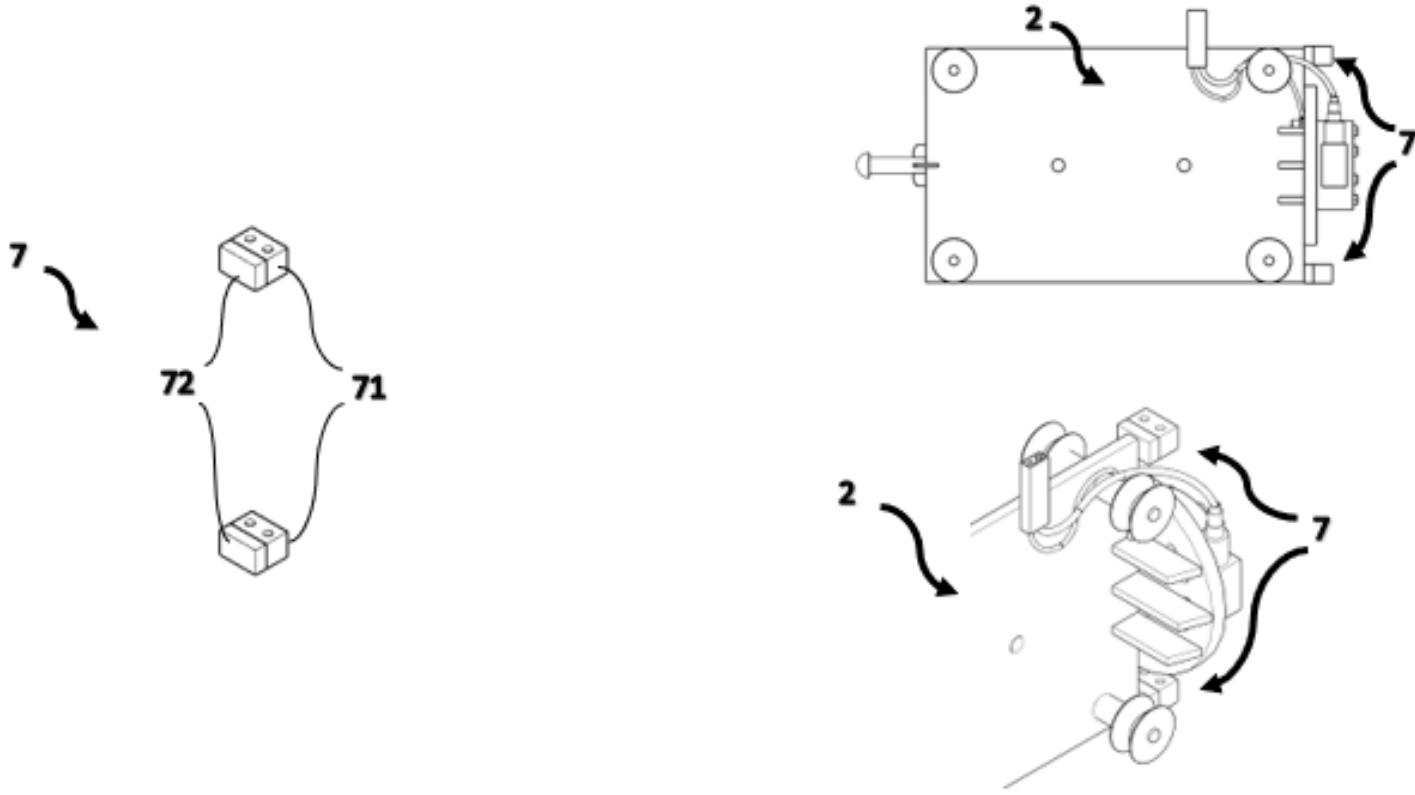
Şekil A.4 : Kanca ve yay gerdirme sistemi.



