

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
2022-YL-003

SUNİ DOLU YAPIMI VE ÇELİK PANELLER ÜZERİNDE
ÇARPMA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

MOHAMMAD DAWOOD SIZAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Eren UZ

AYDIN-2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca teşvik ve desteğini esirgemeyen ve bu deneysel çalışmanın şekillenip ortaya çıkmasında, bilgi, birikim ve katkılarıyla bana rehberlik eden öncelikle değerli tez danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Eren UZ'a ve diğer hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerim sırasında bana yardım eden makine mühendisliği yüksek lisans öğrencisi Gökalp YILMAZ, inşaat mühendisliği yüksek lisans öğrencisi Meryem Dilara KOP ve inşaat mühendisliği lisans öğrencisi Efe Mert YILDIRIM'a çok teşekkür ediyorum.

Paha biçilmez maddi ve manevi destekleriyle öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma Adnan Menderes Üniversitesi BAP projeleri MF-17022 ve MF-18004 kapsamında desteklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Konunun Kapsamı ve Geçmiş Deneyimler	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Literatür Araştırması	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Doğal Dolu	13
3.1.1. Doğal Dolunun Oluşum Süreci	13
3.1.2. Dolu Yağışları	14
3.1.3. Dolunun Doğaya Verdiği Zararlar.....	14
3.1.4. Türkiye’de Dolu Yağışlarının Verdiği Zararlar.....	15
3.1.5. Dolu Tanesinin Hızı	16
3.2. Yapay Dolunun Üretimi	18
3.2.1. Gerçekçi Bir Yapay Dolu Üretmek için Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	18
3.2.2. Sağlam Bir Yapay Dolu Yapma Yöntemleri.....	19

3.2.3. Yapay Dolu Üretiminde Kullanılan Kalıplar.....	19
3.2.4. Bu Çalışmada Üretilen Yapay Dolu Çeşitleri ve Kullanılan Malzemeler.....	20
3.2.4.1. Demineralize Su ile Yapay Dolu Üretimi.....	22
3.2.4.2. Pamuklu Yapay Dolu Üretimi	23
3.2.4.3. Sıvı Nitrojen ile Yapay Dolu Üretimi.....	24
3.2.4.4. %12 PVA ile Yapay Dolu Üretimi	27
3.2.5. Yapay Doluda Mevcut Olan Standartlar	29
3.2.5.1. Mevcut Standartların Test Yöntemleri ve Prosedürleri.....	29
4. BULGULAR	32
4.1. Dinamik Dolu Testi için Amaca Uygun Ekipman.....	32
4.1.1. Dolu Fırlatıcı (Basıncılı Silah)	32
4.1.2. Koruyucu Ünite	35
4.1.3. Yüksek Hızlı Kamera	36
4.1.4. Lazer Hızölçer	36
4.1.5. ADÜ Laboratuvarı Test Düzenegi.....	37
4.1.6. ADÜ Laboratuvarı Dinamik Dolu Çarpma Test Prosedürü	39
4.1.7. ADÜ Laboratuvarında Testlerde Kullanılan Çelik Levhalar	39
4.1.8. Çekme Deneyi	40
4.1.9. Çekme Deneyinin Yapılış Prosedürü	42
4.1.9.1. Çelik Sacın Kupon Çekme Deneyi.....	42
4.2. Dinamik Dolu Etki Deneyi	46
4.3. Mevcut Yapay Dolunun Doğrulanması.....	46
4.4. Darbe Hızının Ölçümü	46
4.5. Çukur Boyutu ve Çukur Derinliğinin Ölçümü	49
5. TARTIŞMA.....	52
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	61

6.1. Sonuçlar	61
6.2. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler	62
KAYNAKLAR.....	63
EKLER	66
EK 1. (0.30 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı ve azotlu doluların atış sonuçları)	66
EK 2. (0.60 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı ve azotlu doluların atış sonuçları).....	69
EK 3. (0.70 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı ve azotlu doluların atış sonuçları)	71
EK 4. (0.80 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı doluların atış sonuçları).....	74
EK 5. (1.00 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı doluların atış sonuçları).....	76
BİLİMSEL ETİK BEYANI.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Dolu tanesinin havaya temas eden alanı.
C	: Havanın direnç katsayısı.
E	: Elastisite modülü
F	: Kuvvet
f_u	: Çekme dayanımı
f_y	: Akma dayanımı
L_0	: Numunenin orjinal uzunluğu
N	: Sıvı nitrojen kimyasal simgesi
N₂	: Sıvı nitrojenin molekül hali
PVA	: Polivinil Alkol
V_0	: Dolunun atış hızı
V_t	: Dolu tanesinin düşerken erişebileceği limit hız değeri.
W	: Dolu tanesinin ağırlığı.
ρ	: Havanın ortalama yoğunluğu.
σ	: Gerilme
σ_a	: Akma gerilmesi
$\sigma_{\check{c}}$: Çekme gerilmesi
ϵ	: Birim şekil değiştirme
ΔL	: Numunenin uzama miktarı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye'de 1970-2012 yılları arasında yaşanmış doğal afetler	2
Şekil 1.2. Antalya bölgesinde 2002'de meydana gelen doğal afetler	2
Şekil 2.1. Doğal dolu ve dolu çekirdeğinin oluşumu (https://havaninotlari.wordpress.com)	14
Şekil 4.1. Kuvvet altında birim uzama eğrisi	41
Şekil 4.2. Düşük karbonlu çelik ile yüksek karbonlu çeliğin yük altındaki diyagramı.....	42
Şekil 4.3. Çekme kuponun boyluları	43
Şekil 4.4. Çekme deneyinde elde edilen kuvvet-uzama eğrisi	45
Şekil 4.5. Gaz tabancası basıncı ile çarpma hızının arasındaki ilişki.....	49
Şekil 5.1. Bu çalışmada test edilen saf dolu ile pamuklu dolunun göçük derinliği ve göçük çapları arasındaki karşılaştırma	58
Şekil 5.2. Bu çalışmada test edilen PVA'lı dolu ile azotlu dolunun dent derinliği arasındaki karşılaştırma	59
Şekil 5.3. Bu çalışmada test edilen PVA'lı dolu ile azotlu dolunun dent çapı arasındaki karşılaştırma	59

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1. Dolunun verdiği hasarlar (İstanbul-27-Temmuz-2017-dolu-yağışı)	16
Resim 3.1. Yapay dolu üretiminde en yaygın kalıplar.....	20
Resim 3.2. Yapay dolu yapımında kullanılan malzemeler	21
Resim 3.3. Demineralize su ile yapılan dolu.....	23
Resim 3.4. Bu çalışmada üretilen pamuklu dolu.....	24
Resim 3.5. Bu çalışmada üretilen sıvı nitrojenli dolular	26
Resim 3.6. Sıvı nitrojenli dolu üretiminde kullanılan malzemeler	27
Resim 3.7. Bu çalışmada %12 PVA ile üretilen tipik yapay dolular	28
Resim 3.8. Erime ilerledikten sonra%12 PVA malzeme içeren özel bir yapay dolu tanesi	29
Resim 4.1. Dolu fırlatıcıyı oluşturan unsurlar.....	34
Resim 4.3. Koruyu ünitesi (?)	35
Resim 4.4. Lazer hızölçer.....	36
Resim 4.5. MATLAB aracılığıyla ARDUINO kartı kullanılarak tasarlanmış hız sensörleri.....	37
Resim 4.6. ADÜ laboratuvarı deney kurulumu	38
Resim 4.7. Çekme testi ekipmanı.....	44
Resim 4.8. Çelik saclardan kesilen kupon numuneleri	44
Resim 4.8. Yüksek hızlı kamera ve deney kurulumu.....	47
Resim 4.9. 38 mm çapında %12 PVA'lı dolunun, 43.5 psi'lik basınç etkisindeki görüntüsü	48
Resim 4.10. Çelik panel üzerinde oluşan çukur çapı	50
Resim 4.11. Çelik panel üzerinde oluşan çukur derinliği	51
Resim 5.1. Çelik panel üzerinde oluşan çukur derinliği ve çukur çapı.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Dolu terminal hızı Laurie (1960)	17
Çizelge 3.2. Bu çalışmada üretilen dolunun üç farklı standartla karşılaştırılması	31
Çizelge 4.1. Dinamik darbe deneyin kullanılan çelik plaklar	40
Çizelge 4.2. Çelik sacın kupon çekme deneyinden elde edilen malzeme özellikleri.....	45
Çizelge 5.1. Bu çalışmada test edilen yapay doluların malzeme özelliği, boyutları, uygulanan basınç ve test sayısı	53
Çizelge 5.2. Bu çalışmada test edilen yapay dolu tanelerinin niteliksel özelliklerinin karşılaştırması	55

ÖZET

SUNİ DOLU YAPIMI VE ÇELİK PANELLER ÜZERİNDE ÇARPMA ETKİSİNİN ARAŞTIRMASI

Sızır M. D., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 2021.

Amaç: Bu araştırmanın amacı, suni dolunun çelik çatı panellerinin üzerindeki çarpma etkisini araştırmak için dinamik darbe testi yaparak çelik saclar üzerinde oluşan göçük derinliklerini ve göçük çaplarını incelemektir.

Materyal ve Yöntem: Yapılan deneysel çalışmada çelik çatı kaplamalarında oluşan dolu hasarını incelemek için demineralize su ve diğer malzemelerin birleşimi ile terminal hızlarında çelik saca çarptıktan sonra kırılmadan kalan yapay dolu üretmek için yeni metodlar geliştirilmiştir. Bu deneysel çalışmada, dört farklı dolu üretim yöntemi incelenmiştir. Yapay dolu tanelerinin kırılma mukavemetini artırmak için PVA (polivinil alkol), azot, pamuk ve saf su kullanılmıştır. Bu yöntem ve malzemelerin kullanımı doğal dolunun fiziksel özelliklerine önemli ölçüde benzerlik sağlamıştır. Bu çalışmada, çelik kalite sınıfı G300 seçilmiş, çelik saclar 0.35, 0.45, 0.60, 0.70, 0.80 ve 1.00 mm'lik kalınlıklarda kullanılmış, belirlenen çarpma hızlarında yedi farklı boyutta dinamik dolu çarpma testleri gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Yapılan araştırma sonucunda dört farklı yapay dolu üretilerek çelik plakalar üzerinde dinamik darbe testi yapılmıştır. Sıvı nitrojenli dolular ile %12 PVA'lı doluların, pamuklu ve saf suyla yapılan dolulara göre kırılmama özelliği daha yüksek ve doğal dolunun karakteristik özelliklerine daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç: Bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, çukur derinliğinin sac kalınlığı, çarpma hızı ve dolu çapı ile doğrusal orantılı olduğu, çukur çapının ise sadece dolu çapı büyüdükçe arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çelik saclardaki çukur çapının levha kalınlığından etkilenmediği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Dolu, Polivinil Alkol (PVA), Suni Dolu, Dinamik Darbe.

ABSTRACT

MAKING ARTIFICIAL HAILSTONE AND EXAMINING THEIR IMPACT ON STEEL PANELS

Sizar M. D., Aydin Adnan Menderes University, Graduate School of Natural and Applied Science, Civil Engineering Program, Master's Thesis, Aydin, 2021.

Objective: The aim of this research is to examine the dent depths and dent diameters on the steel sheets by performing the dynamic impact test to investigate the impact effect of artificial hailstone on the steel roof panels.

Material and Methods: In this experimental study, new methods have been developed to produce artificial hailstone that remains intact after hitting the steel plate at terminal speeds with a combination of demineralized water and other materials to examine the hailstone damage in steel roof panels. In this experimental study, four different hail production methods were investigated. PVA (polyvinyl alcohol) adhesive, liquid nitrogen, cotton and demineralized water were used to increase the tensile strength of artificial hailstones. The use of these methods and materials provided a significant similarity to the physical properties of the natural hailstone. In this study, steel grade G300 was selected, steel sheets were used in thicknesses of 0.35, 0.45, 0.60, 0.70, 0.80, and 1.00 mm, and dynamic hailstone impact tests were performed in seven different sizes at the determined impact speeds.

Results: As a result of the research, four different artificial hailstones were produced and a dynamic impact test was carried out on steel plates. It has been observed that liquid nitrogen hailstone and 12% PVA hailstones are more unbreakable and closer to the characteristics of natural hailstone than cotton and demineralized water hailstone.

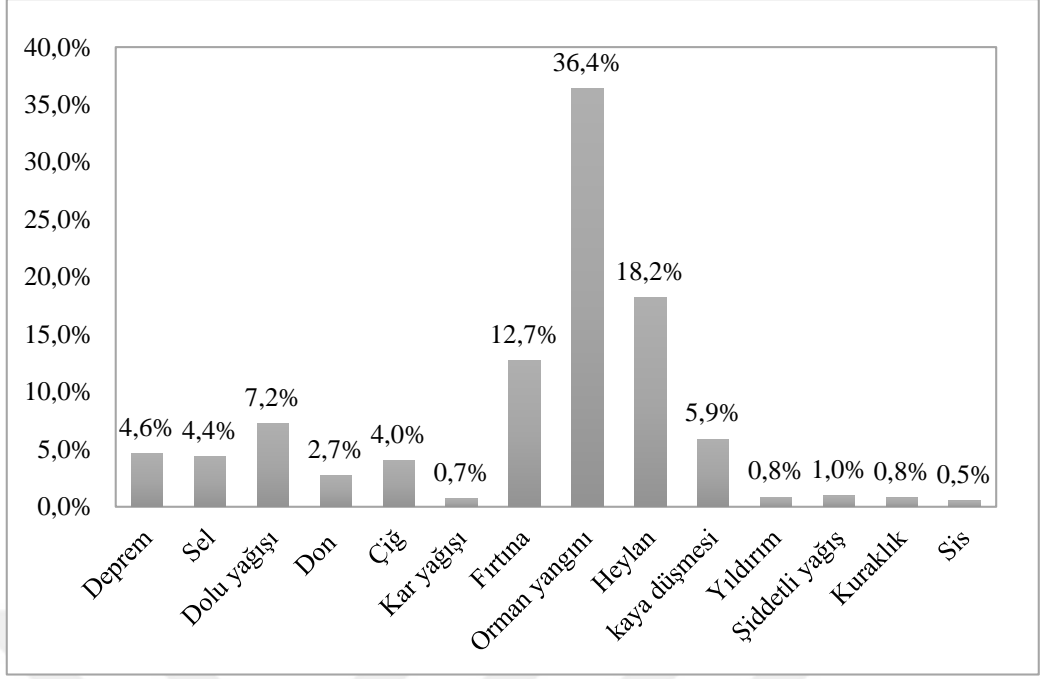
Conclusion: According to the results obtained from this experimental study, it was observed that the dent depth was linearly proportional to the plate thickness, impact velocity, and hail diameter, while the dent diameter increased only as the hail diameter increased. In addition, it is seen that the diameter of the dent in the plate is not affected by the plate thickness.

Keywords: Natural Hailstone, Polyvinyl Alcohol, Artificial Hailstone, Dynamic Impact.

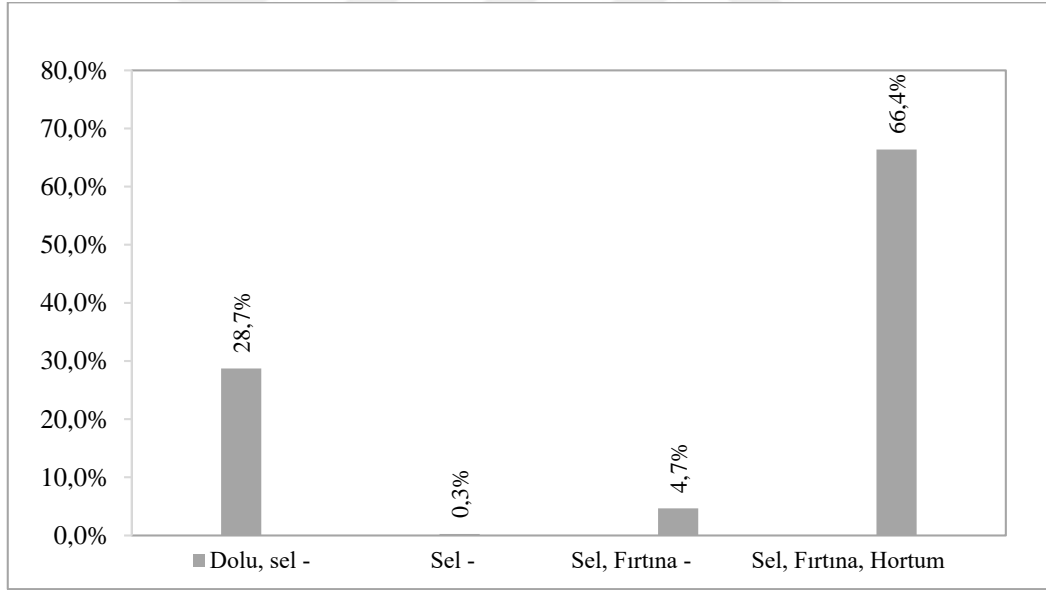
1. GİRİŞ

1.1. Konunun Kapsamı ve Geçmiş Deneyimler

Dolu fırtınaları her yıl milyonlarca lira para kaybına neden olmaktadır. Dolu yağışının önlenememesi geçmişten günümüze hep bir sorun olmuştur. İnsanları maddi ve manevi yönden olumsuz yönde etkileyen bu doğal afetin verdiği zararı azaltma amacı ile üniversiteler, özel laboratuvarlar, araba firmaları ve sigorta şirketleri gibi kurumlar çalışmalar yapmaktadır. Dolu yağışı nedeniyle oluşan hasarlar, deprem ve diğer doğal afetlerden kaynaklanan hasarlarla aynı seviyede olabilmektedir. Ancak, dolu yağışlarından kaynaklanan can kaybı az olduğundan, birçok ülkede ve Türkiye inşaat yönetmeliğinde dolu maliyetleri için herhangi bir tazmin hükmü bulunmamaktadır. Avustralya'nın Sydney kentinde 14 Nisan 1999'da meydana gelen bir dolu fırtınası, şehrin merkezi ticaret bölgesi dâhil olmak üzere birçok bölgede ciddi hasarlara neden olmuştur (Henri, 1999; Bureau of Meteorology of Australia, 1999). Bu dolu yağışının faturası, sigortalı ve sigortasız hasar yaklaşık 4 milyar dolar olarak belirlenmiştir. İstanbul'da 27 Temmuz 2017'de meydana gelen dolu yağışının sigortalı ve sigortasız hasarı yaklaşık 1 milyar liraya ulaşmıştır (Türk ve Kuşçu, 2017). 1967'den 2003'e kadar Avustaralya'daki doğal afetlerden kaynaklanan ekonomik kayıpların %34'ünü dolu hasarı oluşturmaktadır (Blong, 2004). İklim değişikliğinin etkileri ile birlikte dolu fırtınalarında can ve mal kaybının artacağı tahmin edilmektedir (Basara vd., 2007; Leslie vd., 2008). 1970'ten 2012'ye kadar Türkiye'de yaşanmış doğal afetler üzerine bir araştırma değerlendirmesine göre 14 doğal afet arsında %7.2 ile en fazla meydana gelen dördüncü doğal afet olarak belirlenmiştir (Özşahin, 2013). 1995 ila 2004 yılları arasında Antalya bölgesinde meydana gelen beş doğal afetin yaklaşık %10'unu dolu fırtınası oluşturmaktadır. Antalya'da 2002 yılında meydana gelen dolu yağışının maddi zararı birkaç milyon lira olarak belirlenmiştir (Kafalı Yılmaz, 2008). Şekil 1.1'de Türkiye'de 1970-2012 yılları arasında yaşanmış doğal afetlerin yüzdeliğini gösterilmektedir. Şekil 1.2'de ise Antalya bölgesinde 2002'de meydana gelen doğal afetlerin yüzdelik oranı gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye'de 1970-2012 yılları arasında yaşanmış doğal afetler



Şekil 1.2. Antalya bölgesinde 2002'de meydana gelen doğal afetler

Doğal dolunun fiziksel özelliklerini temsil eden suni dolu üretebilmek için araştırmacılar geçmişten günümüze kadar bir hayli zorluk çekmişlerdir. Doğal dolu oluşum sürecinde içten dışa donarken, yapay dolu üretim sürecinde dıştan içe doğru donmaktadır. Suni dolunun çekirdek kısmı donarken içine sıkışmış hava kabarcıkları dış tabaka nedeniyle kaçamaz. Doğal dolunun yapısında sıkışan hava kabarcıklarının olmasına rağmen tanenin her

yerinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Suni dolunun içinde sıkışan hava kabarcıklar sınırlı bir alanda kalmaları nedeniyle zayıf bir nokta oluşturmaktadır. Liu ve Miller (1979), tatlı su buzunun kırılma mukavemetinin hem yük oranını hem de sıcaklığını düşürerek artırdığını bulmuşlardır. Tane büyüklüğü dolunun mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir (Sain ve Narasimhan, 2011). Crenshaw ve Koontz (2002), büyük çaplı doluların %75'inden fazlasının küresel bir şekle sahip olduğunu bulmuşlardır. Dolu tanesinin ortalama yoğunluğu 910 kg/m³'tür (Brimelow vd., 2002; Crenshaw ve Koontz, 2002). Bilgisayar simülasyonu ve laboratuvar testlerinde kullanılan en yaygın dolu yoğunluğu 846 kg/m³'tür (Kim ve Kedward, 1999). Bu çalışmanın amacı, doğal dolunun karakteristik özelliklerini sağlayabilen yapay dolu üretebilmek için daha geniş kapsamlı bir araştırma yapmaktır. Daha önce yapay dolu üzerinde çalışan araştırmacılar tarafından kullanılan yapay dolular, doğal dolunun son hızlarına yakın bir hızda çelik kaplamaya çarptıktan sonra paramparça olurken, doğal dolunun bir kısmı çelik saclara çarptıktan sonra kırılmadan kalmıştır.

Bu çalışmada, çelik saclar üzerinde oluşan dolu hasarını araştırmak için başta su ve diğer malzemelerin karışımıyla terminal hızlarında çelik panellere çarptıktan sonra kırılmadan kalan suni dolu üretmek yeni yöntemler geliştirmiştir. Bu nedenle, bir çelik panelin çökme direnci, özellikle dinamik darbe etkisinde yapay dolunun çarpma davranışındaki değişkenlerine dair daha güvenilir veriler elde edildiğinde, doğru bir şekilde oluşturulabilir.

Son olarak, bu çalışmanın, gelişmiş bir laboratuvarında doğal doluyu temsil eden bir yapay dolu malzemesinin geliştirilmesine odaklanmıştır. Çünkü bina bileşenlerini derecelendirme yeteneği simüle edilmiş dolu hasarının doğruluğuna bağlıdır. Bu çalışmada, dört farklı dolu üretim yöntemi incelenmiştir. Doğal dolunun farklı katmanlarda oluşumu, doğal dolunun karakteristik özelliklerini taşıyan yapay dolu tanelerinin oluşturulmasında bir zorluk oluşturmaktadır. Yapay dolu tanelerinin gerilme mukavemetini artırmak için polivinil alkol (PVA) yapıştırıcı ve azot eklenmesi, doğal dolunun diğer fiziksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirmeden araştırılmasında etkili olmuştur. Altı farklı sac kalınlığı (0.35, 0.45, 0.60, 0.70, 0.80 ve 1.00 mm) ve G300 çelik kalite sınıfında, belirlenen çarpma hızlarında ve yedi farklı boyutta yapay dolu darbe etkisinin altında test edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Literatür Araştırması

Bu bölümde, dolunun çelik saclar, bina kaplama malzemeleri üzerindeki etkileri ile ilgili daha önce araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sunulmaktadır. Literatür araştırmasının temel amacı, dolunun çelik saclar üzerindeki etkileri ile ilgili yapılan ilgili araştırmaları incelemek ve değerlendirmektir. Bu alandaki eksikliklerin giderilmesi ve problemin anlaşılması için daha geniş kapsamlı bir araştırma yapılması amaçlanmıştır. Günümüze kadar birçok farklı araştırmacı tarafından yapay dolu yapımı ve dolu hasarı ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların en önemli olanları aşağıda verilmiştir.

Flüeler (2008), yapı malzemelerinin dolu darbe dayanımı testinin değerlendirilmesi ve sınıflandırılması üzerinde araştırma yapmıştır. Bu çalışmada, metal levhalar, çatı, metal pencereler, ahşap, cam, esnek levhalar, dış ısı yalıtımı ve bitmiş sistemler dâhil olmak üzere çeşitli yapı malzemelerinin ve bileşenlerinin dolu darbe direncine ilişkin kapsamlı bir araştırma sunulmuştur. Bu deneysel çalışmayla plastik toplardan ve buz kürelerinden simüle edilmiş dolu tanelerini metal ve cam numunelerine çarpılmasıyla oluşturulan veriler birbiriyle ilişkilendirmiştir. Ayrıca, yüksek hızlı dolu testlerinin aynı kinetik enerjiyi elde etmek için düşen çelik bilyeler kullanılarak yapılan dart darbe testi ile değiştirilemeyeceği ortaya çıkartılmıştır. Dolu darbe direnci değerleri, yüksek ve düşük modüllü malzemeler ile yapısal sertlikleri ve yüzey özellikleri arasında belirgin bir fark olduğunu göstermiştir.

Flüeler (2008), yaptığı deneysel çalışmasından elde ettiği sonuçların en önemlilerini şu şekilde sıralamıştır:

1. Bu çalışma, özellikle sigorta şirketlerince, dolu darbe dayanımı sınıf 1. ve 2.'ye giren malzemeler için önemli ölçüde dolu hasarı ödemesi yapılmış ve bu ödemelerin %80'den fazlasını saha araştırması ve yapılan gözlemler sayesinde doğrulamıştır.
2. Sert, yüksek kütleli yapı malzemelerinin bir plastik topu ile etkisi, aynı büyüklükteki bir buz küresininkinden çok daha yüksek bir kinetik enerjiye neden olur. Parçalanma enerjisi hasar süreci için mevcut değildir. Çok sert ve yüksek kütleli malzemeler için, buz küreleri, hasar için bir plastik topununkinden 15 ila 20 kat daha büyük bir kinetik enerjiye sahiptir.

Flüeler (2008), gelecekteki çalışmalar için şunları söylemiştir: Bina çatıları için kullanılan malzeme ve sistemlerin çeşitliliği nedeniyle, doğal dolunun son hızında çarpan buz küreleri kullanılarak dolu darbe direnci değerlendirmeleri yapılmalıdır. Ayrıca, bu değerlendirmeler sırasında sürdürülen kinetik enerji, dolu çarpma direnci sınıflandırma sisteminde dikkate alınmalıdır.

Tippmann (2011), dolu çarpma simülasyonu için gerilme oranına bağlı bir buz malzeme modellemesi üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Dolu buz, doğal olarak katmanlar halinde oluşmaktadır. Ancak bu doğal oluşumun kontrollü bir laboratuvar ortamında çoğaltılması çok zordur. Dolu buzunun darbe simülasyonu için gerinim hızına bağlı bir buz malzeme modeli yapılmıştır. Bu simülasyon darbe gerinim hızlarında daha önce ölçülen buz basınç dayanımı kullanılarak geliştirilmiştir. Simülasyonlar Abaqus/Explicit'te yapılmaktadır ve bu simülasyonlar bir kuvvet ölçüm çubuğu aparatı üzerinde simüle edilmiş dolu buz etkilerinin deneysel testleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada dolu simülasyonun yanı sıra bir gaz tabancası geliştirilmiştir. Gaz tabancası, sıkıştırılmış gazı sayesinde simüle edilen doluyu hızlı bir şekilde serbest bırakarak çarpma testini gerçekleştirmiştir.

Tippmann (2011), bu deneysel çalışmasında şu sonuçları elde etmiştir: Buz küresi çarpma olayının yüksek hızlı video gözlemi, çarpma sırasında simüle edilmiş dolu mermileri içindeki hasarın dinamik ilerlemesine ilişkin önemli bilgiler sağlamıştır. Simülasyonla tahmin edilen buz küresi kırılma sürecinin deneysel videolarda gözlemlenen çatlak büyümesiyle görsel bir karşılaştırması yapılmıştır ve çekme basıncı kırılma kriterinin özellikle çarpma olayının erken aşamalarında buz küresinin parçalandığını gözlemlenmesinde önemli rol oynadığını göstermiştir.

Rhymer (2012), yaptığı deneysel çalışmada, yüksek hızlı buzdan etkilenen karbon epoksi kompozit paneller için hasar miktarını araştırmıştır. Kompozit yapılara yüksek hızlı dolu etkisi karmaşık bir olaydır. Buzun ezilmesi ve kompozit panellerin aşamalı olarak başarısız olması, doğru analitik tahminler yapmak için zorluk çıkarmaktadır. Ayrıca Rhymer bu deneysel çalışmada, simüle edilmiş dolu etkilerinin T800/3900-2 karbon/epoksi yarı-izotropik bant laminatları üzerindeki davranışını incelemiştir.

Rhymer (2012), deneysel çalışmasından elde ettiği sonuçları şu şekilde açıklamıştır: Kompozit paneller üzerine simüle edilmiş dolu buz etkisinin anlaşılabilmesi için göçük eşik enerjisinin hem buz çapı hem de panel kalınlığı ile doğrusal olarak arttığı bulunmuştur. Ayrıca panel kalınlığı arttıkça, hasara karşı direncinin de arttığı ve hasar oluşturmak için daha

fazla enerjinin gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Bunlara ek olarak, bir yapı üzerinde hasar oluşturmak için gereken enerji, daha büyük çaplı simüle edilen dolunun çapı ile artmaktadır. Bunun nedeni, çarpma sırasında daha büyük çaplı simüle edilen dolu için daha geniş bir temas alanı oluşmuş olmasından kaynaklanmaktadır.

Rhymer (2012), gelecekteki araştırma yönergeleri için şunlara değinmiştir: Bu çalışma, kompozit düz paneller üzerindeki yüksek hızlı simüle edilmiş dolu etkilerine ilişkin değerli bilgiler sağlamıştır. Ancak, bu araştırma kapsamlı değildir ve daha fazla araştırma yapılması önerilir.

Swift (2013), yarı statik gerinim oranlarında simüle edilmiş dolu tanesinin mekanik özellikleri ve dolunun bozulma mekanizması üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Dolu, hem karadaki hem de havadaki uçaklar için önemli bir tehdittir. Havacılık mühendisleri, yeni uçakların güvenliğini artırmak için dolunun özelliklerini daha iyi anlamakla ilgilenmektedir. Fakat dolunun bozulma mekanizması ve mekanik özellikleri iyi anlaşılammıştır. Simüle edilmiş dolu tanesinin özelliklerini daha iyi anlamak için hem şeffaf hem de pamuk lifi ile güçlendirilmiş buz kullanılarak çeşitli testler yapılmıştır. Simüle edilen dolunun iç kristal yapısını göstermek için resimler çekilmiştir. Çeşitli yarı statik gerinim oranlarında genel kuvvet-yer değiştirme eğilimlerini belirlemek için simüle edilmiş dolu buz çarpışma testleri gerçekleştirilmiştir. Küresel simüle dolu tanesinin bozulma mekanizmasını görsel olarak izlemek için yüksek hızlı fotoğrafçılık da kullanılmıştır. Simüle edilen dolunun sıkıştırma mukavemetini ölçmek için sıkıştırma testleri yapılmıştır.

Swift (2013), bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür verileriyle karşılaştırılarak simüle edilen dolunun çatlama direncini belirlemek için kırılma tokluğu testleri yapılmıştır. Saf buz numunelerinin test edilmesinden elde edilen sonuçlar, test yöntemlerine güven aşılacak için daha önce yayımlanmış literatür verileriyle başarılı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Yöntemler daha sonra pamuk lifi ile güçlendirilmiş buzu test etmek ve karakterize etmek için kullanılmıştır. Pamuk miktarı ile hem sıkıştırma mukavemeti hem de kırılma tokluğu arasında doğrusal bir ilişki bulmuştur. Gelecekteki araştırmalar için, hem şeffaf hem de pamukla simüle edilen dolu tanelerinin mukavemet ve tokluğunun daha yüksek gerilme oranlarında belirlenmesi tavsiye edilmiştir.

Maguire (2014), yaptığı deneysel çalışmada, dolu etkisinin çelik yapı kaplamalar üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çelik kaplama, sadece hafifliği ve dayanıklılığı için değil estetik görünümü için de kullanılan yaygın bir yapı kaplama malzemesidir. Uygulaması

sayesinde büyük fırtına olaylarında dolu etkilerine maruz kalmıştır. Bunun sonucunda, hasarlı çelik sacların değiştirilmesi nedeniyle ekonomik kayıplar yaşanmıştır. Bu çalışma deneysel olarak, çelik sacın geometrik ve malzeme özellikleri hakkında daha fazla bilgi edinmek ve çelik kaplamanın göçük direncinde ekonomik bir artış sağlaması amacıyla buzun çarpma etkisini araştırmıştır. Dolu etkisi verilerini elde etmek için bir deney metodolojisi ve ekipmanı tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Dolu etkisine bağlı olarak göçük büyüklüğünü tahmin etme sorununa teorik bir yaklaşım geliştirilmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Maguire (2014), bu deneysel çalışmadan elde ettiği en önemli sonuçları şu şekilde açıklamıştır: Yapılan çalışmada, dent derinliğinin çelik akma gerilimi ve kalınlığındaki değişikliklere beklendiği gibi tepki vermesine rağmen dent çapının etkilenmediği gösterilmiştir. Geliştirilen teorinin, dent derinliğinin 0.75 mm'yi aştığı ince çelik saclar için iyi bir tahmin sağladığı bulunmuştur.

Maguire (2014), gelecekteki çalışmalar için şu konular hakkında önerilerde bulunmuştur:

Çelik levhaların doluya karşı direncine ilişkin mevcut çalışmayı etkileyen sınırlamalar şunlardır:

- Yapay ve doğal dolu tanesi etkileri arasında bilinmeyen bir ilişkinin olması
- Test için sınırlı sayıda çelik numunesi olması.

Doğal dolu tanelerinin çarpma üzerine parçalanması tipik bir davranış olmadığından, doğal koşullarla daha tutarlı sonuçlar elde etmek için yapay dolu üretiminin iyileştirilmesine yönelik araştırmalar yapılmalıdır. Ayrıca daha geniş bir dizi çelik numunesinin test edilmesi önerilir. Eşdeğer kalınlıklara ancak farklı akma gerilmelerine sahip çelik numunelerin test edilmesine özellikle dikkat edilmelidir.

Çelik bilyeler gibi standart mermilerin darbe nedeniyle oluşan göçüklerin belirleme yöntemi olarak kullanımı araştırılmalıdır. Çelik bilyeler ile doğal dolu taneleri arasında bir ilişki varsa dolu tanesinin darbe üzerindeki davranışındaki değişkenler ortadan kaldırıldığı için daha güvenilir veriler elde edilebilir.

Sun vd. (2015), dolu tanesi çarpması sonucu oluşan temas kuvvetleri üzerinde simülasyon modelleme ve deneysel çalışması yapmıştır. Dolu tanelerinin çarpma etkisi, çatılarda ve diğer birçok açıkta kalan tesisatta ciddi ve yaygın hasara neden olabilir.

Bu araştırma, bir dolu tanesinin etkisiyle üretilen tepe temas kuvvetinin değerinin güvenle tahmin edilebileceği bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır. Temas kuvvetinin doğru ölçümü için bir gaz tabancasının kullanımını içeren özel olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş bir sistem mevcuttur. Üretilen cihaz ile yaklaşık 45 darbe deneyi yapılmıştır. Ayrıca, çarpma simülasyonu için ön yayın lineer olmayan bir visko-elastik sıkıştırma özelliğine sahip analitik bir yay bağlantılı toplu kütle modeli geliştirilmiştir. Analitik modelin gerçek davranışı temsil etmesini sağlamak için, ön yayın sertlik özelliklerini karakterize etmek için kullanılan parametrelerin değerleri deneysel ölçümlerle kalibre edilerek elde edilmiştir. Artan çarpma hızı ile modelleme parametrelerinin kalibre edilmiş değerlerindeki orta dereceli değişimler izlenmiştir. Son olarak, tasarımcıların bir dizi dolu fırtınası senaryosu için cebirsel terimlerle tepe temas kuvvetini tahmin etmeleri için uygun bir yol sağlamak üzere bir tasarım çizelgesiyle birlikte bir cebirsel ifade geliştirilmiştir.

Sun vd. (2015), yaptıkları çalışmadan elde ettikleri sonuçları şu şekilde açıklamışlar: İlk olarak, katı çarpma tertibatlı bir nesnenin çarpmasıyla oluşturulan temas kuvvetini ölçmek için özel olarak tasarlanmış ve yapılmış bir cihaz tanıtılmıştır. Serbest düşüşte gelişen son hız (V_0) koşullarını simüle etmek için 50 mm, 57.5 mm ve 62.5 mm dolu taneleri üzerinde bir gaz tabancası kullanılmıştır. Darbeye tepkinin analitik simülasyonları için iki serbestlik dereceli yay bağlantılı toplu kütle sistemine dayalı bir analitik model de geliştirilmiştir. Tepe temas kuvvetinin değerini bulmak için cebirsel bir ifade türetilmiştir. Bu ifade, makalede sunulan bağıntılı ilişkilerle alakalı olarak, tepe temas kuvvetinin değerinin cebirsel terimlerle elle hesaplamalarla tahmin edilmesini sağlamıştır. Son olarak, tasarımcılara tepe temas kuvvetini tahmin etmek ve uygun bir yol sağlamak için 5 mm ila 100 mm arasında değişen dolu çaplarından oluşan ve 10 m/s ila 40 m/s arasında değişen hızlarda (V_0) kapsamı sağlayan bir tasarım çizelgesi de oluşturulmuştur. Tasarım şeması, 45 darbe deneyinden alınan ölçümlerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Küresel simüle edilmiş dolu örneklerinin etkisine dayalı olarak bu makalede sunulan cebirsel çözüm, gerçek dolu tanelerinin çarpma sonuçlarının ortalaması olarak alınabilir. Ortalamadaki değişkenliği incelemek için daha fazla araştırma yapılması önerilmiştir.

Türk ve Kuşçu (2017), yaptıkları çalışmada İstanbul'da 27 Temmuz 2017'de gerçekleşen dolu fırtınası ile şiddetli yağışın durum değerlendirmesini yapmışlardır. Dolu zararlı etkileri olan bir yağış türüdür. Dolu taneleri yeryüzüne yüksek hızlarla, kuvvetli rüzgârla birlikte çok fazla zarara neden olabilmektedir. Ayrıca dünyada her yıl binlerce hektarlık alanın dolu yağışı etkisine maruz kaldığını ve bu doğal olayın milyonlarca liralık

kayba neden olduğunu görüyoruz. Yapılan araştırmalara göre inşaat, sanayi, tarım ve spor gibi sektörler dolu yağışından olumsuz yönde en çok etkilenen sektörlerdir.

Türk ve Kuşçu'ya (2017) göre dolu yağışı olayları insanların ve diğer canlıların hayatını olumsuz yönde etkileyen meteorolojik hadiselerin başında geldiği herkes tarafından bilinmekte ve buna benzer şiddetli hava olaylarının önceden tahmini büyük önem arz etmektedir. 27 Temmuz 2017'de İstanbul'da öğleden sonra kuvvetli rüzgârla birlikte meydana gelen dolu yağışında en az iki kişinin hayatını kaybettiği ve çok sayıda kişinin yaralandığı, ayrıca bu şiddetli olayda çok fazla sayıda çatının, araçların ve uçakların zarar gördüğü gözlemlenmiştir.

Uz vd. (2017), dolu hasarını gerçekçi bir şekilde temsil eden yapay dolu metodu geliştirmişler ve çelik saclar üzerinde darbe testleri yapmışlardır. Bu deney çalışması, hasarı gerçekçi bir şekilde simüle edecek bir dolu tanesinin bazı karakteristik özelliklerini incelemiştir. İlk kriter, dolu tanesinin büyük çoğunluğu buzdan oluşmalı, ikinci kriter dolu tanesinin nitelikleri tanenin her yerinde aynı olmalı, üçüncü kriter üretilen dolu taneleri kullanılırken çarpışan yüzeyler arasında gerçekçi bir sürtünmenin simülasyonu için doğal dolu tanelerinde görülen yüzeyde erime davranışı görülmeli ve son en önemli karakteristik özellik ise üretilen dolu tanelerinin hedeflenen limit hızda isabet ettikten sonra bütünlüğünü korumasıdır. Bu çalışmada saf dolu, %1 mikrofiber ve %5 PVA içeren dolu ve %12 PVA içeren dolu taneleri 25 mm, 33 mm, 45 mm ve 50 mm dört farklı çapta ve üç farklı çeşitte üretilmiştir.

Uz vd. (2017) tarafından yapılan deneysel çalışma sonucunda saf dolu tanelerinin boyutları büyüdükçe uygulanan basınç düşük olsa dahi çarpışma esnasında üç parçaya ayrıldığı gözlemlenmiştir. %5 PVA ve %1 mikrofiberden oluşan buz topları 33 mm'den büyük oldukları takdirde çarpışma esnasında kütlelerinin bir kısmını kaybetse de daha küçük boyutlu olanlar bütünlüğünü korumuşlardır. Bu çalışmada sadece %12 PVA'dan üretilen buz topu tüm boyutlarda ve uygulanan basınç değerlerinde bütünlüğünü koruyabilmiştir.

Yufei (2018), yaptığı deneysel çalışmada dolu etkisinin düz soğukta haddelenmiş çelik çatı kaplaması üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için araştırma yapmıştır. Dolu fırtınalarının neden olduğu büyük ekonomik kayıplar nedeniyle çatı malzemeleri üzerindeki dolu etkisi geniş çapta incelenmiştir. Bu çalışmada, %88 su ve %12 PVA kombinasyonu ile yassı çelik çatı kaplamasına terminal hızlarda çarptıktan sonra parçalanmadan kalan su bazlı yapay dolu taneleri yapmak için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Mevcut yapay dolu tanelerinin çentik

sonuçları, benzer hızlarda çarpmadan sonra bozulmadan kalan saf buz toplarının sonuçlarına ile doğrulanmıştır. Yufei, bu deneysel çalışmada 0.35 mm, 0.42 mm, 0.55 mm, 0.75 mm ve 1.00 mm olmak üzere beş farklı sac kalınlığı kullanmıştır. Ayrıca iki çelik sac sınıfı (G300 ve G550), beş boyutta suni dolu 25 mm, 33 mm, 38 mm, 45 mm ve 50.8 mm belirlenen üç darbe hızında 20 m/s, 30 m/s, 40 m/s çarpma testi yapmıştır.

Yufei (2018) tarafından yapılan çalışmada deneylerden elde edilen sonuçlar şunlardır: Mevcut çalışmada yapay dolu tanelerinin etkisinin neden olduğu göçük derinlikleri, bir derinlik ölçer kullanılarak manuel olarak ve bir 3D tarayıcı kullanılarak dijital olarak ölçülmüştür. Ancak, daha güvenilir olduğu için analizde sadece ikinci defa kullanılarak elde edilen okumalar kullanılmıştır.

Yufei'nin (2018) gelecekteki çalışmalar için önerileri şunlardır: Bu çalışma, yalnızca dolu tanesi etkisinin yassı çelik çatı kaplama levhaları üzerindeki etkilerini kapsamakta ve küresel eğrilik ve oluklu çelik saclar üzerindeki etkilerini göz ardı etmektedir. Pratikte çelik çatı kaplama levhaları genellikle kavisli ve/veya oluklu olduğundan, araştırma konusuyla ilgili gelecekteki deneysel programlar, kaplamanın elastik eğilme sertliğini ve dolayısıyla eğilme titreşimine kaybedilen enerjinin oranını etkiledikleri için eğrilik ve/veya oluklamanın etkilerini içermelidir. Doğal dolu fırtınaları normalde çatıları bu şekilde etkilediğinden, çelik sacın düzlemine dik olmayan dolu tanesi etkilerini dâhil etmek, konuyla ilgili gelecekteki araştırmalar için faydalı olabilir.

Saini ve Shafei (2019), dolu etkisi altında metal çatı panellerine verilen hasarın boyutunun tahmini üzerinde sayısal simülasyon çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada, çatıların dolu etkisine karşı yapısal tepkisine ilişkin bilgi birikimi sınırlıdır ve sonuç olarak, mevcut çatı tasarımı ve değerlendirme kriterleri, bölgeye özgü dolu tehlikeleri altındaki hasarın kapsamına ilişkin temel bir anlayışın yokluğu gibi sorunlar vardır. Bu boşluğu gidermek için mevcut çalışma, konut ve ticari binalarda yaygın olarak kullanılan metal çatı panelleri üzerindeki dolu etkisini araştırmıştır.

Saini ve Shafei (2019), yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçları şöyle açıklamışlardır: Bu çalışma, deneysel testler tarafından desteklenen bir dizi sayısal simülasyon aracılığıyla metal çatı panelleri üzerindeki dolu etkisinin etkilerini araştırmıştır. Genel olarak darbeye dayanıklı olarak adlandırılrsa da metal çatı panelleri dolu fırtınaları sırasında önemli sayıda göçüklere maruz kalabilir. Bir çatı panelindeki göçük oluşumunun, zamanla tuz çökmesine ve metal bozulmasına neden olan küçük su birikintileri oluşturması

nedeniyle tüm çatının yaşam beklentisini azalttığı bilinmektedir. Dolu etkisi altında metal çatı panellerindeki hasarın boyutunu değerlendirmek için, mevcut çalışma, yaygın olarak kullanılan çatı sistemlerini temsil eden bir dizi sonlu eleman modeli geliştirmiş ve daha sonra yapısal tepkilerini ölçmek için bunları bir dizi dolu çarpma senaryosuna tabi tutmuştur. Bu amaçla, ilgili karmaşıklıklar ve değişkenlikler göz önünde bulundurularak uygun bir dolu modelinin kullanılması için özel bir çaba gösterilmiştir. Geliştirilen modellerin doğrulanmasının ardından, farklı dolu etkisi senaryoları altında farklı bölümlerde metal çatı panellerinin yükleme özelliklerini ve yapısal tepkisini ölçmek için kapsamlı bir sayısal simülasyon seti gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucu, çatı detaylarının maksimum ve kalıcı yer değiştirmelerinin birim şekil değiştirme ve başlangıç gerilmeleri nasıl etkileyebileceğini göstermiştir. Dinamik mukavemetin tahmin edilmesiyle metal çatı panelinin, özellikle dikey dolu çarpmasına karşı rijitliği düşük olan bölümlerde, büyük çaplı dolular altında kalıcı deformasyonlara uğrayabileceği tespit edilmiştir. Oluklu bölümlerdeki metal çatı panelinin, 76.2 mm'den (3.0 inç) büyük dolu çapları için kalıcı deformasyonlara maruz kaldığı bulunmuştur. Bununla birlikte, ahşap alt tabakada önemli bir deformasyon gözlenmemiştir. Çalışma daha sonra, bir dolu fırtınası sırasında bir çatının normalde maruz kaldığı durumu temsil eden, çoklu dolu etkilerini içeren etki senaryolarına göre genişletilmiştir. Bu amaçla aynı ve farklı boyutlarda bir dolu çarpma zinciri incelenmiştir. Analiz sonuçlarından, birinciyi takip eden etkiler altında yer değiştirmenin önemli ölçüde arttığı bulunmuştur. Ayrıca, daha büyük bir dolu çapından etkilenen metal çatı panelinin, daha küçük boyutlardaki ardışık doluya karşı daha savunmasız hale geldiği gözlemlenmiştir.