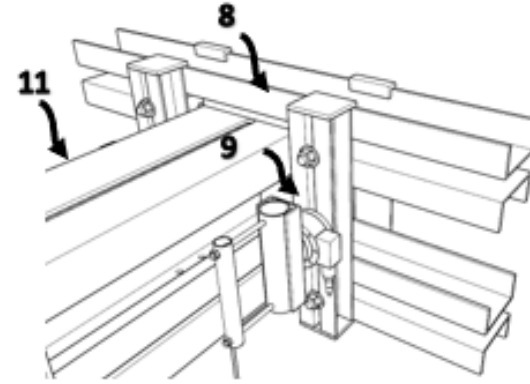
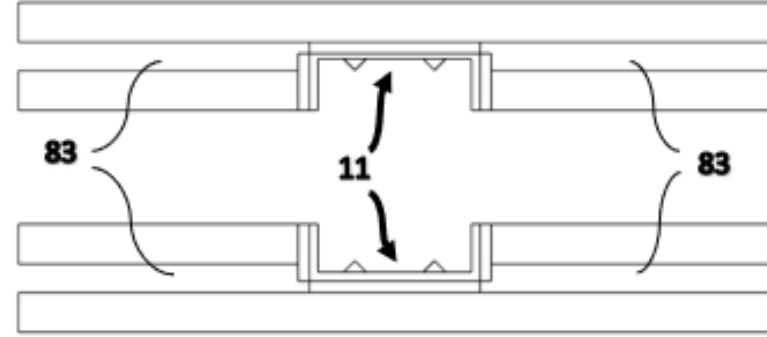
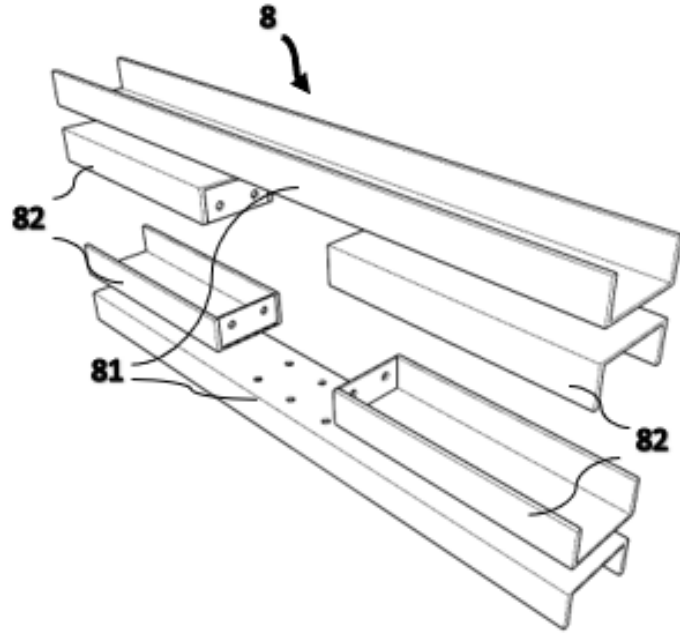
Şekil A.5 : Yay gerdirme mesafesi ayarlama ve kanca açma sistemi.



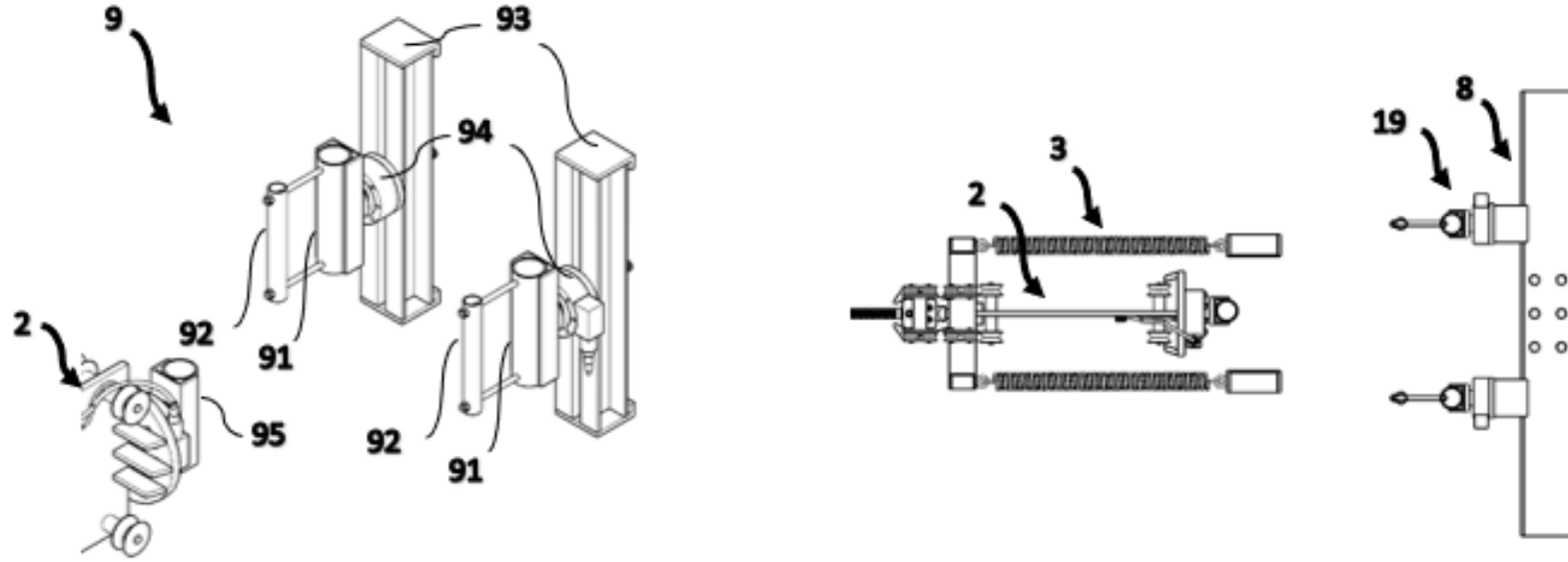
Şekil A.6 : Darbe emici sistem.