Yılmaz vd. (2020), yaptıkları deneysel çalışmada sıvı nitrojenle ile yapay dolu yapımı ve literatürdeki mevcut olan suni dolularla karşılaştırması üzerinde dinamik darbe testleri yapmışlardır. Yılmaz vd. (2020) doluyu şöyle tanımlamışlardır: “Dolu, tanım olarak, donmuş katı bir şekilde yeryüzüne düşen su parçacıklarıdır. Boyutları 20 cm’ye kadar çıkabilmektedir. Bu sert kütleler yeryüzüne 80 ile 110 km/s lik hızlarla çarpmakta, ancak bu çarpışmaya rağmen kırılmamaktadır”. Dolu ile ilgili çalışmaların, dolunun simüle edilememesi ve dolayısıyla dolunun verdiği hasarın da tam olarak simüle edilememesinden dolayı tam başarıya ulaştığı söylenememektedir. Bu deneysel çalışmada sıvı nitrojen ile yapılan doluların çarpma testleri yapılmıştır. Yapılan çarpma testleri dört farklı kalınlığa sahip çelik plakalar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Yılmaz vd. (2020), yaptıkları deneysel çalışmadan elde ettikleri sonuçları şu şekilde açıklamışlardır: Bu çalışmada daha önceden yapılmamış ve literatüre geçmemiş olan sıvı

nitrojen ve su ile suni dolu yapılmıştır. Daha önceden dolu hasar testlerinde kullanılan çelik toplar, indentörler, normal buz küreleri gibi uygulamaların gerçeğe yakın sonuçlar vermediği ve dolu karakteristiği gösteremediği saptanmıştır. “Bu eksiklik, yaptığımız suni dolunun gerçekte çok yakın karakterde olduğunun ispatı ile giderilmiştir”. İşbu ispat, dolunun kırılmaması, atış testlerinde benzer sonuçlar vermesi, suni dolunun yoğunluğu gibi parametrelerin gerçek doluya yakın olması sonucunda pekiştirilmiştir.

Uz ve Sızar (2021), yaptıkları deneysel çalışmada, yapay dolunun çarpma etkisine maruz kalan çelik sacların göçük direncinin incelemesini yapmışlardır. Bu çalışmada, suni dolunun gerilme direncini artırmak için, demineralize su içerisine PVA, azot ve pamuk gibi katkı maddelerinin eklenmesi ile doğal dolunun hasara neden olan özelliklerini bire bir simüle etmeyi amaçlanmıştır. Çeşitli kalınlığa sahip çatı paneller üzerinde 22 - 43 m/s arasında değişen hızlarda dört farklı yöntem ile yapılan yapay doluların dinamik etkileri değerlendirilmiştir.

Uz ve Sızar (2021), deneysel çalışmadan elde ettikleri sonuçları şu şekilde açıklamışlardır: Bu çalışmada gerçekleştirilen yapay dolu test sonuçları literatürde olan deneysel çalışmalarla başarılı bir şekilde karşılaştırılmıştır. %12 PVA yapıştırıcı ve azot kullanılarak üretilen yapay dolular doğal dolu gibi terminal hızlarında çelik plakaya çarptıktan sonra kırılmadan kalmıştır. Bu yöntemle üretilen yapay dolular, doğal dolunun yoğunluğuna, homojenliğine ve yüzey sürtünmesi gibi en önemli karakteristik özelliklerine yaklaşmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

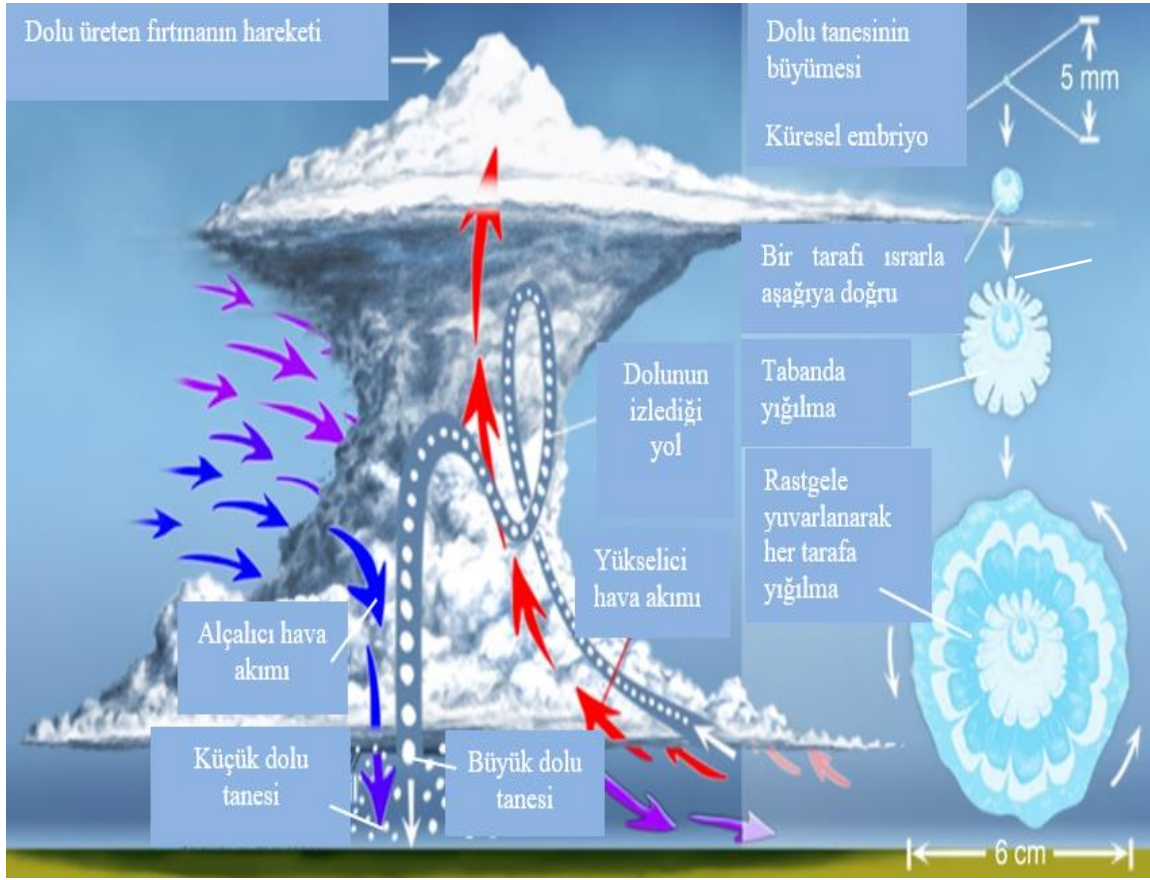
3.1. Doğal Dolu

Doğal dolu, tanım olarak katı şekilde buz biçiminde yeryüzüne düşen su parçacıklarıdır. Boyutları 0.5 cm'den 20 cm'ye kadar çıkabilmektedir. Örneğin; Kuzey Amerika'da, 23 Temmuz 2010'da Güney Dakota'da meydana gelen şiddetli dolu fırtınasında bir dolu tanesinin ağırlığı 0.89 kg ve çapı ise 20.3 cm ile en büyük çapa sahip dolu tanesi olmuştur (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2014). Doğal doluların düşme hızları ise 80 km/s'den 110 km/s'ye kadar ulaşabilmektedir ve bu yüksek hızla çarpmasına rağmen çoğu dolu kırılmamaktadır. Dolu etkisinin araştırılmasından önce, doğal dolunun bina çatılarını etkileyebilecek diğer etkilerden nasıl farklı olduğunu anlamak için doğal dolu tanelerinin oluşumu dikkate alınmalıdır.

3.1.1. Doğal Dolunun Oluşum Süreci

Doğal dolunun oluşumu, çok güçlü dikey bir bulut olan Cumulonimbus (Cb) bulutlarında yükselici ve alçalıcı hava akımlarıyla gerçekleşmektedir. Bu bulutlar dikey olarak kümülüs bulutlarının büyümesiyle oluşmaktadır. İçlerinde dolu, fırtına ve elektrik yükü (şimşek) bulundurmaktadırlar ve bu durumdan dolayı hava araçları da bu bulutların içine girmekten kaçınmaktadır. Dikey bu bulutların içinde sert hava akımları olmaktadır. Ayrıca bu bulutlar dikey konumlarından dolayı taban ve tavan arasında sıcaklık farkına sahiptir. Atmosferdeki hava 0 ile -40 derece arasındaki sıcaklık farkından dolayı ani bir şekilde katman katman donar ve kristal bir yapıya sahip olur (Yılmaz vd., 2020). Dolunun bu kristal yapısı elastik ve güçlü olmasını sağlar. Donan su tanecikleri, çift yönlü dikey rüzgârın akımına maruz kalarak bir hareket döngüsüne yol açar ve her seferinde daha fazla su donduğu için çapları büyür. Dolunun oluşumu bu ani hava akımı ve ani değişen sıcaklıklarla olmaktadır. Laurie (1960) makalesinde belirttiği üzere dolu oluşumu, toz ve tuz gibi partiküllere su buharının tutunmasıyla başlamakta ve bu partiküller dolunun embriyosu olarak adlandırılan çekirdeğini oluşturmaktadır. Katman katman donan ve taban ile tavan arasında gidip gelen parçacıklar birbirine tutunmakta ve ağırlaşmaktadır. Bulutun içindeki hava akımının kaldırma

kuvvetinden daha fazla ağırlığa sahip olduklarında ise Şekil 2.1'deki gibi yeryüzüne düşmektedir.



Şekil 3.1. Doğal dolu ve dolu çekirdeğinin oluşumu (<https://havaninotlari.wordpress.com>)

3.1.2. Dolu Yağışları

Dolu olayları insanlık tarihinin her aşamasında önem arz etmiştir (Türk ve Kuşçu, 2017). Ülkemizde dolu yağışları genellikle Marmara, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Trakya bölgelerinde rastlanmaktadır. Dolu yağışları çoğunlukla ilkbahar ve yazın ilk aylarında meydana gelmektedir.

3.1.3. Dolunun Doğaya Verdiği Zararlar

Dolu fırtınaları, tane büyüklüğü ve düşme hızı nedeniyle yeryüzündeki canlılara maddi ve manevi zararlar verebilmektedir. Dünyanın birçok bölgesinde meydana gelen bu doğal afet

bina çatılarına, araba kaportalarına, uçak kanat ve gövdelerine, solar panellere, rüzgâr türbinlerine, meyve bahçelerine ve tarımsal alanlara büyük kayıplar verebilmektedir. Dolu yağışından kaynaklanan en büyük can kaybı, 1 Mayıs 1888 yılında Hindistan’da 246 kişinin ölümü ile sonuçlanan dolu yağışı doğal afeti neticesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca yakın tarih olarak 14 Nisan 1986’da Bangladeş’te gerçekleşen dolu yağışında 92 kişi hayatını kaybetmiştir.

3.1.4. Türkiye’de Dolu Yağışlarının Verdiği Zararlar

Ülkemizde dolu yağışı günleri ve dolu hasarları göz önüne alındığında ilerleyen yıllarda dolu yağışının büyük sorunlar yaşatacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünün 2017 yılında yayımlanmış olduğu “Türkiye’de 2017 Yılında Kaydedilen Meteorolojik Karakterli Doğal Afetlerin Kısa Değerlendirmesi” başlıklı yazısında da değinildiği üzere dolu yağışı %16’lık afet oranı ile en fazla hasar veren 3. meteorolojik olaydır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2021 yılında yayımladığı “Türkiye’de İklim Değişikliği Risk Yönetimi” başlıklı yazıda belirtilen dolu yağış gün sayısı 2001 yılında 18 iken 2010 yılında neredeyse 4 katına çıkarak 69’a ulaşmıştır.

Türkiye’de 1970-2012 yılları arasındaki zamanda yaşanan 392 dolu olayının, 29 yağışla en fazla Nevşehir’de meydana geldiği görülmüştür (Özşahin, 2013). Dolu yağışlarının %72’sinin ilk bahar aylarında meydana geldiği görülmüştür (Şahin ve Sipahioğlu, 2003).

Ülkemizde en büyük dolu fırtınası 2017’de İstanbul’da meydana gelmiştir. Bu dolu fırtınasında “AUTO KING” tarafından hazırlanan rapora göre 180 binden fazla araç, çok sayıda yolcu uçağı, binlerce bina çatısı ve 100 binlerce ağaç hasar görmüştür. Yaşanan bu doğal afetin maliyetinin 1 milyar lira olduğu tahmin edilmektedir. Resim 2.1, İstanbul’da 2017’de meydana gelen dolu yağışından kaynaklanan hasarları göstermektedir.



Resim 3.1. Dolunun verdiği hasarlar (<https://www.havaforum.com/27-Temmuz-2017-Istanbulda-dolu-yağisi>)

3.1.5. Dolu Tanesinin Hızı

Dođal dolu tanesinin dűşme hızı verdiği zarar ağısından son derece önem arz etmektedir. Büyük dolu taneleri bina çatılarına, otomobil, uçak ve seralar gibi pek çok yapıya

büyük zararlar verebilmektedir. Bir dolu tanesinin düşme hızı, yukarıya doğru olan hava hareketinin şiddetinin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2014). Bu sebepten dolayı, atmosferik kararsızlık ve bu kararsızlığın şiddetinin belirlenmesi son derece önemlidir. Kuvvetli kararsızlık, dolu tanesinin gelişmesine büyük ölçüde katkı sağlamakta ve bu katkı gelişmiş dolu tanesinin hava direncini kolaylıkla yenmesini sağlamaktadır. Dolu tanesinin yeryüzüne düşerken ulaşabileceği limit hız değeri taneciğin ağırlığıyla yani dolu tanesinin büyüklüğü ile doğru doğru orantılıdır. Limit hız eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$V_t = (2 \cdot W / C \cdot \rho \cdot A)^{1/2}$$

Dolu hasarı üzerinde yapılan çoğu araştırma, Laurie (1960) tarafından belirlenen terminal hızını benimsemiştir. Bu çalışma da Laurie (1960) tarafından belirlenen terminal hızını benimsemiştir ve bu değerler Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Dolu terminal hızı Laurie (1960)

Dolu çapı (mm)	Terminal hızı (m/s)	Yaklaşık darbe enerjisi (j)
25.0	22.3	<1.4
32.0	25.0	5.4
38.0	27.4	10.9
45.0	29.6	19.0
51.0	32.0	29.8

3.2. Yapay Dolunun Üretimi

Çelik saclar üzerindeki dolu etkisini doğru bir şekilde belirlemek için doğal dolu tanelerinin kullanılması arzu edilir ancak belirli büyüklükteki büyük dolu tanelerine olan ihtiyaç ve yaklaşan dolu fırtınalarının düşük olasılığı nedeniyle dinamik darbe testi için yapay dolu tanelerinin üretilmesi gerekmektedir. Doğal dolu içten dışa doğru donarak oluşmasına karşın sıvı nitrojen ile yapılan dolular hariç diğer tüm yapay dolular dıştan içe doğru donarak oluşmaktadır. Bu durum, yapay dolunun dış yüzeyinde çatlaklara ve içteki hava boşluklarını bir bölgede toplayarak bir zayıf nokta oluşmasına sebep olmakta, bu da yapay dolunun buz şeklinde kalarak büyük parçalar halinde etki anında kırılmasına yol açmaktadır. Bu bağlamda yapay dolu tanelerin etki anında bir bütün olarak geri tepmesini veya tamamen küçük parçalar halinde kırılmasını sağlamak için gerçek dolunun yoğunluğunu, kütlelerini, terminal hızlarını aynı kalacak şekilde ayarlayarak gerekli olan karışım malzemelerinin ve oranlarının belirtilmesi gerekmektedir.

3.2.1. Gerçekçi Bir Yapay Dolu Üretmek için Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Bu deneysel çalışmada, doğal dolu tanelerini temsil eden, yapay dolu üretmek için aşağıdaki kriterler belirlenmiştir.

1. Üretilen yapay dolu kütlelerinin büyük çoğunluğu buzdan oluşmalıdır.
2. Yapay dolunun çelik saclar üzerinde düzgün bir çukur oluşturması için dolu yapısında kullanılan malzemelerin tanenin her yerinde homojen olması gerekmektedir.
3. Üçüncü olarak, yapay dolu tanesi doğal dolu tanelerinde görülen yüzey erime özelliği göstermelidir.
4. Dördüncü olarak, doğal dolu tanelerinde görülen katmanlı yapıyı simüle etmelidir.
5. Son olarak, üretilen yapay dolu tanelerinin hedeflenen limit hızda çelik plakaya çarptıktan sonra bütünlüğünü korumaları gerekmektedir.

Bu özelliklerin seçimi arkasındaki nedenler şunlardır: Birinci özellik mevcut standartlarda kullanılan çelik ve plastik toplar gibi buzdan tamamen farklı davranan maddelerin kullanımından doğan belirsizlikleri kısıtlamaktadır. İkinci kriter, çelik plaka

üzerinde oluşacak çentiğin dolu tanesinin isabet yöne veya tanenin oryantasyonuna bağlı olarak değişmesini sağlar. Üçüncü kriterin sebebi ise doğal dolu tanelerinin yeryüzüne düşerken sıcaklıktan dolayı yüzeyinin erimesi ve böylelikle yüzey sürtünmesinin çok küçük bir değere çekilmesidir. Dördüncü kriter ise doğal dolu yapısında görünen iç içe geçiş katman yapılar olup bu katman yapılar dolunun dayanımını ve kırılmama özelliğini artırmaktadır. Son olarak en kuvvetli dolu taneleri bütünlüklerini limit hızında dinamik etkiden sonra korumasıdır.

3.2.2. Sağlam Bir Yapay Dolu Yapma Yöntemleri

Yapay dolu test şemalarında, birçok araştırmacı tarafından çeşitli kalıplar ve çeşitli çaplarda suni dolu üretilmiştir. Tüm dolu taneleri, en az altı saat süreyle dondurularak küresel kalıplara yapılmaktadır. Dolu tanelerinin donması için izin verilen minimum süre altı saattir (Rhymer, 2012). Ancak numunenin tamamının donması ve yeterli dayanımı sağlayabilmesi için, dolu tanelerinin genellikle kalıptan çıkarma süresi en az 24 saat sonra gerçekleşmiştir. Dolu taneleri kalıplardan çıkarıldıktan sonra kütle kaybına uğramaması için bir haftaya kadar bir dondurucuda saklanmalıdır. Bu çalışmadaki bulgulara göre kalıptan çıkarıldıktan sonra dondurucuda saklanan dolu tanelerinin bir haftadan daha fazla bekletilmeden testlerin yapılması önerilmiştir. Uz vd. (2017) ve Maguire (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışma bulgularına göre doluların boyutu arttıkça erime oranı azalmaktadır. Ayrıca erime hızı zamanla artmıştır. Bu nedenle, erimeyi azaltmak ve sonuçların doğruluğunu korumak için dolu tanelerinin testten önce ortam sıcaklığında 2 dakikadan fazla kalmaması önerilmiştir. Dinamik dolu darbe deneyleri, bu öneri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Yapay Dolu Üretiminde Kullanılan Kalıplar

Yapay dolu yapımında araştırmacılar tarafından birden fazla farklı kalıplar kullanılmıştır. Bunlar pinpon topu, sert plastik buz kalıpları ve yumuşak silikon buz kalıplarıdır. Pinpon topunda yapay dolu üretimi, dolu karışım malzemesinin topun içine enjekte edilmesi ve dolunu donduktan sonra kalıptan çıkarılmasında birden fazla dezavantajından dolayı tercih edilmemiştir. Yapay dolu yapımında birçok araştırmacı tarafından en çok silikon kalıplar tercih edilmiştir (Maguire, 2014; Uz ve Sızar, 2021; Uz vd.

2017). Çeşitli çaplarda yapay dolu üretmek için Resim 3.1'deki silikon kalıplar kullanılmaktadır.



Resim 3.2. Yapay dolu üretiminde en yaygın kalıplar

3.2.4. Bu Çalışmada Üretilen Yapay Dolu Çeşitleri ve Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, yapay dolu üretmek için bir dizi yöntem araştırılmıştır. Bu çalışmada, araştırmalar sonucunda optimum kombinasyonları elde etmek için Resim 3.2'de yapay dolunun yapısında kullanılan karışım malzemeleri incelenmiştir. Ayrıca, her kombinasyon için en iyi sonuçları verebilecek dört farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerde, saf su (demineralize su) ile yapılan yapay dolu, %1 pamuk + %99 saf su ile yapılan dolu, azot + 4 °C derecelik saf su ile yapılan dolu ve son olarak %12 PVA eklenerek yapılan dolular üretilmiştir. Tüm durumlarda, dondurucu sıcaklığı -12 °C derecenin altında kalmaktadır. Bu çalışmada üretilen yapay doluların yapımında kullanılan malzemeler ve konu ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.4.3 ve 3.2.4.4'te verilmiştir.



a) Saf su



b) Pamuk



c) Azot



d) PVA

Resim 3.3. Yapay dolu yapımında kullanılan malzemeler

Demineralize Su (Saf Su): Saf su denildiğinde aklımızda ilk etapta temiz su gelmektedir fakat bu düşünce yanlıştır. Su, iki hidrojen ve bir oksijen atomundan meydana gelmektedir. Ancak bunun yanı sıra içerisinde kalsiyum, magnezyum, bikarbonat gibi mineraller dâhil farklı maddeler de yer almaktadır. Saf su ise, suyun içerisindeki bu minerallerin ve maddelerin, farklı kimyasal süreçlerden geçirilerek ve genellikle 80 °C dereceye kadar ısıtılan suyun buharının yoğunlaştırılarak ayrı bir kaba aktarılmasıyla elde edilmektedir. Bu çalışmada saf suyun kullanılmasının nedeni ise bulutlardaki su parçacıklarına yakın olmasıdır. Yaptığımız çalışmada 4 °C derecelik saf su kullanılmıştır. Ayrıca yağmur suyu yeryüzüne düşerken havadaki partiküllerin karışmasıyla saf su özelliğini kaybetmektedir. Bundan dolayı yağmur suyu, musluk suyu, doğal kaynak suyu gibi sular kullanılmamıştır. Bulutlarda

bulunan su buharının yoğunlaşmasında ortaya çıkan su, yeryüzünde en yakın olarak laboratuvar şartlarında üretilen saf suya eş çıkmaktadır.

Azot (Sıvı Nitrojen): Sıvı nitrojen kimyasal simgesi “N” olan ametal bir elementtir. Doğada serbest azot iki atomlu “molekül halinde” bulunduğundan dolayı “N₂” olarak simgelenir. Sıvı nitrojenin bazı fiziksel özellikleri şunlardır: Maddenin hâli gaz, sıvı hâldeki yoğunluğu 0.808 g/cm³, kaynama noktası -196°C derece ve erime noktası -210°C derecedir.

Pamuk: Pamuk lifi tek hücreli bir bitkidir. Enine kesiti oval şeklindedir. Yapısı kütikül, primer duvar, sekonder duvar ve lümen tabakalarından oluşmaktadır. Pamuk, lifin en dış kısmını oluşturmaktadır. Pamuk her ne kadar su içinde homojen bir şekilde çözülme de bazı araştırmacılar tarafından buz topu yapımında kullanılmıştır. Örneğin; Swift (2013) pamuk kullanımının yapay dolunun sünekliğinin ve mukavemet dayanımının arttırdığını belirtmiştir.

Polivinil Asetat (PVA): Polivinil asetat bir emülsiyon, çeşitli yumuşatıcılar ve karışımın yapışkan özelliklerini artıran katkı maddeleri içeren polivinil asetatdır. Bu çalışmada PVA'nın kullanılmasının en önemli sebebi suda kolayca ve homojen bir şekilde çözülebilmesi ve ayrıca doğal dolunun önemli karakteristik özelliklerini değiştirmeden yapay doluyu üretebilmesidir.

3.2.4.1. Demineralize Su ile Yapay Dolu Üretimi

Demineralize su ile yapay dolu taneleri oluşturmak için uygulanması gereken adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Silikon kalıp saf su ile doldurulmalıdır.
2. Kalıbın üst kapağının kabarmaması için kapak üzerine bir miktar normal su konulmalıdır.
3. Genleşmesi için toplam hacmin yalnızca %5'i boş bırakılmalıdır.
4. Saf su ile doldurulan kalıp dikkatlice dondurucuya yerleştirilmelidir ve en az 6 saat - 12 °C derecede bekletilmelidir.
5. Durdurucuda tamamen donduktan sonra kalıptan dikkatli bir şekilde çıkartılmadır. Yapay dolu yüzeyindeki çıkıntılar maket bıçağı ile temizlenmelidir ve yüzey pürüzlülük temizliği bittikten sonra dondurucuya konulmalıdır.

6. Dolunun kalıptan çıkarma esnasında erimemesi ve dolu çapının küçülmemesi için ortam sıcaklığında 2 dakikadan fazla kalmamasına dikkat edilmelidir.



Resim 3.4. Demineralize su ile yapılan dolu

3.2.4.2. Pamuklu Yapay Dolu Üretimi

%1 pamuk lifi ve %99 demineralize su içeren dolu tanesi üretmek için uygulanacak adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Gereken pamuk miktarı %1 ölçülerek üretilecek dolu çapın benzer büyüklükte yuvarlak hale getirilmelidir.
2. Yuvarlak haline getirilen pamuklar silikon kalıbın içine yerleştirilmelidir.
3. Gereken demineralize su miktarı %99 olarak ölçülmelidir.
4. Ölçülen demineralize su şırınga yardımıyla yerleştirilen pamuk üzerine eklenmelidir.
5. Kalıbın üst kapağının kabarmaması için kapak üzerine bir miktar su konulmalıdır.
6. Doldurulan kalıplar dikkatlice dondurucuya yerleştirilmelidir ve en az 6 saat -12 °C derecede bekletilmelidir.
7. Dolu tamamen donduktan sonra kalıptan dikkatli bir şekilde çıkarılmadır, yapay dolu yüzeyindeki çıkıntılar maket bıçağı ile temizlenmelidir ve yüzey pürüzlülük temizliği bittikten sonra dondurucuya konulmalıdır.

8. Dolunun kalıptan çıkarma esnasında erimemesi ve dolu çapının küçülmemesi için ortam sıcaklığında 2 dakikadan fazla kalmamasına dikkat edilmelidir.
9. Kalıptan çıkartılan dolularla dinamik darbe testleri maksimum iki gün içinde yapılmalıdır.

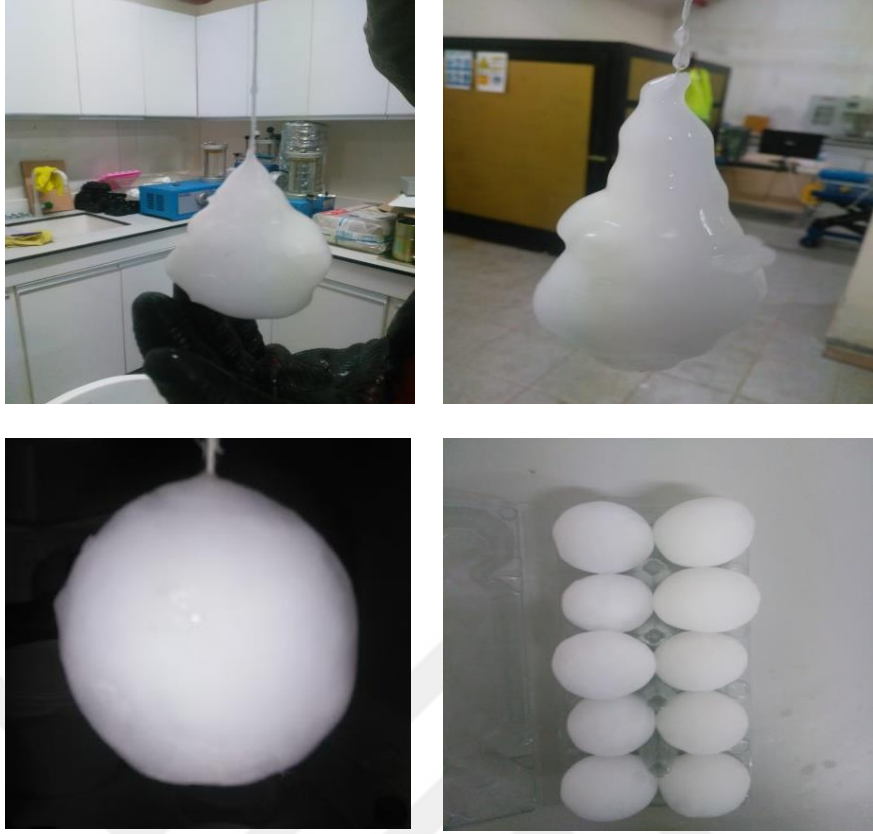


Resim 3.5. Bu çalışmada üretilen pamuklu dolu

3.2.4.3. Sıvı Nitrojen ile Yapay Dolu Üretimi

Sıvı nitrojen kullanarak dolu üretme yönteminin en önemli özelliği doğal dolu yapısında var olan katman yapıya benzer bir yapıda donmasıdır. Literatürde bulunmaması da bu çalışmanın özgünlüğü ve gelişebilirliği açısından önemli niteliktedir. Nitrojenli dolu yapımında iki adet kap kullanılmaktadır. Bu kaplardan bir tanesi saf su ile doldurulmaktadır. Diğer kap ise dewar kabıdır ve içine sıvı nitrojen konulmaktadır. Misinanın ucuna nitrojen ve su toplanması için düğüm atılır ve bu işlem sayesinde doğal dolu yapısında bulunan “dolu çekirdeği” simüle edilmektedir. Bu işlemden sonra saf suya batırılan düğüm atılmış misina dewar kabındaki sıvı nitrojen içine daldırılarak suyun ani bir şekilde donması sağlanmaktadır. Bu uygulamanın amacı doğal dolunun yapısındaki gibi katmanlı bir şekilde donmasını sağlamaktır. Sıvı nitrojenli dolu yapımının diğer suni dolu yapım yöntemlerinden farklı ve en önemli ayırt edici özelliği de budur. Daldırma işlemleri, dolu istenilen çapa gelinceye kadar tekrarlanmaktadır. Misinaya daldırılan suyun doğal doludaki sıcaklık değerine yakın olması için saf suyun içine buz konulmaktadır. Bu işlem yapılarak kümülonimbus bulutlarında 0 ila -40 derece olan sıcaklık farkı simüle edilmektedir. Sıvı nitrojen ile yapay dolu üretmek için aşağıda verilen unsurlara ve adımlara dikkat edilmesi gerekmektedir:

1. Bu yöntem ile dolu yapımına geçmeden önce mutlaka dikkat edilmesi gereken şeyler; sıvı nitrojenin ele zarar vermemesi için mutlaka özel laboratuvar eldivenleri kullanılmalıdır ve ayrıca göze zarar vermemesi için güvenlik amacıyla gözlük kullanılmalıdır.
2. Dolu yapımına geçmeden önce istenilen sayıdaki misina iplerinin ucuna düğüm atılmalıdır.
3. Ucuna düğüm atılan misina ilk önce suya daldırılmalı daha sonra sıvı nitrojene daldırılmalıdır. Bu işlem buz topunun istenilen çapa ulaşmasına kadar tekrarlanmalıdır.
4. İstenilen çapa ulaşan sıvı nitrojenli yapay doluların tam küre şeklini alabilmesi için yüzeydeki çıkıntılar maket bıçağı ile düzeltilmelidir.
5. Küre haline getirilen doluların tam donması için en az 6 saat dondurucuda bekletilmesi gerekmektedir.
6. Bu çalışmada sıvı nitrojen yöntemi ile üretilen yapay dolular tam küre haline gelmeden önceki hali ve maket bıçağı ile tam küre haline getirilen hali olmak üzere Resim 3.5'te verilmiştir.

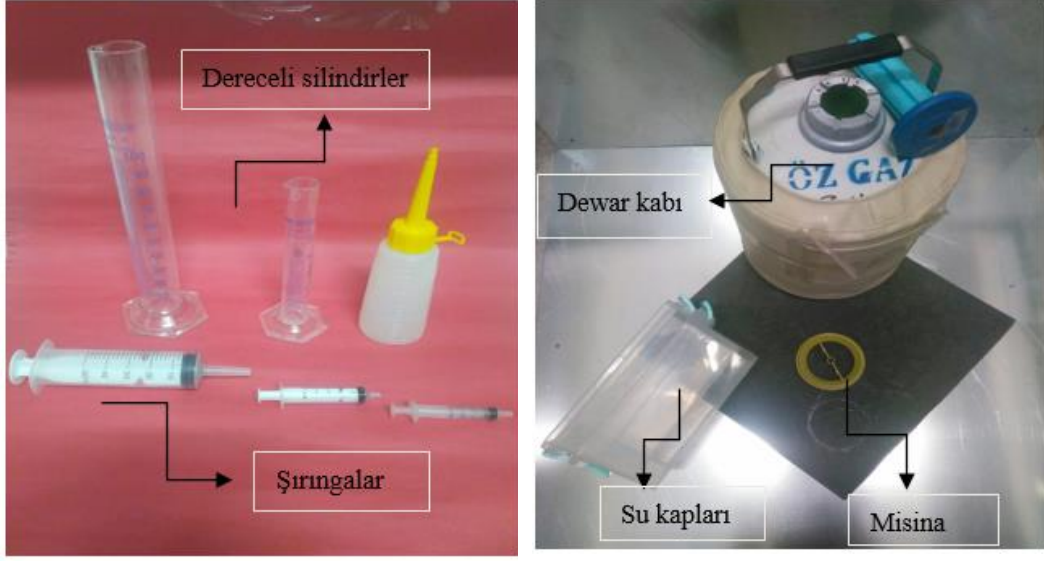


Resim 3.6. Bu çalışmada üretilen sıvı nitrojenli dolular

Sıvı Nitrojen Tankı (Dewar Kabı): Sıvı nitrojenin çevresel faktörlerden etkilenmeden ve kolayca taşınabilmesi için gereken sıvı nitrojen tankı sayesinde, sıvı nitrojen buharlaşmadan ve tehlikeli durumları engelleyerek saklanmaktadır. Dewar kabına, sıvı nitrojen tankından aktarılan sıvı nitrojen sayesinde dewar kabı üzerinde çalışma yapılabilmektedir.

Saf Su Tankı ve Su Kapları: Saf su tankı sayesinde kullanacağımız saf suyun bozulmasının engellenmesi ve sonuçların ideale yakın çıkması hedeflenmiştir. Su kapları ise dewar içindeki sıvı nitrojen ve suyun daldırma işleminde sürekliliğini sağlayacaktır.

Misina ve Daldırma Düzeneği: Misina, dolu içerisinde bulunan “dolunun çekirdeği” adı verilen kısım görevini görecek ve su tutarak, dolu yağışlarına neden olan Kümülonimbus bulutlarının içerisindeki durumu simüle edecektir. Misinanın bağlı olduğu daldırma düzeneği ise bir seferde daha fazla dolunun ortaya çıkmasını ve kullanım kolaylığı sağlayacaktır. Sıvı nitrojenli dolu yapımında kullanılan malzemeler Resim 3.6’da gösterilmiştir.



Resim 3.7. Sıvı nitrojenli dolu üretiminde kullanılan malzemeler

3.2.4.4. %12 PVA ile Yapay Dolu Üretimi

Bu çalışma yapay dolu üretmek için bir dizi araştırma sonucunda %12 PVA kullanarak yapay dolu üretmeyi amaçlamıştır. Daha önce bazı araştırmacılar %12 PVA kullanarak yapay dolu üretmişlerdir (Uz vd., 2017). Uz vd. (2017) bu yöntem ile ürettikleri yapay doluların yüzde kaçının sağlam kaldığından bahsetmemişlerdir. Doğal dolunun çoğu kırılmadan kalmaktadır. Bu çalışmada %12 PVA ve %88 saf su ile üretilen doluların %90'ından fazlası dinamik etkiden sonra sağlam kalmıştır. Bu yöntem ile yapılan dolular farklı boyutta monolitik (yekpare) olarak üretilmiştir. Dolu taneleri Resim 3.7'de verilen 38 mm, 45 mm ve 50 mm üç farklı çapta küre şeklinde silikon kalıplarda üretilmektedir. Bu yöntem ile yapay dolu üretmek için dikkat edilmesi gereken unsurlar ve adımlar aşağıda verilmiştir.

1. Gereken demineralize (saf su) miktarı %88 olacak şekilde ölçülerek kapağı kapanacak bir kaba konulmalıdır.
2. Gerekli PVA miktarı %12 olacak şekilde ölçülerek demineralize su üzerine ilave edilmelidir.
3. Kullanılan kabın kapağı kapatıldıktan sonra en az 5 dakika boyunca karıştırılmalıdır.
4. Karışımın malzemelerinin homojen bir şekilde çözülmesi için kullanılan kabın %5'i boş bırakılmalıdır.

5. PVA karışımı sıvıyı kolay bir şekilde silikon kalıplara aktarmak için şırınga veya küçük cam huni kullanılmalıdır.
6. Sağlam bir yapay dolu elde etmek için PVA karışımı sıvıyı kalıba aktarmadan önce şırıngada veya silikon kalıbın içinde olası hava kabarcıklarına dikkat edilmeli ve var olması durumunda hava kabarcıkları tahliye edilmelidir.
7. Kalıbın üst kapağının kabarmaması için kapak üzerine bir miktar (kapağın yarısı kadar) su konulmalıdır.
8. PVA karışımı sıvı ile doldurulan kalıplar dikkatli bir şekilde dondurucuya yerleştirilmelidir ve en az 6 saat $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ derecede bekletilmelidir (dondurucuda bekletme süresi genelde 18 – 24 saatte kadar çıkmaktadır).
9. Tamamen donmasından sonra dolu, kalıptan dikkatli bir şekilde çıkartılmadır. Yapay dolu yüzeyindeki çıkıntılar maket bıçağı ile temizlenmelidir ve yüzey pürüzlülük temizliği bittikten sonra dondurucuya konulmalıdır.
10. Dolunun kalıptan çıkarılması esnasında erimemesi ve dolu çapının küçülmemesi için ortam sıcaklığında 2 dakikadan fazla kalmamasına dikkat edilmelidir.
11. Kalıptan çıkartılan doluların dinamik darbe testleri maksimum iki gün içinde yapılmalıdır (bu çalışmanın bulgularına göre daha uzun süre kalan doluların kütle kaybettiği ve kırılma ihtimalinin yüksek olduğunu tespit etmiştir).



Resim 3.8. Bu çalışmada %12 PVA ile üretilen tipik yapay dolular

Resim 3.8’de, eritme işlemi gerçekleştirildikten sonra yapay dolu tanelerinin içindeki %12 PVA malzemesinin görünümü gösterilmektedir. İlgili özelliğin davranışı bir lastik görevi

görür. Bu özellik, bütünlüğü korumak için yapay dolunun gerilme mukavemetinde bir artış sağlamaktadır.



Resim 3.9. Erime ilerledikten sonra%12 PVA malzeme içeren özel bir yapay dolu tanesi

3.2.5. Yapay Doluda Mevcut Olan Standartlar

Tez konusunun araştırılmasını ve doğru bir şekilde analizini yapılabilmesi için doluya dayanıklı bina çatı kaplamalarının dinamik darbe testine ilişkin mevcut standartlar araştırılmalıdır ve standart test sınırlamaları belirlenmelidir. Dolu darbe direncini belirlemek için en yaygın olarak kullanılan mevcut standartlar aşağıda verilmiştir.

- ASTM D-3746 Bitümlü Çatı Sistemlerinin Darbe Dayanımı için Standart Test Yöntemi (ASTM 2008)
- UL 2218 Hazır Çatı Kaplamalarının Darbe Dayanımı (Underwriters Laboratories 1996)
- Dondurucu Buz Topu ile Çarpan Sert Çatı Malzemelerinin Darbe Dayanımı Testi için FM 4473 Test Standardı (ANSI 2011)

3.2.5.1. Mevcut Standartların Test Yöntemleri ve Prosedürleri

ASTM D-3746, 1985 yılında Amerikan test ve malzeme derneği tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu standart bitümlü çelik çatı sistemlerinin darbe dayanımını belirlemek için geliştirilmiştir. Mevcut standart çelik kaplama numunesinin direncini ölçmek için küre başlı silindirler veya çelik bilyeler kullanılarak yapılmaktadır. Çatı sistemlerinin doluya karşı darbe

direncini, çatı kaplama numunesine 25 mm çaplı yarı küresel başlıklı 2.27 kg'lık bir çelik mermiyi havadan serbest bırakarak ölçmektedir. Çelik mermi, 1350 mm yükseklikten bırakılarak 30 J'lük bir darbe enerjisi ile çarpmaktadır. Hasar değerlendirmesi görsel incelemeye dayanmaktadır.

UL 2218 (Underwriters Laboratories 1996) hazır çatı kaplamalarının darbe dayanımı ölçmek için geliştirilen bir standarttır. UL 2218'de uygulanan metot dört ayrı çapta çelik topların farklı yüksekliklerden serbest bırakılarak çatı panellerinin direncini belirlemektedir.

ANSI/FM 4473 (2011) çatı kaplama malzemelerinin darbe dayanımı testi için test standardını 2011 yılında güncellenmiştir. Bu standart, 31.8, 38.1, 44.5 ve 50.8 mm çapında küresel buz topları ile darbeye maruz kalan çatı malzemesinin darbe direncini değerlendirmektedir. Buz topları, kinetik enerjinin belirli bir hedef kinetik enerjiyi %10'dan daha az aşacağı bir hızda itilir. Hedef kinetik enerjiler sırasıyla 5.0, 10.4, 19.0 ve 32.2 J'dir. Buz topları, belirlenen hedefin kinetik enerjisinden %10'dan daha az bir miktar daha fazla bir kinetik enerjinin oluşmasına sebep olacak şekilde hareket etmektedir. Dolu hasarını değerlendirmek için bir parametre olarak kinetik enerjinin kullanılması uygun bir araştırmadan yoksundur ve dolu kütlesi ile dolu tanesinin hızının karesi arasında orantılı bir ilişki olduğunu varsayar ki bu bir dolu fırtınasındaki doğal dolu taneleri için doğru değildir. Ayrıca, test örneğine aktarılan enerji ve kaybedilen enerji ölçülmez veya kontrol edilemez (Crenshaw ve Koontz, 2002).

Araştırmalar, bozulmamış buz toplarının daha ciddi hasara neden olduğunu gösterse de yukarıda bahsedilen standartların tümünde, yapay dolu taşlarının bütünlüğünün önemini açıklığa kavuşturacak hiçbir bilgi bulunmamaktadır (Luong, 2014; Moore ve Wilson, 1978). Mevcut standartlardan kaynaklanan değerlendirme, hasara neden olan dolu tanelerinin özelliklerini simüle edemedikleri için güvenilir sonuçlar vermemektedir. Doğal dolu taneleri ile çelik ve buz topları gibi standart mermiler arasındaki aşırı farklılıklar, bu alandaki eksikliği gidermek için titiz bir araştırmayı gerektirmektedir. Bir çelik bilyenin geri sıçrama katsayısının, bir dolu tanesininkinden farklı olması muhtemeldir ve etkilenen çatı kaplama malzemeleri üzerindeki göçük etkileri arasında net bir ilişki geliştirilemez. Buz topları, dondurma yöntemine, sıcaklığa ve basınca bağlı olarak çeşitli mekanik özelliklere sahiptir. Aynı yöntemle yapılan buz topları bile insan hatası nedeniyle birbirinden farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan yapay dolunun üç farklı standart ile karşılaştırmaları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bu çalışmada üretilen dolunun üç farklı standartla karşılaştırılması

Standartlar	Tür	Darbe Enerjisi (J)	Kütle (g)	Çap (mm)	Mesafe (mm)
ASTM D-3746	Çelik silindir	22	2770	50	1355
FM 4473	Buz topu	11.6	16.25	38.1	<1500
		20.9	42.1	44.5	
		35.5	62.9	50.8	
UL 2218	Çelik top	9.8	218	38.1	<1500
		18.3	358	44.5	
		31.2	521	50.8	
Bu çalışmada üretilen dolular	%12 PVA'lı suni dolu	10	27.8	38	1000
		19.9	45.9	45	
		32	64.2	50	
	Azotlu dolu	22.7	53.1	46	
		22.8	54.2	47	
		23.4	56.5	48	
		25.3	61.2	49	
	Pamuklu dolu	22	45.1	45	
	Saf dolu	12	44.9	45	

4. BULGULAR

4.1. Dinamik Dolu Testi için Amaca Uygun Ekipman

Bu deneysel çalışmanın test şeması, yapay dolu tanelerinin pnömatik tahrikine dayanmaktadır. Dinamik dolu darbe testleri üzerinde birçok araştırmacı birbirinden farklı deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu yapılan çalışmalardaki dinamik darbe testlerinin bazıları dikey bazıları da yatay olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmacıların dolu darbe testlerini dikey olarak yapmalarının en önemli sebebi doğal dolu koşullarını sağlamaktır. Kim, Pnömatik tabancanın dikey olarak monte edilmesinin önemli faydalar sağlamadığını, aksine pnömatik tabancanın dikey olarak monte edilmesinin test şemasını daha karmaşık hale getireceğini ve güvenlik tehlikelerini artıracığını ifade etmiştir (Kim, 2003). Yatay test şeması birkaç araştırmacı tarafından başarıyla kullanılmıştır (Crenshaw, 2002; Rhymer, 2012; Uz vd. 2017; Yılmaz vd. 2020). Bu çalışmadaki dinamik darbe testleri yatay olarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik dolu çarpma deneyini gerçekleştirmek için kullanılan ekipman Uz vd. (2017) tarafından özel olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Ekipman, bir dolu fırlatıcı ve bir koruyucu ünite içerir. Ekipman amaca yönelik olarak üretildiğinden, deneysel prosedürü geliştirmek ve doğal koşulların iyi bir temsilini elde etmek için yüksek düzeyde ayrıntı ve işlevsellik oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında özel olarak tasarlanan ve hâlihazırda ADÜ Dolu Laboratuvarı'nda aktif bir şekilde kullanılan ekipman Bölüm 4.1.5'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

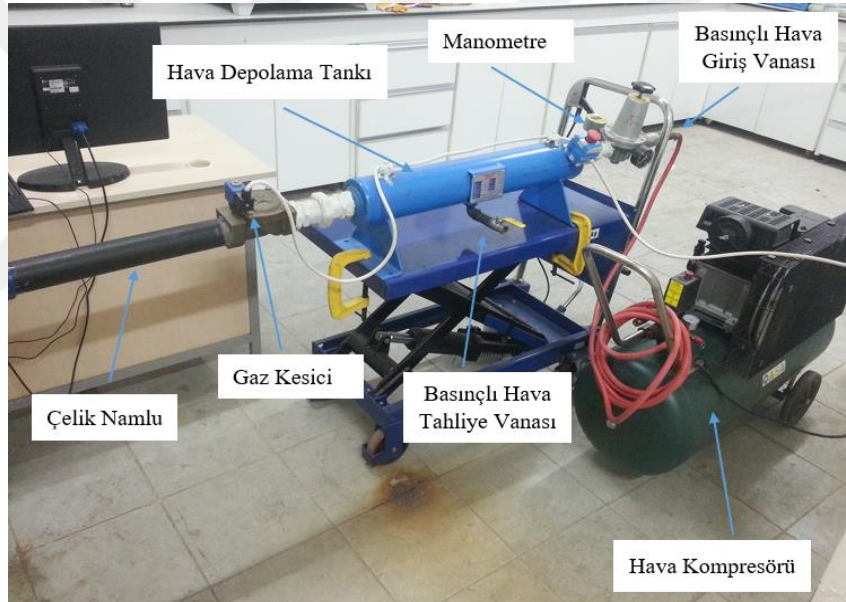
4.1.1. Dolu Fırlatıcı (Basıncı Silah)

İzlenecek yöntem kullanılacak olan dolu tanelerinin çapları için gerekli olan terminal hız hesabını sağlamak için yeterli basıncın bulunması üzerine dizayn edilmiştir. Terminal hız (dolunun kendi düşme hızı) için dizayn edilen deney dolunun ağırlığına karşılık gelen hava akım hızının ölçülmesine izin vermektir. Basıncı dolu fırlatıcı hava kompresörü ile birlikte sabit bir yüzeye bağlanmaktadır. Dolu fırlatıcının üzerine sabit düşey hava yoğunluğunun içinde hızlıca hava akımı dağılımının kontrolünü sağlamak için bir PVC boru yerleştirilir. PVC'nin genişletilmiş ucuna yukardan sabitlenmek kaydıyla asma terazi yerleştirilir. Asma

terazisine dolu yerleştirildikten sonra dolunun yarısı borunun genişletilmiş yerinin yarısına diğer yarısı da dar ucuna gelecek şekilde ayarlanır. Bu yöntemle dolunun alt yarısında sabit hava akışını sağlayarak, üst yarısında havanın dolunun etrafında akışını sağlayacak sınır etkilerinin azaltılması beklenmektedir. Bilindiği üzere terminal hız denklemleri ile ilgili yeterli doluların ağırlıklarına karşılık hız değerleri pratikte bilinmektedir. Bu yöntemle, hava akımı hızölçer kullanılarak hız ölçümleri hava akımını kesmeden en hassas şekilde dolunun mümkün olduğu kadar en yakın alt yüzeyinden alınarak gerçekleştirilir. Böylelikle her boyuttaki dolunun hızına ve ağırlığına karşılık gelen hava jeti sayesinde basınç belirlenmiş olur. Dolu fırlatıcı 8 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, namlu, özel tasarlanmış hava tankı, manometre, vanalar, hava kompresörü, dolu tutucu ve güç kaynağıdır.