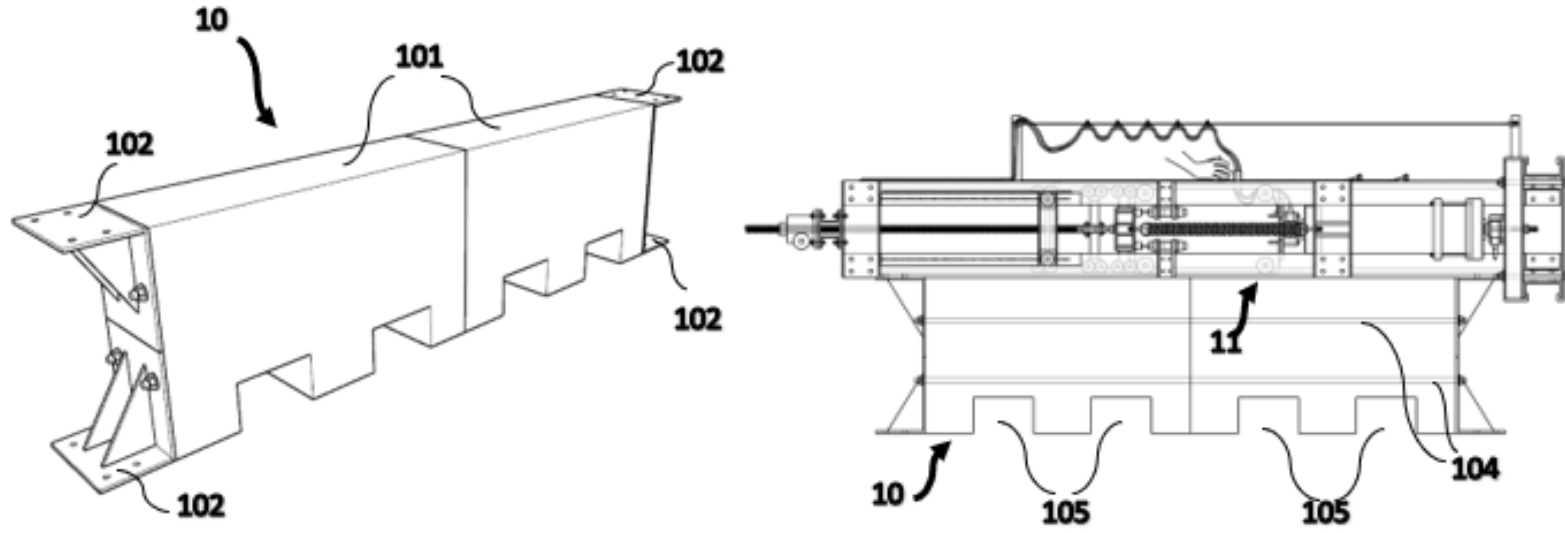
Şekil A.7 : Raydan çıkış bariyeri.