1. Namlu: İç çapı 52 mm olan et kalınlığı 4 mm'lik çelik bir silindirden oluşmaktadır. Daha önceki araştırmacıların deneyimlerinden yola çıkarak, PVC kaplı bir boru ile ilk denemelerin başarısız olmasından dolayı namluda çelik malzeme tercih edilmiştir. Böylelikle hava kesicisine kaynakla bağlanarak eklem yerlerinde basıncın etkisi ile kırılmalardan kaçınılmıştır.
2. Özel Olarak Tasarlanan Hava Tankı: AS1210'ın basınçlı tanklar için geçerli şartnamesine göre yapılmıştır. Sadece dolu tanesinin ağırlığına karşılık gelen yukardaki yöntemle hesaplanan yeterli basınç tespit edilip o miktarda hava tankın içinde depolanmaktadır. Tank için tasarım basıncı 1.1 MPa alınırken, üst limit olarak 1.65 MPa olacak şekilde dikkate alınmıştır. Hava tankına Solenoid hava kesicinin dönüştürücülerle monte edilmiş çıkış noktası 45 mm, hava kompresörünün hortum kısmının giriş noktası 10 mm deliklere sahiptir.
3. Manometre: İstenilen basınca ulaşmak için doğru hava basıncının ayarlanmasını sağlayacaktır. 10 barı (160 psi) geçmemesi için manometrede uyarı işareti konulacaktır. Kullanılacak maksimum dolu genişliği bu çalışmada 50 mm olarak alındığı için, bu hacimde olan bir dolunun düşeceği terminal hızı 90 km/sa'ti (25 m/s) geçmeyecektir. Dolasıyla 12.5 psi basınç 23 -27 m/s aralığa denk gelebilmektedir.
4. Vanalar: Tahliye ve basınçlı hava girişini sağlayacaktır. Giriş yerindeki vana yardımıyla istenen hava girişi ayarlanabilmektedir ve acil havayı boşaltmak için ise hava tankının ortasına vana konulmuştur.

5. Hava Kompresörü: Basınçlı havanın elde edilmesini sağlamaktadır. 100 litrelik olup, basınç kontrol mekanizması hassas, çalışma basıncı 10 bar ve motor gücü 2hp'dir.
6. Gaz Kesici: Dolu silahı için tetik mekanizması görevi görmektedir. Hava akımını (istenilen terminal hıza karşılık gelen basınç) hava tankı içinde tutarak DC akım ile aniden açılması namlu içinde bulunan dolunun terminal hızla hareketini sağlamaktadır. Hava akımını tutabilmek ve açabilmek için güç kaynağı tarafından doğru akımla (0 – 30V) bağlanabilen namlu ve hava tankını 45 mm'lik den 55 mm'ye ve 55 mm'den 10 mm'ye dönüşebilen bağlantı elemanı ile iki çıkış çapı 55 mm'lik Solenoid hava kesici vana kullanılmıştır. Dolu fırlatıcıyı oluşturan ana unsurlar Resim 4.1'de gösterilmiştir.



Resim 4.1. Dolu fırlatıcıyı oluşturan unsurlar

7. Dolu Tanesi Tutucu: Çelik manşonun ön tarafına bir civata ve rondelayla sabitlenmektedir. Dolu tanesi tutucusu namlunun içine yerleştirilmekte ve bir PVC silindirden oluşmaktadır. Dolu tanesinin hızlanması sırasında zarar görmesini engellemek için tutucu ve dolu tanesi arasında bir miktar yüksek yoğunluklu köpük konulmaktadır.

8. Güç Kaynağı: 30V 10A üç-çıkış lineer DC (doğru akım) güç kaynağı ile AC akımdan DC akıma dönüş sağlanacaktır. Bir çıkışı doğrudan gaz kesiciye bağlanarak ateş düğmesi bağlanmaktadır. Böylelikle gaz kesicinin içindeki gaz akımının solenoid vanadan da geçerek namlu gelmesi sağlamaktadır.

4.1.2. Koruyucu Ünite

Koruyucu ünitesi dinamik dolu çarpma testinin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için özel olarak tasarlanıp inşa edilerek kullanılmıştır. Koruyucu ünitesi Resim 4.3'te gösterildiği gibi 140 x 180 x 180 cm ebatlarında, 100 x 100 x 5 mm çelik kutu profiller yardımıyla bir çerçeve sistem haline getirilerek kurulmuştur. Dolu tanelerini güvenli bir şekilde içinde tutmakta ve deney esnasında dolu fırlatıcıdan duyulacak sesi azaltmaktadır. Aynı zamanda, dolu tanesi atıcı namlusuna birden fazla giriş noktası sağlayarak, namlu için biçimi bozulmadan bir yerleştirme noktası sağlamaktadır. Koruyucu ünitesinin üç yönü plywood ahşap panel malzemesiyle çevrilmektedir. Koruyucu ünitesinin atışın gerçekleştirilebilmesi için 100 mm çaplı iki sıra şeklinde 10 tane giriş noktası bulunmaktadır. Koruyucu ünitesinin kalan bir yan yüzeyine 12 mm kalınlığında 1.25 m x 1.25 m boyutlarında damperli cam takılmaktadır. Bu sayede dışardan görüntü alınımı sağlanmıştır. Yüksek hızla kaydeden kamerayı seken dolu parçalarından zarar görmemesi için kamera dışarı konulmaktadır. Resim 4.2 dolu koruyucu ünitesini göstermektedir.



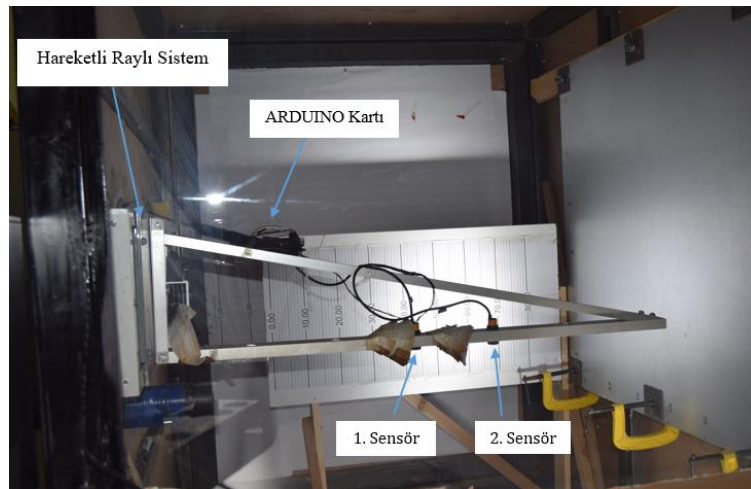
Resim 4.2. Koruyucu ünitesi

4.1.3. Yüksek Hızlı Kamera

Yüksek hızlı kamera çarpışma yönünün normaline yerleştirilerek çarpışmadan hemen önce, çarpışma esnasında ve çarpışma sonrasında yapay dolunun durumunu belirlemede kullanılmaktadır. Dolu hızını hesaplayabilmek için ağır çekim kamerası gerekmektedir. Ağır çekim kamerasının proje yürütücüsünün deneyimlerinden yola çıkarak saniyede en az 1000 fps kare görüntü yakalayabilmesi gerekmektedir. Ayrıca sadece dolunun hızı değil, aynı zamanda dolunun çarpma anı ve çarpma sonunda dolu tanesinin bütünlüğünü koruyup korumadığı da tespit edilebilmelidir.

4.1.4. Lazer Hızölçer

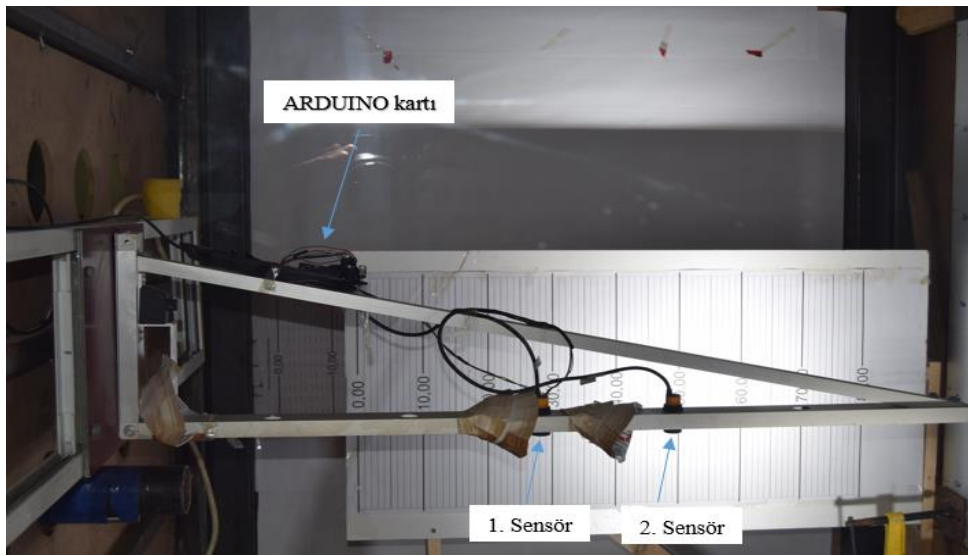
Lazer hızölçer ilerleyen dolunun hızını ölçmektedir. Yüksek hız kamerası ile elde edilen hızı karşılaştırmak amacıyla bu yöntem tercih edilmiştir. Dolu tanesinin hızı bu çalışma kapsamında oluşması muhtemel çukur boyutlarını hesaplamak için oluşturulacak matematiksel denklemde önemli parametre olacağı için hata payı minimize edilmiş olacaktır. Bu çalışmada MATLAB üzerinden ARDUINO kartı ile sistem kontrolü bir şekilde sensörler yardımıyla hız hesaplanması yapılabilmektedir. Sensörlerin dolunun hedefe ulaşırken geçeceği yol güzergâhına doluya olabildiğince zarar vermeyecek yakınlıkta olabilmesi için Resim 4.3'te gösterildiği gibi koruyucu ünite içeresine hareketli bir raylı çerçeve sisteme monte edilerek yerleştirilmektedir.



Resim 4.3. Lazer hızölçer

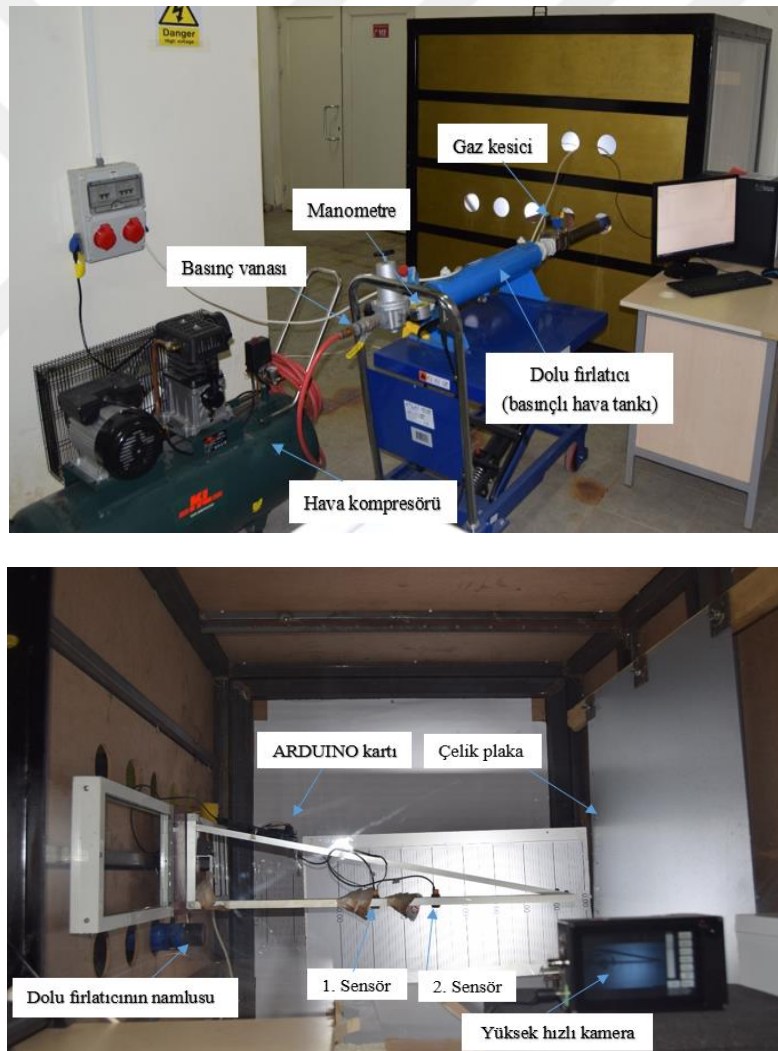
4.1.5. ADÜ Laboratuvarı Test Düzenegi

Dolu tanelerinin çelik kaplama üzerindeki etkisini simüle etmek için kullanılan ekipman Uz vd. (2017) tarafından tasarlanmış ve imal edilmiştir. Cihaz, diğ er malzemelerin yanı sıra bir dolu fırlatıcı, bir koruyucu ünitesi ve saniyede en az bin kare (1000 fps) kayıt alabilen yüksek hızlı kameradan oluşmaktadır. Ekipman, doğal koşulları iyi bir şekilde temsil etmesi için amaca uygun olarak üretilmiştir. Dolu fırlatıcı özel tasarlanmış bir hava tankı, bir gaz kesici, iki adet manometre, basınçlı hava depolama ve hava tahliye vanaları, hava kompresörü, bir dolu tutucu ve çelik namludan oluşmaktadır. Çelik borudan yapılan namlunun iç çapı 52 mm ve borunun et kalınlığı 4 mm'dir. Çelik namlu ile koruyucu ünite içinde dik (90 derece ile) sabitlenen çelik sac arasındaki mesafe ise 1,0 mm'dir. Dolu fırlatıcıya basınçlı hava sağlamak için hava kompresörü çalıştırılarak özel tasarlanmış hava depolama tankı istenilen seviyede basınçlı hava ile doldurulmaktadır. Yapay dolu ile dolu tutucunun arasına yerleştirilen yüksek yoğunluklu bir köpük bloğu, dolunun hızlanması sırasında doluyu korumaktadır. Çarpma yönüne dik olarak yerleştirilmiş yüksek hızlı bir kamera, dinamik darbe testlerinin hemen öncesinde, çarpma sırasında ve sonrasında yapay dolu tanelerinin durumunu belirlemek için testleri kaydetmektedir. Kameradan elde edilen hızları doğrulamak için, MATLAB aracılığıyla ve ARDUİNO kartı ile tasarlanmış sensörler Resim 4.4'te gösterildiği gibi koruyucu ünitenin içinde bir çerçeveye monte edilerek hız kontrolü sağlanmaktadır.



Resim 4.4. MATLAB aracılığıyla ARDUİNO kartı kullanılarak tasarlanmış hız sensörleri

Dinamik dolu çarpma işlemi, dolu fırlatıcının yanında bulunan hava vanasının açılmasıyla başlamaktadır. Çelik numuneyi koruyucu üniteye monte edilen çerçeveye yerleştirdikten ve numuneyi istenen yüksekliğe ayarladıktan sonra, koruyucu ünitenin kapısı kapatılır. Dolunun kütlesi ve boyutları, dolu fırlatıcı namlusuna yerleştirilmeden önce ölçülür ve kaydedilir. Fırlatıcının girişi (hava deposu) hava kompresörüne monte edilir ve istenen basınç seviyesine kadar doldurulur. İstenilen basınç, yapay dolunun terminal hızına ulaşarak belirlenmektedir. Yapay dolunun atış hızı Resim 4.5'te verilen yüksek hızlı kamera kaydı ile hesaplanmaktadır. Dolu fırlatıcı tamamen basınçsız hale getirildikten sonra, çelik saclarda oluşan çukur derinliği ve çukur çapları ile ilgili gerekli parametreler mümkün olduğunca doğru bir şekilde ölçülür.



Resim 4.5. ADÜ laboratuvarı deney kurulumu

4.1.6. ADÜ Laboratuvarı Dinamik Dolu Çarpma Test Prosedürü

Bölüm 4.2'de bahsedilen deney ekipmanı, hem işlevsel hem de deney verimliliği gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Deney ekipmanının tasarım özelliklerini içeren aşağıdaki test prosedürü geliştirilmiştir.

1. Hava kompresörünü açın ve dolu fırlatıcının yanına yerleştirin.
2. Koruyucu ünite içinde monte edilen çerçeveyi istenilen yükseklik seviyede ayarlayın, çelik numune levhasını monte edilen çerçeveye sabitleyin.
3. Dolu fırlatıcının namlusunu koruyucu üniteye istenen erişim noktasının içinde olacak şekilde yerleştirin.
4. Dondurucudan suni dolu tanesini çıkarın ve kütle ve boyutları kaydedin.
5. Dolu tanesini dolu fırlatıcı namlusunun içine dikkatli şekilde yerleştirin.
6. Koruyucu ünite kapısını kapatın.
7. Hava kompresörünü dolu fırlatıcının hava girişine takın ve istenen basınç seviyesine kadar doldurun.
8. Dolu tanesini, çelik numune levha üzerine dinamik darbe etkisini gerçekleştirmek için dolu fırlatıcıdaki atış mekanizmasını serbest bırakın.
9. Dolu fırlatıcının basıncının tamamen boşaltıldığından emin olun ve hava tahliye vanasını açın.
10. Koruyucu üniteye her bir dolu atışı için 3 ila 9 arasındaki adımları tekrarlayın.
11. Koruyucu ünite kapısını açın. Çelik numunedeki dent çapını, dent derinliğini ve diğer gerekli parametreleri kaydedin. Çelik numuneyi koruyucu üniteden çıkarın.
12. Her çelik numunesi için 2 ila 11. adımları tekrarlayın.

4.1.7. ADÜ Laboratuvarında Testlerde Kullanılan Çelik Levhalar

Dinamik dolu çarpma testi deneyi için kullanılan çelik numuneler mümkün olduğunca fazla çeşitlilik sağlayacak şekilde seçilmiştir ancak ADÜ dolu laboratuvarının bütçesinin

sınırlı olması nedeniyle 0.30 mm - 1.00 mm arasında değişen ve kalite sınıfı G300 olan elik seçilmiştir. Dinamik darbe testi için kullanılan elik numuneler izelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Dinamik darbe deneyin kullanılan elik plaklar

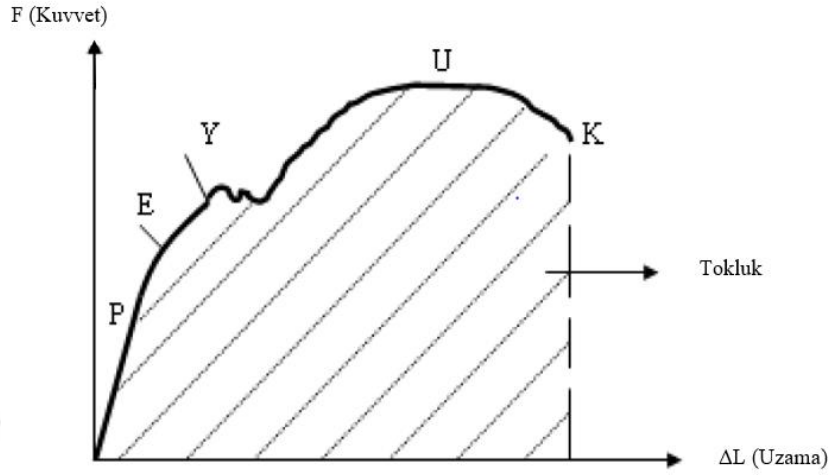
elik sınıfı	Plaka kalınlığı (mm)	Plaka sayısı
G300	0.30	4
	0.45	6
	0.60	4
	0.70	4
	0.80	3
	1.00	3

Çizelge 4.1’de verildiği üzere bu çalışmada altı farklı kalınlıkta elik plaka kullanılmıştır. Dinamik testlerinde kullanılan elik plakaların boyutu 1.0 x 1.0 m’dir. Her bir elik plakada 10 adet atış yapılmıştır. Bu çalışmada toplamda 240 dinamik darbe testi gerçekleştirilmiştir. Testler şu şekilde etiketlenmiştir: elik kalınlığı (mm), elik akma dayanımı (MPa), dolu tanesinin çapı (mm), atış açısı (0°). Test numaralandırması şu şekilde yapılmaktadır: Örneğin; G300/0.30/45/0/(1) soldan sağa G300 elik kalite sınıfı, 0.30 plaka kalınlığı, 45 mm dolu çapı, 0 atış açısı ve (1) birinci test olarak etiketlenmiştir.

4.1.8. Çekme Deneyi

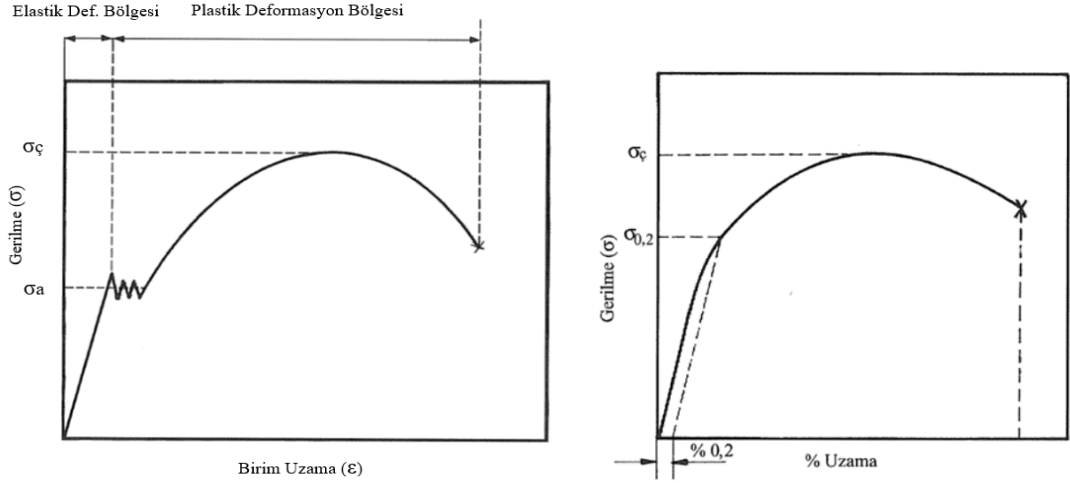
Mühendislik malzemeleri sert olmadığından, kuvvet altında deforme olup şekil ve boyut değişiklikleri gösterirler. Malzeme özelliklerini anlamak ve öğrenmek için mekanik testler yapılmaktadır. Bunlardan en önemlisi çekme deneyidir. Çekme deneyinin amacı, statik yük altındaki malzemelerin elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bu amaçla, boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli bir test parçası; çekme cihazına bağlanarak aksel ve değişken kuvvetler uygulanmaktadır. Çekme cihazı esas olarak, deney parçasının bağlı olduğu birbirine göre yukarı ve aşağı hareket edebilen iki eneden ve bu iki boyutu ölçen ve onlara hareket veya kuvvet veren birimlerden oluşmaktadır. enelerden birini sabit bir hızda hareket ettirerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanarak

bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilmektedir. Şekil 4.1’de kuvvet altında birim uzama eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kuvvet altında birim uzama eğrisi

Bu deneyde kuvvet (F) ve uzama (ΔL) eğrileri elde edilmektedir. Ancak daha kabul gören gerilme-uzama eğrisidir. Bu nedenle uygulanan kuvvet, numunenin ilk kesit alanına bölünerek ($\sigma = F/A_0$), kuvvet değerleri gerilme değerlerine dönüştürülür ve gerilme-uzama grafiği elde edilir. Bu grafik Şekil 4.2’de gösterdiği gibi düşük karbonlu çeliklerde (yumuşak çeliklerde) akma bölgesinde bir dalgalanma şeklinde ortaya çıkarken yüksek karbonlu çeliklerde (sert çeliklerde) düz bir hat olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle sert çeliklerde akma bölgesini gözle tespit etmek zor olduğu için elastik bölge çizgisi %0.2 ötelenerek ana çizgiyi kestiği nokta akma noktası olarak kabul edilmektedir. Düşük karbonlu çelik ile yüksek karbonlu çeliğin yük altındaki diyagramı Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. Düşük karbonlu çelik ile yüksek karbonlu çeliğin yük altındaki diyagramı

Çekme deneyi sonucunda malzemenin elastisite modülü, akma gerilmesi, kopma dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk gibi süneklik değerleri belirlenmektedir. Bu özellikler malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine, metalografik yapısına bağlıdır. Çekme deneyi sonucunda ortaya çıkan en önemli mekanik özellikler şunlardır: Akma dayanımı (σ_a), Çekme dayanımı (σ_c), Elastisite modülü (E) ve Birim şekil değiştirme (ϵ)'dir.

4.1.9. Çekme Deneyinin Yapılış Prosedürü

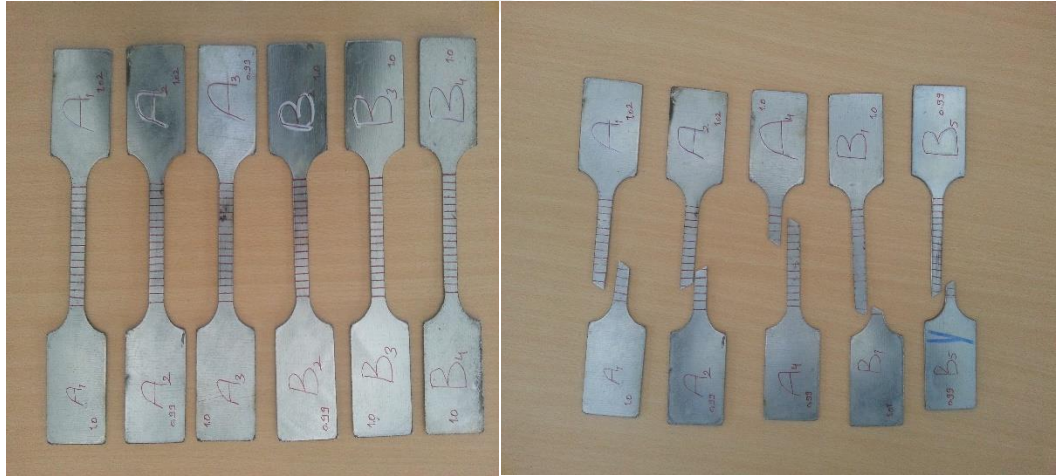
Çekme testi için önce test edilecek malzemeden standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanır. Bu numune üzerine her 5 mm aralıklarla işaretler konulmaktadır. Çekme deney makinesinin çeneleri arasına düzgün ve ortalayacak bir şekilde sıkıştırılan bu numune gittikçe artan bir yük ile kopuncaya kadar çekilmektedir. Bu esnada uygulanan F yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzamalar (ΔL) numune üzerinde sabitlenen ekstensometre ile ölçülmektedir. Deney sonucu elde edilen yük (F) ve uzama (ΔL) değerlerinden yararlanarak (F – ΔL) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denilmektedir.

4.1.9.1. Çelik Sacın Kupon Çekme Deneyi

Çekme kupon testleri, araştırma ve endüstride metalik malzemelerin malzeme özelliklerini belirlemek için yaygın olarak gerçekleştirilir. Malzeme özellikleri, araştırma ve yapısal tasarımda çok önemli bir temel oluşturmaktadır. Farklı araştırmacılar kupon testi



Resim 4.6. Çekme testi ekipmanı

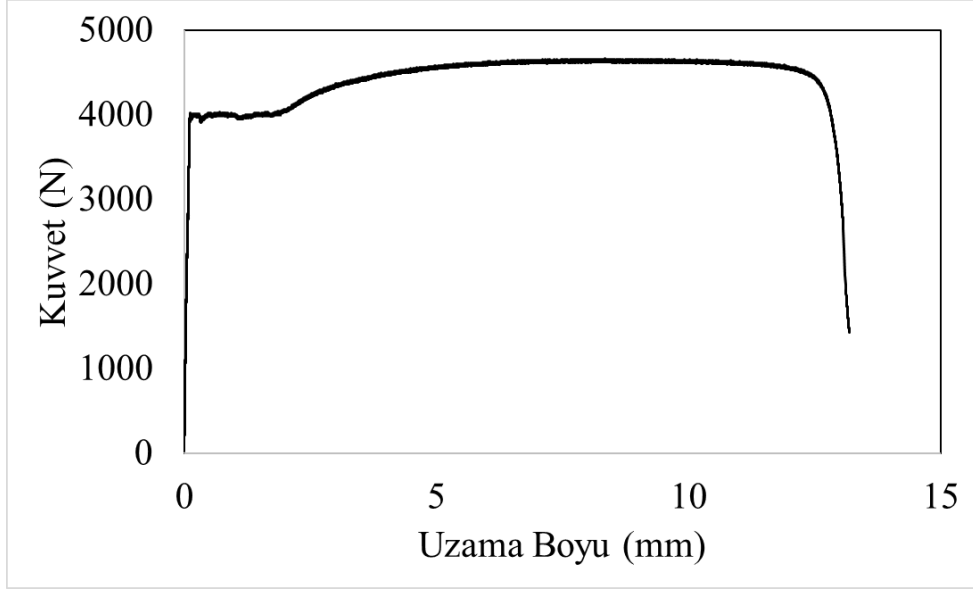


a) çekme testinden önce

b) çekme testinden sonra

Resim 4.7. Çelik saclardan kesilen kupon numuneleri

Çekme dayanımı 300 Mpa olan çelik sacın, Şekil 4.4'te görüldüğü üzere statik yükleme altındaki çekme deneyinden elde edilen kuvvet-uzama grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.4. Çekme deneyinde elde edilen kuvvet-uzama eğrisi

Çizelge 4.2'de ortalama mühendislik malzemesi özellikleri özetlenmiştir. Çekme kuponun üzerine 5 mm'lik aralıklarla işaretlenen çizgiler 15, 25 ve 50 mm'de oluşacak olan uzama miktarlarını belirlemek için çizilmiştir. Çalışmada bu aralıkların seçilmesinin sebebi, kırılma noktasının hangi aralıkta yüzdelik olarak hangi oranda uzadığının belirlenmesidir. Ayrıca kırığın dışında kalan bölgenin düzgün uzama miktarı da ϵ_{uo} olarak gösterilmiş ve ölçülmüştür. Ölçümler kalınlık ölçer kumpası ile ölçülmüştür. Yükleme ve malzeme tane yönelimlerine ilişkin bu çalışmadaki gözlemler Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere, çelik sacın haddeme yönüne dik olarak yüklenen numunelerden elde edilen sonuçların, kırılma sırasında daha düşük uzamalara sahip kapasitelere yol açacağını göstermiştir.

Çizelge 4.2. Çelik sacın kupon çekme deneyinden elde edilen malzeme özellikleri

Test No	t (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_u / f_y	ϵ_{15} (%)	ϵ_{25} (%)	ϵ_{50} (%)	ϵ_{uo} (%)
1/A ₁	1.0	336.0	472.4	1.4	39.3	32.2	24.9	13.7
2/A ₂	1.0	320.0	420.5	1.3	33.1	25.0	22.2	13.5
3/B ₁	1.0	317.6	374.5	1.2	31.5	25.0	17.2	10.1

4.2. Dinamik Dolu Etki Deneyi

Dinamik dolu darbe testi, yapay dolu tanelerinin çelik çatı ile tutarlı bir şekilde sabitlenmiş çelik numunelere yatay olarak itilmesini sağlamaktadır. Dolu tanesinin kütlesi, boyutu, çarpma hızı, buna karşılık gelen çukur derinliği ve çukur çapı deneyde kaydedilir. Dikey testlerle karşılaştırıldığında, yatay test ekipmanının karmaşıklığını, güvenlik tehlikelerini azaltır ve deneylerin kolaylığını artırır. Dolu tanelerinin dikey olarak çelik numunelere doğru itilmesi, doğal dolu etkilerine benzer koşullar oluştursa da faydaların önemsiz olduğu bulunmuştur (Maguire, 2014). Yatay tahrikli dolu darbe testi birçok araştırmacı tarafından başarıyla uygulanmıştır (Crenshaw ve Koontz 2002; Rhymer, 2012; Tippmann, 2011; Uz vd., 2017; Yılmaz vd. 2020).

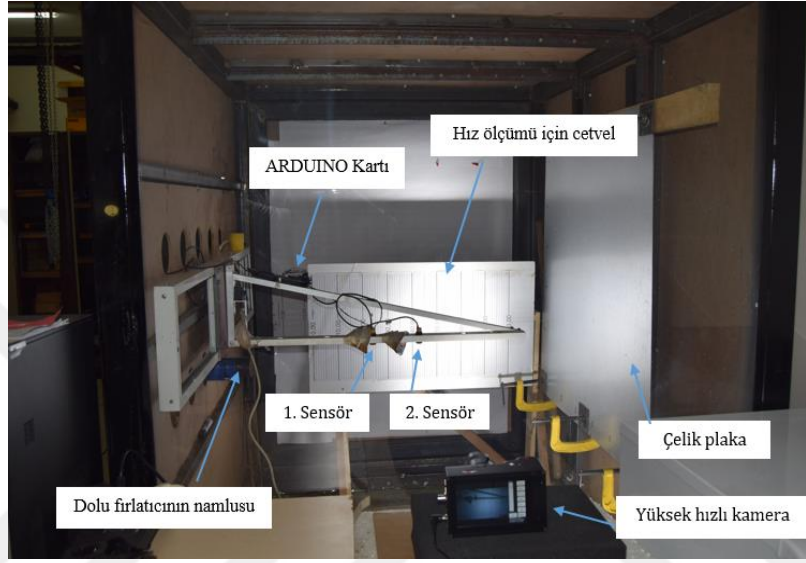
4.3. Mevcut Yapay Dolunun Doğrulanması

Bu çalışmayı doğru bir şekilde analiz etmek için daha önce dolu üzerinde araştırma yapan araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Ramsay (2015), 0.35 mm kalınlığındaki G550 çelik sac üzerinde 28.0 ve 30.7 m/s hızlarında saf buz toplarının deneysel darbe testlerini gerçekleştirmiştir. Ramsey (2015), daha ince çelik sacların çarpmadan sonra bozulmadan kalan saf buz toplarına yol açabileceğine dikkat çekmesine rağmen, deneyinde sadece 50.8 mm çapında iki saf buz topu başarılı bir şekilde bozulmadan kalmıştır. Bu testler için göçük derinlik sonuçları sırasıyla 3.0 ve 4.1 mm olarak belirtmiştir. Aynı tip çelik sac (0.35 mm kalınlığında G300 çelik sac) üzerinde 50.8 mm çapında mevcut yapay doluların 29.2 ve 30.7 m/s'lik hızlar ile darbe testinin göçük derinlikleri, sırasıyla 3.08 ve 4.15 mm olan Ramsay'ın elde ettiği sonuçlara benzer sonuçlar alınmıştır. Bu nedenle, darbeden sonra bozulmadan kalan saf buz toplarının göçük derinlikleri, mevcut yapay dolu tanelerinden belirgin şekilde farklı bulgulara yol açmamıştır.

4.4. Darbe Hızının Ölçümü

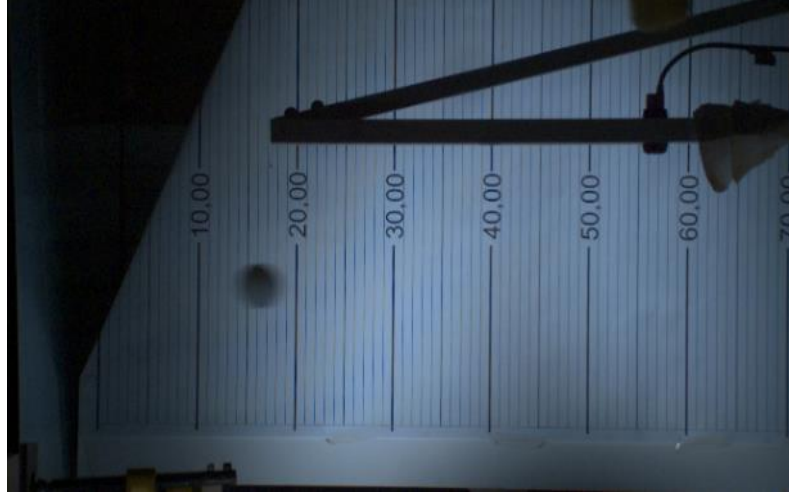
Yapay dolunun çarpma hızı, yüksek hızlı kamera ve arka planda çizgili beyaz cetvel kullanılarak ölçülmüştür. Beyaz tahtanın uzunluğu 800 cm'dir ve 80 eşit parçaya bölünmüştür.

Beyaz tahta, geri tepme hızını da ölçmek için çelik numunenin yanına yerleştirilmektedir. Yüksek hızlı kamera saniyede 2800 kare hız kaydedebilme potansiyeline sahiptir. Bu kadar yüksek bir kare hızında kayıt yapmak, önemli ölçüde bellek alır ve böylece pratik kayıt süresini sınırlar. Yapay dolunun uçuşunu yakalamak ve sonraki kayıtlar için yeterli hafızayı korumak için saniyede 1502 kare hızı kullanılmıştır. Dolu tanesinin çarpma hızı, Resim 4.8'de gösterildiği gibi yüksek hızlı bir kamera kullanılarak kaydedilmektedir.



Resim 4.8. Yüksek hızlı kamera ve deney kurulumu

Resim 4.9'da dinamik dolu darbe testinden hemen önce ve darbe testinden hemen sonra yüksek hızlı kamera tarafından kaydedilen iki görüntü gösterilmektedir.



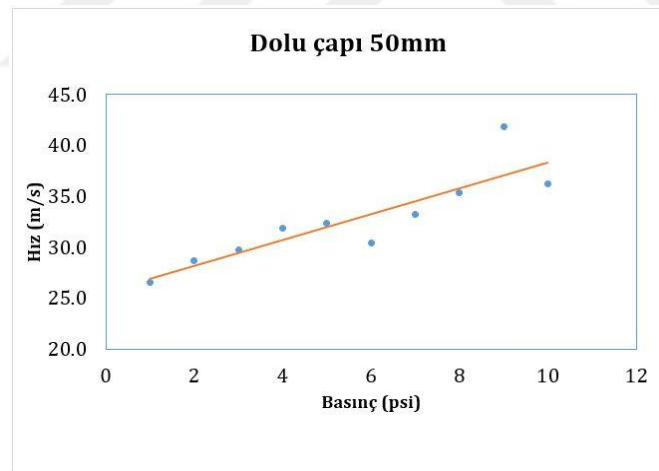
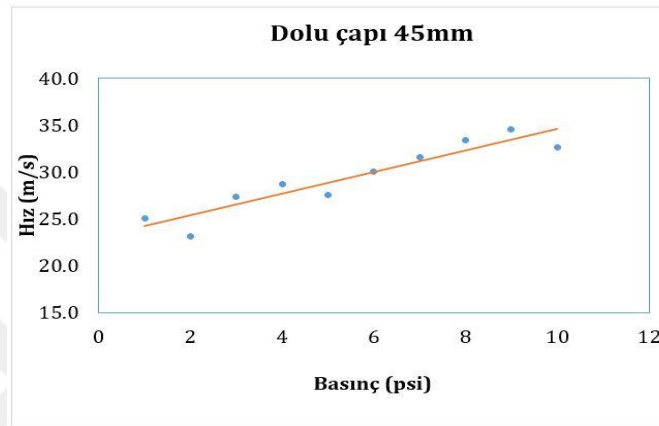
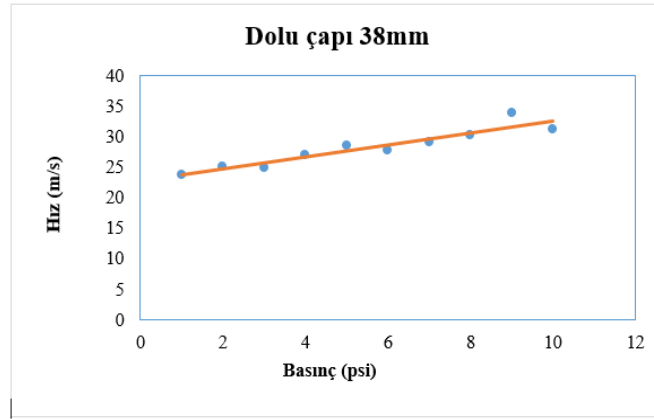
a) Darbeden hemen önce



b) Darbeden hemen sonra

Resim 4.9. 38 mm çapında %12 PVA'lı dolunun, 43.5 psi'lik basınç etkisindeki görüntüsü

Şekil 5.1'de bu çalışmada test edilen yapay dolu tanelerinin atış basıncı ile hızı arasındaki ilişki gösterilmektedir.

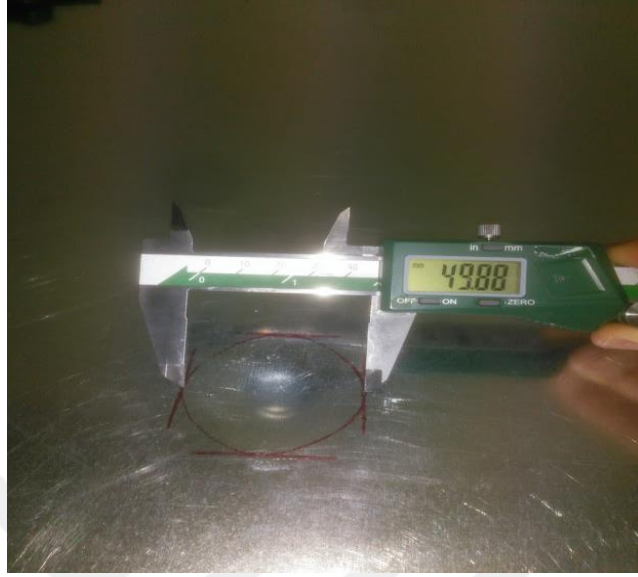


Şekil 4.5. Gaz tabancası basıncı ile çarpma hızının arasındaki ilişki

4.5. Çukur Boyutu ve Çukur Derinliğinin Ölçümü

Çukur boyutu iki parametre ile karakterize edilmektedir. Bunlar çukur derinliği ve çukur çapıdır. Çukur çapı Resim 4.10'da gösterildiği gibi test yapıldıktan sonra bir çift Vernierli

kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Hem dikey yöndeki çap D_y hem de yatay yöndeki D_x , kaydedilmektedir. Çukur çapı bu iki değer in ortalaması olarak alınmıştır.



Resim 4.10. Çelik panel üzerinde oluşan çukur çapı

Çukur derinliği, bir derinlikölçer kullanılarak çelik numune koruyucu üniteden çıkartıldıktan sonra ölçülmüştür. Koruyucu üniteden çıkartılan çelik plaka üzerinde oluşan çentiklerin zarar görmemesi için dikkatli bir şekilde düz bir alan veya düz bir masa üzerine yatırılır. Derinlikölçer çentik içinde gezdirilip, maksimum derinlik noktası okunduktan sonra kaydedilmiştir. Resim 4.11’de çelik plaka üzerine oluşan derinlikölçer ile ölçülen çukur derinliği gösterilmektedir.



Resim 4.11. Çelik panel üzerinde oluşan çukur derinliği

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada %12 PVA içeren 180 adet yapay dolu, azot +4 °C'lik saf su ile 35 adet yapay dolu, %1 pamuk + %99 saf su içeren 7 adet yapay dolu ve %100 saf su ile 7 adet buz topu ile dinamik darbe testi yapılmıştır. PVA'lı, pamuklu ve saf sudan üretilen yapay dolular silikon kalıpta yapılmaktadır. Azot ile üretilen dolular elle yapıldığından dolayı, dolu çapları diğer üç yöntemle göre farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada 38, 45, 46, 47, 48, 49 ve 50 mm'lik yedi farklı boyut kullanılmıştır. Dolu fırlatıcı tarafından uygulanan basınç 35 ila 50 psi arasında değişmekte ve yaklaşık 22-49.3 m/s'lik bir hız aralığı ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışma Şekil 4.5'te benzer darbe hızı ve basınç grafiğini kullanarak buz topunun her boyutu için darbe hızını tahmin etmektedir. Çizelge 5.1'de yapılan testlerin malzeme bileşenleri, boyutları, uygulanan basınç ve test sayısı listelenmiştir. Çizelge 5.2'de mevcut çalışmada üretilen ve test edilen yapay dolu tanelerinin özellikleri niteliksel olarak değerlendirilmektedir. Saf su ile üretilen yapay doluların neredeyse tamamı çelik plakaya çarptıktan sonra parçalanmıştır. Demineralize su ile yapılan dolular Resim 3.3'te görüldüğü üzere şeffaf ve çabuk kırılan bir yapıya sahiptir. %1 pamuk +%99 saf su ile yapılan yapay dolu tanelerinin darbeden sonra çoğu ezilmiş (kırıldı ama pamuk lifleri parçalanmayı önledi) ve çarpma noktasında kütle kaybı meydana gelmiştir. Azot ile yapılan 35 yapay dolunun 9 tanesi darbe testinden sonra sağlam kalabilmiştir. Bu yöntemle üretilen yapay doluların en önemli özelliği doğal dolular gibi içten dışa donmasıdır. %12 PVA içeren yapay dolular dinamik darbe testinden sonra %90'ından fazlası bütünlüklerini korumuştur. Çarpışmadan sonraki kriterlerden bütünlük ve yoğunluk verileri Çizelge 5.2'de görülmektedir.

ASTM: F320-10 standardı tarafından önerilen %12 pamuklu dolu, %12 PVA'lı suni dolunun aksine, pamuk lifleri suda eşit olarak dağılmadığı için homojen olmama dezavantajları vardır. Pamuk lifleri yapay dolunun kırılma mukavemetini artırmasına rağmen, pamuk liflerini çevreleyen buz parçacıkları çarpma esnasında ezilmektedir. %12 PVA içeren yapay dolular, Bölüm 3.2.1'de tanımlanan kriterlerin tamamına ulaşmaktadır. Bu yöntemle üretilen dolu taneleri terminal hızından sonra bütünlüklerini korumuştur. Ayrıca bu yöntemle üretilen yapay dolu taneleri doğal dolunun diğer karakteristik özelliklerine çok yakındır.