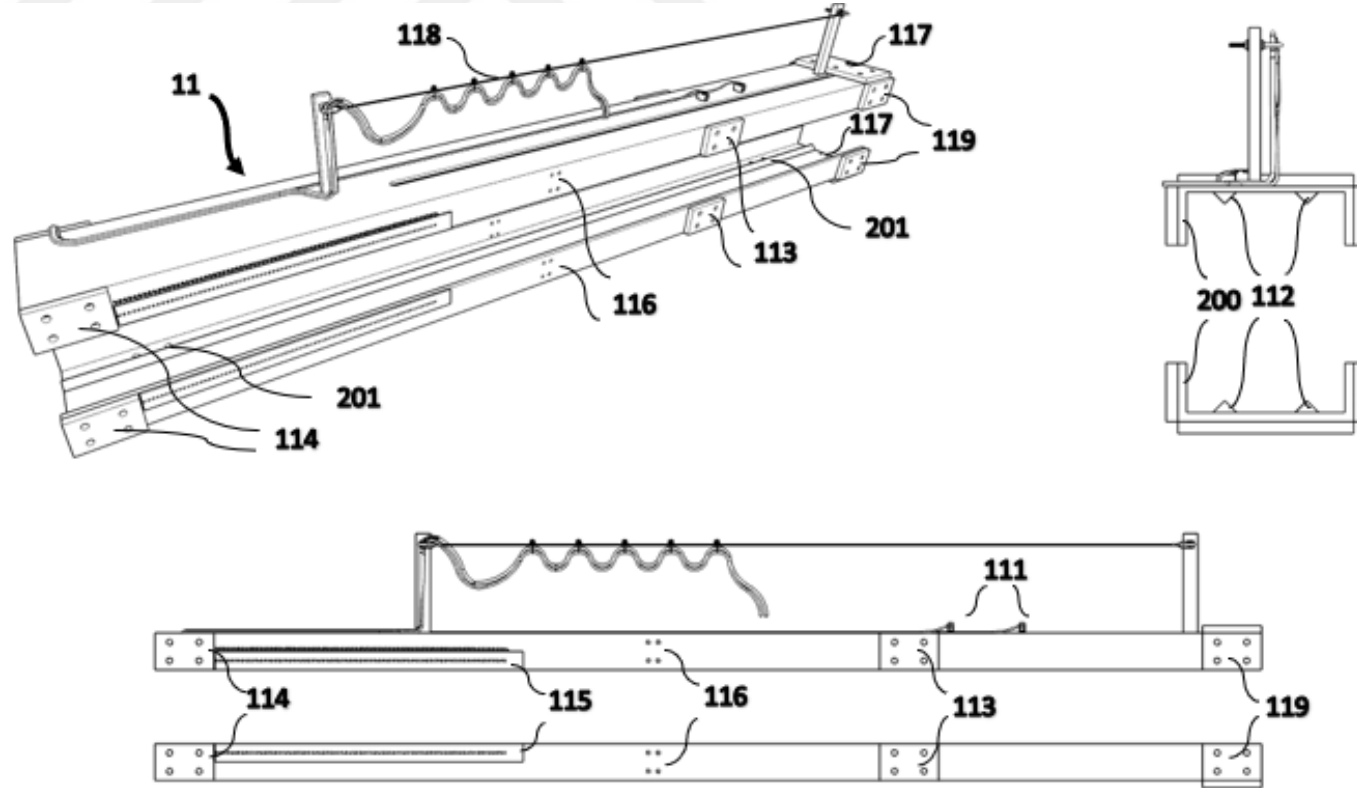
Şekil A.8 : Numune ana montaj çerçevesi.



Şekil A.9 : Üç noktalı yükleme sistemi.



Şekil A.10 : Geri tepme önleyici sistem.



Şekil A.11 : Doğrusal hareket çerçevesi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mesut KÜÇÜK

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2018, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Yapı Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2018 yılları arasında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Bölümünde asistanlık yaptı.
- 2018-2025 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde asistanlık yaptı.
- 2025-Halen Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Bölümünde asistanlık yapmakta.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Küçük, M.**, Hejazi, M., & Sari, A. (2024). A Novel Spring-Actuated Low-Velocity Impact Testing Setup. *Applied System Innovation*, 7(6), 108.
- **Küçük, M.**, & Sarı, A., (2024). Yaylı Üniversal Darbe Deney Cihazı *T.R. Ankara: Türk Patent ve Marka Kurumu*. Patent No: 2022 010390

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Pourmohammad Sorkhab, A., **Küçük, M.**, & Sari, A. (2021), Effects of mortar compressive strength on out of plane response of unreinforced masonry walls, *Revista De La Construcción. Journal of Construction*, 20(2), 371–381.
- Hejazi, M., **Küçük, M.**, & Sari, A. (2022), Analysis of Impact-Induced Fracture of Laminated Glass Using Multi-Objective Genetic Algorithm, *Structures Congress*
- Özkal F.M., ve **Küçük M.** (2017) Güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistem tasarımı için yapısal eniyileme yaklaşımı, *7th international symposium on steel structures, Gaziantep, Turkey*, pp 270–280