%12 PVA kullanmanın bir diğer avantajı, APVA'nın suda homojen olarak çözülebilmesidir, böylece bu yöntemle üretilen yapay dolular homojen özelliklere sahip

olmuştur. Sonuç olarak, bu yöntemle üretilen yapay dolunun darbe dayanımı, doğal dolu tanelerine daha yakın sonuçlar vermiştir. Çizelge 5.2'deki deneysel sonuçlar, %12 PVA'lı yapay doluların G300 çelik kalite sınıfındaki 0.80 mm kalınlığa kadar levhalar üzerindeki çarpma testlerinde %90'ın üzerinde bozulmadan kaldığını göstermektedir. Çelik plakaların kalınlığı 0.80 mm'nin üzerine çıktıkça, mevcut doluların neredeyse %40'ı çarpma sırasında kırılmıştır. Kalınlığı 1 mm'den daha fazla olan levhalar için, darbe testlerinden sonra sadece %15'i kırılmadan kalabilmiştir. Mevcut yapay dolu tanesinin kırılmalarının en büyük sebeplerinden biri de deneysel testler sırasında, doğal dolunun terminal hızından daha büyük hızlarla çelik plakaya çaptırılmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.1'de dinamik darbe testinden sonra elde edilen çukur derinlikleri ile çukur çapları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Çelik panel üzerinde oluşan çukur derinlikleri arttıkça çukur çapları doğrusal olarak artmaktadır. Ayrıca deneysel sonuçlara göre çelik panel üzerinde oluşan çukur derinliği ile çukur çapı, çelik panelin kalınlığı, darbe hızı ve dolu çapına bağlı olarak doğrusal artışı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1. Bu çalışmada test edilen yapay doluların malzeme özelliği, boyutları, uygulanan basınç ve test sayısı

Malzeme	Çap (mm)	Basınç (psi)	Test Sayısı
%12 PVA +%88 demineralize su	50	43.5	8
		42.1	12
		40.6	20
		36.3	2
		37.7	9
		39.2	9
	45	47.9	2
		45.0	22
		43.5	21
		42.1	2
		49.3	1
		46.4	12
	38	45.0	27
		43.5	20
		42.1	9
		46.4	3
		47.9	1
Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su + misina	46	47.9	5
	47	46.4	4
		47.9	6
	48	46.4	3

(Çizelge 5.1'in devamı)

Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su + misina	48	47.9	7
	49	45.0	2
		47.9	6
		49.3	2
% 1 pamuk +%99 demineralize su	45	43.5	2
		45.0	2
		46.4	1
		47.9	2
% 100 demineralize su	45	39.2	1
		40.6	1
		43.5	1
		45.0	1
		46.4	2
		47.9	1



Çizelge 5.2. Bu çalışmada test edilen yapay dolu tanelerinin niteliksel özelliklerinin karşılaştırması

Özelliği	Çelik sınıfı, plaka kalınlığı (mm), dolunun çapı (mm), atış No	Dolunun kütlesi (g)	Dolunun yoğunluğu (g/cm ³)	Sensör hızı (m/s)	Kamera hızı (m/s)	Çukur çapı, Dx (mm)	Çukur çapı, Dy (mm)	Çukur derinliği, Dz (mm)	Dolunun darbeden sonraki durumu
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.45/38/1	27.00	970.80	22.92	25.05	27.66	31.06	1.93	Sağlam
	G300/0.45/38/2	28.90	1051.10	35.89	32.88	42.80	39.20	3.02	Sağlam
	G300/0.45/38/3	30.70	1048.50	33.75	28.90	35.75	36.68	2.85	Sağlam
	G300/0.45/38/4	28.40	1049.90	28.62	27.33	32.50	36.17	2.32	Sağlam
	G300/0.45/38/5	27.50	1011.50	26.32	24.59	27.50	26.62	1.70	Sağlam
	G300/0.45/38/6	30.80	1053.90	25.95	25.05	28.60	29.07	2.09	Sağlam
	G300/0.45/38/7	27.20	968.20	23.67	21.47	24.79	26.31	1.71	Sağlam
	G300/0.45/38/8	28.00	1016.20	26.81	25.05	28.61	28.35	2.14	Sağlam
	G300/0.45/38/9	27.30	968.40	28.43	28.90	30.79	32.66	2.49	Sağlam
	G300/0.45/38/10	27.30	979.00	28.25	28.55	30.23	31.75	2.07	Sağlam
	G300/0.45/45/1	46.20	962.70	27.86	31.56	37.54	36.59	3.45	Sağlam
	G300/0.45/45/2	45.00	973.50	28.88	30.06	33.07	35.23	2.95	Sağlam
	G300/0.45/45/3	46.80	983.30	26.37	26.30	33.99	35.39	3.01	Sağlam
	G300/0.45/45/4	46.40	961.30	26.05	28.69	33.48	33.45	2.94	Sağlam
	G300/0.45/45/5	47.40	947.90	30.33	30.06	34.69	34.33	3.08	Sağlam
	G300/0.45/45/6	47.60	930.10	23.52	24.28	31.31	31.70	2.55	Sağlam
	G300/0.45/45/7	46.10	991.50	27.13	28.69	33.98	33.96	2.94	Sağlam
	G300/0.45/45/8	45.60	967.10	29.85	28.69	35.09	37.41	3.41	Sağlam
	G300/0.45/45/9	44.40	968.20	27.12	30.06	35.52	34.20	3.14	Sağlam
	G300/0.45/45/10	44.20	945.20	30.28	33.40	35.94	38.07	3.16	Sağlam

(Çizelge 5.2'nin devamı)

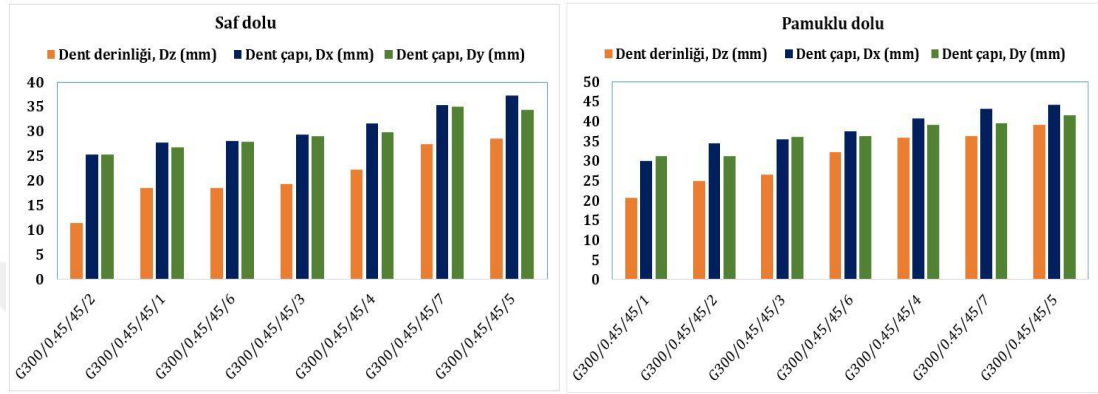
%12 PVA'lı dolu	G300/0.45/50/1	64.10	976.30	28.75	25.05	35.78	36.23	3.06	Sağlam
	G300/0.45/50/2	64.00	972.10	32.03	28.69	44.85	45.06	4.05	Sağlam
	G300/0.45/50/3	62.50	959.10	24.07	23.12	33.22	33.68	2.82	Sağlam
	G300/0.45/50/4	65.50	998.20	30.05	27.55	38.24	41.31	3.56	Sağlam
	G300/0.45/50/5	64.10	967.00	35.44	37.57	44.94	46.07	4.40	Sağlam
	G300/0.45/50/6	64.60	985.20	34.76	30.06	43.67	48.72	4.16	Sağlam
	G300/0.45/50/7	64.60	989.40	29.7	30.05	45.29	45.53	4.13	Sağlam
	G300/0.45/50/8	64.70	948.40	19.54	22.45	34.75	35.41	2.70	Sağlam
	G300/0.45/50/9	64.60	954.80	33.22	37.57	52.23	57.83	4.81	Sağlam
	G300/0.45/50/10	64.20	959.60	32.95	33.40	44.25	47.67	4.20	Sağlam
Azotlu dolu	G300/0.45/46/1	54.90	1053.40	25.07	28.05	39.50	37.54	3.39	Kırıldı
	G300/0.45/46/2	51.80	1006.90	37.72	31.94	40.55	40.30	3.59	Kırıldı
	G300/0.45/47/3	54.50	996.40	32.59	29.48	43.02	40.79	3.34	Kırıldı
	G300/0.45/48/4	57.70	990.00	27.49	31.00	35.40	38.86	3.77	Sağlam
	G300/0.45/48/5	56.40	989.20	20.90	21.04	30.32	33.39	2.42	Kırıldı
	G300/0.45/48/6	53.30	938.70	24.19	26.52	32.40	34.81	2.69	Kırıldı
	G300/0.45/48/7	56.7	975.10	111.4 ^{(3)*}	31.13	44.38	40.81	3.65	Kırıldı
	G300/0.45/49/8	60.4	969.4	34.15	33.06	45.98	42.20	3.88	Sağlam
	G300/0.45/49/9	58.7	969.2	26.08	27.91	36.57	38.92	3.14	Kırıldı
	G300/0.45/49/10	63.2	1005.1	46.94	23.29	37.98	36.72	3.19	Kırıldı

(3)* Dolu sensöre çarptı bu nedenle sensör hızı çok yüksek çıkmıştır.

(Çizelge 5.2'nin devamı)

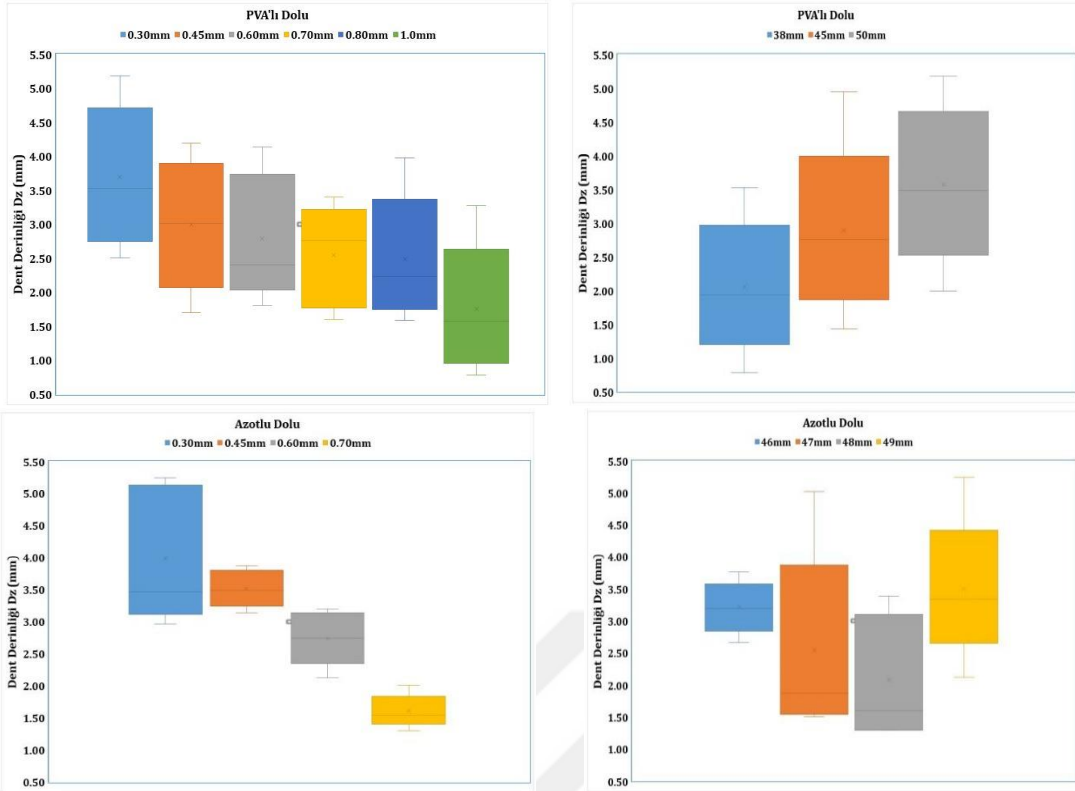
Pamuklu dolu	G300/0.45/45/1	46.10	986.20	26.97	26.30	29.88	31.09	2.06	Ezildi
	G300/0.45/45/2	45.40	960.90	24.96	24.69	37.45	36.31	2.48	Ezildi
	G300/0.45/45/3	44.80	954.10	24.75	26.30	34.30	31.08	2.65	Ezildi
	G300/0.45/45/4	45.00	940.80	35.84	33.40	40.77	39.55	3.59	Sağlam
	G300/0.45/45/5	43.80	941.90	32.87	31.64	43.03	41.5	3.90	Ezildi
	G300/0.45/45/6	45.90	983.70	32.27	31.56	35.45	35.96	3.21	Ezildi
	G300/0.45/45/7	44.50	974.30	38.65	35.07	44.15	39.05	3.63	Ezildi
Saf su ile yapılan dolu	G300/0.45/45/1	44.90	952.20	23.99	24.28	31.65	29.86	1.85	Kırıldı
	G300/0.45/45/2	41.20	910.80	22.80	23.62	25.23	25.24	1.14	Kırıldı
	G300/0.45/45/3	44.30	943.90	19.66	21.04	27.64	26.71	1.93	Kırıldı
	G300/0.45/45/4	47.50	987.60	23.58	23.12	29.28	29.01	2.22	Kırıldı
	G300/0.45/45/5	47.10	972.20	25.37	26.30	37.28	34.38	2.85	Kırıldı
	G300/0.45/45/6	44.70	952.00	20.40	21.47	27.97	27.85	1.85	Kırıldı
	G300/0.45/45/7	44.30	950.10	25.21	27.44	35.28	34.91	2.74	Kırıldı

Şekil 5.1’de dinamik darbe testinden sonra elde edilen çukur derinlikleri ile çukur çapları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Çelik saclar üzerinde oluşan çukur derinlikleri artıkça, çukur çapları doğrusal olarak artmaktadır. Ayrıca deneysel sonuçlara göre çelik saclar üzerinde oluşan çukur derinliği ile çukur çapı, çelik sacın kalınlığı, darbe hızı ve dolu çapına bağlı olarak doğrusal artış gözlemlenmiştir.

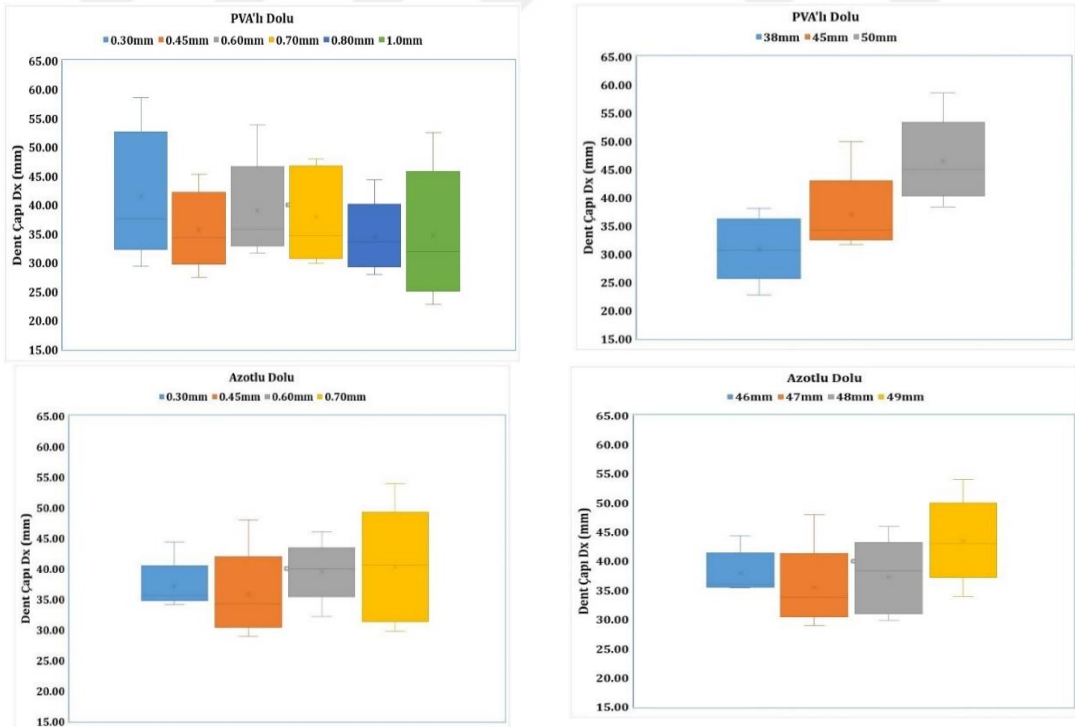


Şekil 5.1. Bu çalışmada test edilen saf dolu ile pamuklu dolunun çukur derinliği ve çukur çapları arasındaki karşılaştırma

Şekil 5.2’de ve Şekil 5.3’te, Box-Whisker analizi, dolu çapı ve plaka kalınlığına göre çukur derinliği ve çukur çapı sonuçları verilmiştir. Şekil 5.2’de, PVA’lı dolular ile yapılan atışlarda, çukur derinlikleri plaka kalınlıkları artıkça düşüş eğilimindeyken azot ile yapılan dolu atışlarında bu eğilim daha belirgin olmaktadır. Aynı şekilde dolu çapı büyüklüğüne göre dizildiğinde ise PVA’lı dolular ile yapılan atışlarda çukur derinliği daha belirgin bir şekilde doğru orantılı olarak artmaktadır. Bunun sebebi, PVA’lı doluların doğal dolu gibi çarpmanın etkisinden sonra kırılmama oranının azot ile yapılan doluya nazaran fazla olmasıdır. Şekil 6.3’teki verilere göre ise plaka üzerindeki çukur çaplarının her iki dolu türünde de plaka kalınlığına göre değişkenlik göstermediği anlaşılmaktadır. Yine PVA’lı dolu ile yapılan atışlarda nitrojen ile yapılanlara kıyasla çukur çaplarının; dolu büyüdükçe belirgin şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Resim 5.1’de görüldüğü üzere, darbe testinden sonra çelik sac üzerinde oluşan çukur derinliği 4.98 mm ve çukur çapı 50.02 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.2. Bu çalışmada test edilen PVA'lı dolu ile azotlu dolunun çukur derinliği arasındaki karşılaştırma



Şekil 5.3. Bu çalışmada test edilen PVA'lı dolu ile azotlu dolunun çukur çapı arasındaki karşılaştırma



a) Çukur derinliği



b) Çukur çapı

Resim 5.1. Çelik sac üzerinde oluşan çukur derinliği ve çukur çapı



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Dolu yağışı, başta çelik çatılar, otomotiv ve uçak panelleri olmak üzere, çevreye ciddi zararlar verme potansiyeline sahiptir. Bu malzemelerin dolu yüküne karşı direncini analiz etmek için mevcut yöntemler, doğal doluyu temsil eden yapay doluların olmaması nedeniyle güvenilirlikten yoksundur. Saf su, pamuk, azot ve PVA gibi çeşitli karışım oranlarını içeren birbirinden farklı yapay dolu üretim yöntemlerinin kapsamlı bir araştırmasına dayanan bu çalışma, dolu taneleri üretmek için temel dört yöntemi göstermektedir. Bu yöntemle üretilen yapay dolu taneleri, farklı kalınlığa sahip çelik paneller üzerinde dinamik darbe testleri yapılarak çelik sacların davranışlarını incelenmiştir. Tüm dinamik dolu darbe testleri 90 (sıfır) derece açıda gerçekleştirilmiştir. Çelik saclar üzerinde oluşan çukur derinliği hassas derinlikölçer, çukur çapı hassas kalınlık kumpası kullanılarak ölçülmüştür. Bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Mevcut yapay dolu üretim süreçleri istikrarlı bir şekilde gerçekçi hasarlara neden olan dolu tanelerini üretmekte zorluklar çekmektedir.
2. Bu çalışmada, doğal dolunun neden olduğu hasarı temsil etmek için yapay dolunun yeterliliğini değerlendirmek amacıyla dört kriter önermektedir. Birincisi, dolu tanesi ağırlıklı olarak buz olmalıdır. İkincisi, dolu homojen olmalıdır. Üçüncüsü, yapay dolu, doğal dolularda görülen yüzey erime davranışını göstermelidir. Son olarak dolular, yapay dolularda hedeflenen terminal hızındaki darbeden sonra bütünlüklerini korumalıdır.
3. PVA veya azot eklenmesi yapay doluların pamuklu ve saf dolulara göre kırılmama özelliğini artırmıştır. Bu yöntemle üretilen yapay dolular, doğal dolunun yüzey sürtünmesi, yoğunluğuna ve diğer özelliklerine mümkün olduğunca yaklaşmıştır.
4. Sonuç olarak; çukur derinliğinin sac kalınlığı, darbe hızı ve dolu çapı ile doğrusal orantılı olmasına rağmen, çukur çapının yalnızca dolu çapı büyüdükçe arttığı gözlemlenmiştir. Çelik saclardaki çukur çapının sac kalınlığından etkilenmediği görülmüştür.

6.2. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu tezde, ADÜ dolu laboratuvarının bütçesinin kısıtlı olması nedeni ile yalnızca G300 düz çelik çatı kaplama levhaları üzerindeki dolu etkisi incelenmiştir. Çelik saclar üzerindeki dolu etkisini daha kapsamlı incelemek için, dolu darbe testlerinde farklı çelik kalite sınıfları kullanılması ve bu testlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmalıdır. Ayrıca bu tezde, çelik saclar üzerinde oluşan çukur çapları ve çukur derinlikleri elle ölçülmüştür. Çelik saclar üzerinde oluşan çukur çaplarını ve çukur derinliklerini elle ölçmek hem zaman kaybına hem de insandan kaynaklanan hatalara neden olmaktadır. Bu nedenle hem zaman kaybını hem de hataları minimuma indirmek için 3 boyutlu tarayıcılar (3D Scanner) kullanılabilir. Son olarak, bu çalışmayı daha iyi analiz etmek için ampirik formüller geliştirilmeli, elle hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Basara, J. B., Cheresnick, D. R., Mitchell, D. W., Illston, B. G. (2007). An analysis of severe hail swaths in the southern plains of the United States. *Transactions in GIS* 11(4), 531-554.
- Blong, R. (2004). Residential building damage and natural perils: Australian examples and issues. *Building Research and Information* 32(5), 379-390.
- Brimelow, J. C., Krauss, T. W., Reuter, G. W. (2002). Operational forecasts of maximum hailstone diameter in Mendoza, Argentina. *The Journal of Weather Modification*, 34(1), 8-17.
- Bureau of Meteorology of Australia. (1999). *Report by the director of meteorology on the bureau of meteorology's forecasting and warning performance for the Sydney hailstorm of 14 April 1999*. Australia: Bureau of Meteorology.
- Chang, D. C., Khetan, R. P. (1984). Surface damage of steel, aluminum, and chopped-fiber composite panels due to projectile impact. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 3(3), 193-203.
- Crenshaw, V., Koontz, J. D. (2002). Hail: Sizing it up! *Western Roofing Magazine*, 2-7.
- Flüeler, P., Stucki, M., Guastala, F., Egli, T. (2008, May 11-14). *Hail impact resistance of building materials testing, evaluation and classification*. 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Henri, C. (1999). The Sydney hailstorm: The insurance perspective. *Australian Journal of Emergency Management*, 14(4), 16-18.
- Kafalı Yılmaz, F. (2008). Antalya'nin günlük yağış özellikleri ve şiddetli yağışların doğal afetler üzerine etkisi. *Sosyal Bilimler Dergisi* 10(1), 20-65.
- Kim, H., Kedward, K. T. (1999). *Experimental measurement and numerical prediction of hail ice impact damage on composite panels*. Proceeding of The 12th International Committee on Composite Materials, 5-9.

- Leslie, L. M., Leplastrier, M., Buckley, B. W. (2008). Estimating future trends in severe hailstorms over the Sydney Basin: A climate modelling study. *Atmospheric Research* 87(1), 37-51.
- Liu, H. W., Miller, K. J. (1979). Fracture toughness of fresh-water ice. *Journal of Glaciology* 22(86), 135-143.
- Luong, S. D. (2014). *Hail ice impact of lightweight composite sandwich panels* Master Thesis, University of California, San Diego.
- Maguire, J. (2014). Experimental determination of the effects of hail impact on steel building envelopes. In *Civil, Mining and Environmental Engineering*, Wollongong, Australia: University of Wollongong.
- Moore, D. M., Wilson, A. (1978). *Photovoltaic solar panel resistance to simulated hail*. California: Department of Energy.
- Özşahin, E. (2013). *Türkiye’de yaşanmış (1970-2012) doğal afetler üzerine bir değerlendirme*. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Turkey.
- Ramsay, H. (2015). *Experimental investigation, development and optimisation of steel roof sheeting against the effect of hail impact* Bachelor Thesis, Bachelor of Engineering, University of Wollongong.
- Rhymer, J. D. (2012). *Force criterion prediction of damage for carbon/epoxy composite panels impacted by high velocity ice* Master Thesis, University of California, San Diego.
- Sain, T., Narasimhan, R. (2011). Constitutive modeling of ice in the high strain rate regime. *International Journal of Solids and Structures* 48(5):817-827.
- Saini, D., Shafei, B. (2019). Prediction of extent of damage to metal roof panels under hail impact. *Engineering Structures*, 187, 362-371.
- Sun, J., Lam, N., Zhang, L., Ruan, D., Gad, E. (2015). Contact forces generated by hailstone impact. *International Journal of Impact Engineering*, 84, 145-158.
- Swift, J. (2013). *Simulated hail ice mechanical properties and failure mechanism at quasi-static strain rates* Master Thesis, University of Washington, Washington.

- Şahin, C., Sipahioğlu, Ş. (2003). *Doğal afetler ve Türkiye* (2. baskı). Ankara: Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- Tippmann, J. D. (2011). *Development of a strain rate sensitive ice material model for hail ice impact simulation* Master Thesis, University of California, San Diego.
- Türk, İ., Kuşçu, Ş. (2018). *İstanbul'da 27 Temmuz 2017'de gerçekleşen dolu fırtınası ile şiddetli yağışın durum değerlendirmesi*. <https://pdffox.com/istanbulda-27-temmuz-2017de-gerekleen-dolu-frtnas-ile-yan-durum-deerlendirmesi-pdf-free.html> [Erişim Tarihi: 22.11.2021]
- Uz, M. E., Sızar, M. D. (2021). Dolu etkisine maruz kalan çelik çatı panellerinin göçük direncinin incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 1015-1029.
- Uz, M. E., Yılmaz, G., Bircan, T. (2017). Hasarı gerçekçi şekilde simüle eden dolu yapımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 5(2), 411-423.
- Wu, Y. (2018) *Determining the effects of hailstone impact on flat cold-reduced steel roof sheeting* Master Thesis, University of Wollongong, Wollongong, Avustralya.
- Yılmaz, G., Uz, M. E., Sızar, M. D., Kop, M. D. (2020). Sıvı nitrojen ile suni dolu yapımı ve şimdiye kadar yapılan yapay dolularla karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1180-1189.

EKLER

EK 1. (0.30 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı ve azotlu doluların atış sonuçları)

Özelliği	Çelik sınıfı, Plaka kalınlığı (mm), Dolunun çapı (mm), Atış No	Dolunun kütlesi (g)	Dolunun yoğunluğu (g/cm ³)	Sensör hızı (m/s)	Kamera hızı (m/s)	Çukur çapı, Dx (mm)	Çukur çapı, Dy (mm)	Çukur derinliği, Dz (mm)	Dolunun darbeden sonraki durumu
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.30/38/1	27.1	970.3	27.1	28.7	29.4	31.2	2.99	Sağlam
	G300/0.30/38/2	28.0	973.8	24.6	27.3	37.6	38.5	3.27	Sağlam
	G300/0.30/38/3	27.4	995.5	21.5	21.5	31.3	30.2	2.01	Sağlam
	G300/0.30/38/4	26.9	984.2	25.4	26.3	32.7	36.4	2.74	Sağlam
	G300/0.30/38/5	27.3	964.6	DEĞER (1)*	27.3	32.5	33.3	2.52	Sağlam
	G300/0.30/38/6	27.9	1012.9	28.6	26.3	34.7	36.2	3.53	Sağlam
	G300/0.30/38/7	27.2	977.8	28.6	25.0	35.4	35.1	2.79	Sağlam
	G300/0.30/38/8	26.7	971.4	24.3	26.3	36.2	35.4	3.00	Sağlam
	G300/0.30/38/9	26.5	982.6	32.4	26.3	36.8	39.7	3.19	Sağlam
	G300/0.30/38/10	28.2	1036.4	25.8	25.0	32.0	31.9	2.51	Sağlam
	G300/0.30/45/1	46.3	956.3	24.8	23.1	32.1	35.3	2.74	Sağlam
	G300/0.30/45/2	44.6	950.5	DEĞER (1)*	25.0	32.2	34.5	3.09	Sağlam
	G300/0.30/45/3	45.6	985.0	25.1	25.0	39.9	43.3	3.83	Sağlam
	G300/0.30/45/4	45.2	1004.0	100.2 (3)*	27.6	42.0	47.5	4.27	Sağlam
	G300/0.30/45/5	45.6	975.1	29.3	34.6	43.3	45.1	4.81	Sağlam
	G300/0.30/45/6	45.0	983.0	17.9 (2)*	16.7 (2)*	22.2	27.4	2.03	Sağlam
	G300/0.30/45/7	45.6	949.8	37.3	31.6	45.2	51.2	4.37	Sağlam

(1)*Sensör, hız değeri okumamıştır.

(3)* Dolu sensöre çarptı bu nedenle sensör hızı çok yüksek çıkmıştır.

(EK 1'in devamı)

	G300/0.30/45/8	45.4	995.1	30.7	31.6	50.0	52.4	4.95	Sağlam
	G300/0.30/45/9	44.5	941.4	22.4	28.7	43.8	45.6	3.87	Sağlam
	G300/0.30/45/10	44.6	969.9	29.2	33.4	38.0	39.3	4.12	Sağlam
	G300/0.30/50/1	65.4	982.6	20.9	20.0	31.9	35.2	2.81	Sağlam
	G300/0.30/50/2	64.0	974.7	26.4	25.0	42.1	47.8	3.47	Sağlam
	G300/0.30/50/3	63.8	963.8	27.4	27.3	58.8	63.8	5.01	Sağlam
	G300/0.30/50/4	63.7	968.0	31.3	31.3	58.6	63.9	5.18	Sağlam
	G300/0.30/50/5	64.4	961.9	23.1	23.5	37.0	39.5	2.77	Sağlam
	G300/0.30/50/6	66.3	981.1	31.4	33.4	53.2	55.7	4.78	Sağlam
	G300/0.30/50/7	64.2	987.6	32.1	31.3	46.8	48.6	3.65	Sağlam
	G300/0.30/50/8	63.8	986.4	27.6	28.2	51.6	56.6	4.53	Sağlam
	G300/0.30/50/9	63.3	972.6	28.9	30.1	46.6	51.0	4.21	Sağlam
	G300/0.30/50/10	64.3	990.7	39.1	34.2	49.6	51.9	4.66	Sağlam
Azotlu	G300/0.30/46/1	53.0	1007.8	28.5	24.5	35.6	36.4	3.27	Sağlam
Dolu	G300/0.30/47/2	50.8	938.3	29.4	29.1	34.1	35.1	2.97	Kırıldı
	G300/0.30/47/3	54.2	979.0	34.7	29.1	47.9	47.7	5.02	Sağlam
	G300/0.30/48/4	53.4	927.4	32.4	28.6	41.0	42.0	3.47	Kırıldı
	G300/0.30/49/5	58.5	955.3	25.1	25.8	34.0	33.2	3.36	Sağlam
	G300/0.30/47/6	54.3	971.9	23.0	22.5	28.8	30.6	2.98	Kırıldı
	G300/0.30/46/7	48.9	950.0	40.1	33.6	45.4	45.0	4.01	Sağlam
	G300/0.30/49/8	58.5	924.3	32.8	31.6	54.0	52.9	5.25	Kırıldı
	G300/0.30/47/9	51.3	963.8	27.8	24.4	34.7	38.2	3.08	Kırıldı
	G300/0.30/49/10	59.9	966.9	23.3	23.5	34.1	32.8	2.73	Kırıldı

(2)* Atış esnasına dolunun arkasındaki sünger unutuldu bu nedenle hem sensör hem de kamera hızı düşük çıkmıştır.



EK 2. (0.60 mmlık plaka üzerinde PVA'lı ve azotlu doluların atış sonuçları)

Özelliği	Çelik sınıfı, Plaka kalınlığı (mm), Dolunun çapı (mm), Atış No	Dolunun kütlesi (g)	Dolunun yoğunluğu (g/cm ³)	Sensör hızı (m/s)	Kamera hızı (m/s)	Çukur çapı, Dx (mm)	Çukur çapı, Dy (mm)	Çukur derinliği, Dz (mm)	Dolunun darbeden sonraki durumu
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.60/38/1	27.3	959.0	27.61	28.18	35.99	34.12	2.01	Sağlam
	G300/0.60/38/2	27.2	984.3	21.57	21.47	29.75	28.67	1.48	Sağlam
	G300/0.60/38/3	27.4	1001.1	21.87	27.33	30.43	28.03	2.13	Sağlam
	G300/0.60/38/4	27.5	993.6	28.07	28.90	33.67	36.58	2.31	Sağlam
	G300/0.60/38/5	27.6	992.2	27.81	31.73	33.12	32.40	2.24	Sağlam
	G300/0.60/38/6	27.6	994.5	24.55	22.54	26.32	25.79	1.58	Sağlam
	G300/0.60/38/7	28.3	1029.3	29.12	30.06	38.09	37.12	2.40	Sağlam
	G300/0.60/38/8	27.5	1005.0	30.12	29.22	34.62	36.33	2.25	Sağlam
	G300/0.60/38/9	28.0	993.8	29.07	28.90	34.32	33.96	2.39	Sağlam
	G300/0.60/38/10	26.9	1012.6	23.68	27.33	29.07	29.14	1.80	İkiye kırıldı
	G300/0.60/45/1	46.7	1028.5	23.92	27.33	32.35	34.16	2.30	Sağlam
	G300/0.60/45/2	49.3	1058.2	28.06	30.06	34.03	35.41	3.01	Sağlam
	G300/0.60/45/3	46.5	1081.9	29.16	33.40	36.66	38.48	3.18	Sağlam
	G300/0.60/45/4	48.3	964.6	29.16	36.21	38.63	40.26	3.23	Sağlam
	G300/0.60/45/5	44.3	1022.7	25.79	32.67	31.65	32.15	2.20	Sağlam
	G300/0.60/45/6	45.3	1042.4	30.78	30.06	35.62	36.10	2.88	Sağlam
	G300/0.60/45/7	46.1	1005.0	22.51	23.12	31.41	32.29	2.15	Sağlam
	G300/0.60/45/8	50.6	956.6	22.56	30.06	34.13	33.89	2.66	Sağlam

(EK 2'nin devamı)

	G300/0.60/45/9	46.3	930.7	42.64	41.33	40.28	43.31	3.44	Sağlam
	G300/0.60/45/10	44.1	952.6	23.35	33.40	32.54	32.77	2.29	Sağlam
	G300/0.60/50/1	63.8	974.8	20.49	21.04	32.05	33.99	2.17	Sağlam
	G300/0.60/50/2	63.7	970.0	28.33	27.33	43.82	45.64	3.25	Sağlam
	G300/0.60/50/3	63.4	967.1	28.10	25.05	39.35	41.83	2.90	Sağlam
	G300/0.60/50/4	63.5	999.3	27.92	31.56	50.39	51.85	3.48	Sağlam
	G300/0.60/50/5	62.6	987.9	26.90	27.33	36.88	37.99	2.62	Sağlam
	G300/0.60/50/6	64.1	994.2	32.37	31.56	40.00	45.35	3.72	Sağlam
	G300/0.60/50/7	64.3	989.3	41.88	37.57	58.07	65.06	4.71	Sağlam
	G300/0.60/50/8	63.8	987.8	29.62	28.69	42.25	45.82	3.49	Sağlam
	G300/0.60/50/9	64.3	974.4	30.46	33.06	53.80	55.76	4.14	Sağlam
	G300/0.60/50/10	64.1	962.7	25.27	26.30	37.91	41.80	2.62	Sağlam
Azotlu	G300/0.60/42/1	42.0	1084.2	24.77	25.71	27.34	29.2	1.73	Kırıldı
Dolu	G300/0.60/45/2	51.2	1077.6	23.32	27.41	39.39	42.05	2.80	Sağlam
	G300/0.60/48/3	59.4	1049.9	26.11	30.56	36.42	41.38	2.53	Kırıldı
	G300/0.60/49/4	71.6	1163.0	23.37	28.29	36.84	35.92	2.67	Kırıldı
	G300/0.60/49/5	61.9	989.8	22.52	25.47	36.45	33.65	2.23	Hafif hasar
	G300/0.60/48/6	58.7	1012.2	27.72	28.48	38.39	40.48	2.82	Sağlam
	G300/0.60/46/7	56.8	1088.0	24.81	29.17	44.38	44.39	2.67	Üçe kırıldı
	G300/0.60/48/8	58.3	997.6	26.47	29.59	40.38	45.39	3.20	Sağlam
	G300/0.60/49/9	60.8	996.5	33.86	31.06	45.99	43.76	3.18	Orta hasar
	G300/0.60/49/10	58.3	934.5	27.05	28.18	33.93	33.42	2.13	Kırıldı

EK 3. (0.70 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı ve azotlu doluların atış sonuçları)

Özelliği	Çelik sınıfı, Plaka kalınlığı (mm), Dolunun çapı (mm), Atış No	Dolunun kütlesi (g)	Dolunun yoğunluğu (g/cm ³)	Sensör hızı (m/s)	Kamera hızı (m/s)	Çukur çapı, Dx (mm)	Çukur çapı, Dy (mm)	Çukur derinliği, Dz (mm)	Dolunun darbeden sonraki durumu
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.70/38/1	27.8	938.7	21.2	23.1	29.3	28.1	1.38	Hafif hasar
	G300/0.70/38/2	28.4	986.4	22.8	22.5	27.4	26.6	1.38	Sağlam
	G300/0.70/38/3	27.8	949.0	21.0	25.4	29.1	29.1	1.61	Sağlam
	G300/0.70/38/4	28.4	995.5	25.1	26.3	29.9	32.8	1.79	Sağlam
	G300/0.70/38/5	28.4	958.9	31.2	30.1	33.9	33.0	2.01	Sağlam
	G300/0.70/38/6	27.4	953.4	26.9	26.6	30.7	31.5	1.68	Hafif hasar
	G300/0.70/38/7	26.7	947.4	24.8	27.3	31.0	32.4	1.80	Sağlam
	G300/0.70/38/8	27.8	1008.7	25.5	24.3	29.3	28.6	1.58	Sağlam
	G300/0.70/38/9	28.0	966.4	25.3	26.3	30.1	32.5	1.60	Hafif hasar
	G300/0.70/38/10	27.8	990.9	30.0	31.6	31.5	35.3	1.68	Üçe kırıldı
	G300/0.70/45/1	46.7	1061.2	25.5	27.3	32.7	33.6	2.45	Sağlam
	G300/0.70/45/2	45.3	1008.1	29.6	30.1	34.3	36.1	3.00	Sağlam
	G300/0.70/45/3	45.9	1000.2	22.1	27.6	31.9	33.0	2.18	Sağlam
	G300/0.70/45/4	47.4	1005.9	25.7	28.7	33.9	35.3	2.40	Sağlam
	G300/0.70/45/5	44.8	1005.8	25.9	31.6	36.5	36.5	2.74	Sağlam
	G300/0.70/45/6	45.2	986.0	32.3	31.6	34.3	35.7	3.00	Sağlam
	G300/0.70/45/7	48.9	1045.0	28.8	30.1	33.7	31.8	2.78	Sağlam
	G300/0.70/45/8	45.8	1011.4	21.5	23.1	28.8	29.2	1.67	Sağlam
	G300/0.70/45/9	44.4	986.2	34.0	30.1	33.4	33.9	2.62	Sağlam

	G300/0.70/45/10	47.8	1073.6	29.2	30.1	35.1	33.2	2.44	Sağlam
--	-----------------	------	--------	------	------	------	------	------	--------

(EK 3'ün devamı)

	G300/0.70/50/1	66.0	980.1	30.9	32.2	45.0	48.6	3.4	Sağlam
	G300/0.70/50/2	66.2	944.4	23.4	24.3	34.5	35.0	2.26	Sağlam
	G300/0.70/50/3	62.6	976.2	18.6	19.7	31.6	30.7	1.54	Sağlam
	G300/0.70/50/4	63.5	953.1	33.4	33.4	48.0	49.0	3.33	Sağlam
	G300/0.70/50/5	64.1	953.2	21.5	21.5	30.9	31.1	1.80	Sağlam
	G300/0.70/50/6	63.9	961.4	31.9	33.1	48.0	49.1	3.28	Sağlam
	G300/0.70/50/7	63.3	1013.5	23.5	24.3	34.3	33.9	2.20	Sağlam
	G300/0.70/50/8	65.0	985.6	81.8 (3)*	23.1	35.4	35.8	2.22	Sağlam
	G300/0.70/50/9	64.2	989.0	28.8	30.1	45.7	44.4	2.78	Sağlam
	G300/0.70/50/10	64.0	1005.3	34.6	31.6	47.9	45.3	3.06	Sağlam
Azotlu Dolu	G300/0.70/47/1	54.1	982.0	34.5	36.0	34.8	33.4	2.01	Kırıldı
	G300/0.70/47/2	55.3	989.0	25.2	28.3	28.9	29.6	1.54	İkiye kırıldı
	G300/0.70/50/3	62.6	978.0	29.0	28.3	27.4	27.5	1.12	Kırıldı
	G300/0.70/48/4	55.1	937.8	26.9	26.8	32.1	32.9	1.60	Üçe kırıldı
	G300/0.70/48/5	56.7	964.0	28.6	26.0	31.7	31.0	1.55	Kırıldı
	G300/0.70/47/6	57.1	1027.7	34.1	29.2	31.4	31.1	1.51	İkiye kırıldı
	G300/0.70/45/7	50.1	1033.0	39.6	37.0	30.4	30.9	1.52	Kırıldı
	G300/0.70/47/8	54.2	994.7	23.7	23.7	29.9	27.2	1.29	Kırıldı
	G300/0.70/47/9	56.0	1017.3	30.9	32.2	33.6	35.0	1.74	Üçe kırıldı
	G300/0.70/48/10	56.2	953.6	28.5	26.3	29.8	29.4	1.30	Kırıldı

(3)* Dolu sensöre çarptı bu nedenle sensör hızı çok yüksek çıkmıştır.



EK 4. (0.80 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı doluların atış sonuçları)

Özelliği	Çelik sınıfı, Plaka kalınlığı (mm), Dolunun çapı (mm), Atış No	Dolunun kütlesi (g)	Dolunun yoğunluğu (g/cm ³)	Sensör hızı (m/s)	Kamera hızı (m/s)	Çukur çapı, Dx (mm)	Çukur çapı, Dy (mm)	Çukur derinliği, Dz (mm)	Dolunun darbeden sonraki durumu
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.80/38/1	27.6	1001.7	28.7	28.7	30.8	32.0	1.83	Sağlam
	G300/0.80/38/2	27.9	950.4	25.6	28.7	32.8	33.7	1.92	Sağlam
	G300/0.80/38/3	28.8	997.4	26.7	24.3	29.9	27.8	1.59	Sağlam
	G300/0.80/38/4	29.9	988.0	29.8	26.3	30.5	31.7	1.65	Hafif hasar
	G300/0.80/38/5	29.8	1035.0	24.8	27.6	27.9	26.2	1.63	Sağlam
	G300/0.80/38/6	27.8	981.2	25.0	24.3	27.4	27.9	1.47	Sağlam
	G300/0.80/38/7	28.3	980.4	28.9	31.6	33.7	33.1	2.01	Sağlam
	G300/0.80/38/8	28.4	992.7	25.0	26.3	30.5	29.7	1.99	Sağlam
	G300/0.80/38/9	28.3	963.0	30.1	28.7	35.4	33.3	1.94	Sağlam
	G300/0.80/38/10	28.1	967.1	26.2	23.1	28.5	28.0	1.44	Sağlam
	G300/0.80/45/1	44.5	1016.8	32.8	28.7	32.0	31.2	2.34	2'ye kırıldı
	G300/0.80/45/2	43.9	994.8	27.1	30.1	36.1	36.0	2.74	Sağlam
	G300/0.80/45/3	45.8	972.4	27.2	30.1	34.2	38.6	2.46	Sağlam
	G300/0.80/45/4	45.4	955.3	31.9	31.6	35.9	37.9	2.76	Sağlam
	G300/0.80/45/5	44.0	1006.0	23.7	25.0	30.6	31.0	1.84	Sağlam
	G300/0.80/45/6	46.0	969.3	33.7	31.6	37.7	36.9	2.58	Sağlam
	G300/0.80/45/7	47.6	958.1	30.4	25.0	33.4	33.2	2.20	Sağlam
	G300/0.80/45/8	49.3	993.4	25.9	27.3	35.1	33.2	2.51	Sağlam
	G300/0.80/45/9	45.9	982.4	24.9	27.6	33.5	34.6	2.31	Sağlam
	G300/0.80/45/10	45.8	962.7	26.2	30.1	33.8	35.8	2.27	Sağlam

(EK 4'ün devamı)

G300/0.80/50/1	63.1	960.8	17.3 (2)*	18.8 (2)*	29.3	29.0	1.45	Sağlam süngersiz
G300/0.80/50/2	64.1	964.6	21.5	33.1	44.5	43.7	3.51	Sağlam
G300/0.80/50/3	66.2	968.4	30.8	28.7	38.3	37.6	2.85	Sağlam
G300/0.80/50/4	66.2	975.9	32.5	33.4	39.1	43.2	3.06	Hafif hasar
G300/0.80/50/5	65.0	997.7	35.7	36.7	41.9	42.9	3.45	Sağlam
G300/0.80/50/6	64.6	970.6	27.3	37.6	44.4	45.1	3.98	Sağlam
G300/0.80/50/7	65.7	989.5	DEĞER (1)*	DEĞER (4)*	33.4	33.0	2.03	Sağlam
G300/0.80/50/8	64.0	962.0	34.9	36.7	47.2	52.1	3.85	Sağlam
G300/0.80/50/9	62.2	938.5	38.9	39.5	45.4	49.5	3.67	Hafif hasar
G300/0.80/50/10	65.8	980.2	43.1	DEĞER (4)*	53.0	56.3	4.45	Sağlam

(1)*Sensör, hız değeri okumamıştır.

(2)* Atış esnasına dolunun arkasındaki sünger unutuldu bu nedenle hem sensör hem de kamera hızı düşük çıkmıştır.

(4)* Atış esnasına kamerada teknik arıza çıktı bu nedenle kamerada hız kaydı yapılamamıştır.

EK 5. (1.00 mm'lik plaka üzerinde PVA'lı doluların atış sonuçları)

Özelliği	Çelik sınıfı, Plaka kalınlığı (mm), Dolunun çapı (mm), Atış No	Dolunun kütlesi (g)	Dolunun yoğunluğu (g/cm ³)	Sensör hızı (m/s)	Kamera hızı (m/s)	Çukur çapı, Dx (mm)	Çukur çapı, Dy (mm)	Çukur derinliği, Dz (mm)	Dolunun darbeden sonraki durumu
%12 PVA'lı Dolu	G300/1.0/38/1	27.0	974.2	23.7	23.1	24.2	24.4	0.99	Sağlam
	G300/1.0/38/2	27.7	997.1	24.9	26.3	26.6	25.2	1.05	Üçe kırıldı
	G300/1.0/38/3	27.2	987.7	23.6	26.3	25.9	27.6	2	Sağlam
	G300/1.0/38/4	28.3	1024.4	25.1	27.6	27.9	27.2	1.17	Üçe kırıldı
	G300/1.0/38/5	27.9	973.6	27.3	26.3	26.1	24.8	0.85	Sağlam
	G300/1.0/38/6	27.1	995.7	28.1	28.7	27.4	28.1	1.2	Kırıldı
	G300/1.0/38/7	27.1	984.9	24.0	23.6	24.7	25.2	1.01	Sağlam
	G300/1.0/38/8	27.7	996.8	27.8	24.3	22.7	22.8	0.78	Üçe kırıldı
	G300/1.0/38/9	27.6	1004.4	28.4	27.6	27.4	29.5	1.13	Üçe kırıldı
	G300/1.0/38/10	28.1	1011.7	27.9	28.7	28.5	28.6	1.09	Sağlam
	G300/1.045/1	47.6	955.8	25.1	27.3	31.4	33.7	1.79	Sağlam
	G300/1.045/2	46.3	961.4	28.4	28.7	34.8	37.2	1.9	Sağlam
	G300/1.045/3	44.2	973.4	24.4	26.3	32.8	29.2	1.36	Kırıldı
	G300/1.045/4	46.2	972.4	100.2 (3)*	33.4	36.9	34.8	1.76	Kırıldı
	G300/1.045/5	45.5	962.6	25.5	28.7	31.9	32.1	1.44	Kırıldı
	G300/1.045/6	47.5	944.3	125.1 (3)*	28.7	39.5	32.7	1.83	Kırıldı
	G300/1.045/7	43.9	996.2	177 (3)*	28.7	31.8	33.1	1.67	Kırıldı
	G300/1.045/8	44.0	970.1	25.3	26.3	32.6	36.7	1.76	Sağlam
	G300/1.045/9	45.5	992.1	26.0	27.3	31.4	30.3	1.51	Kırıldı
	G300/1.045/10	45.0	973.5	131.7 (3)*	31.6	33.1	32.2	1.57	Sağlam

(3)* Dolu sensöre çarpıtı bu nedenle sensör hızı çok yüksek çıkmıştır.

(EK 5'in devamı)

G300/1.0/50/1	64.5	979.0	20.1 (2)*	17.7 (2)*	28.9	28.7	1.06	Sağlam
G300/1.0/50/2	63.7	986.2	37.3	35.1	48.5	53.0	2.70	Kırıldı
G300/1.0/50/3	64.6	953.4	27.9	30.1	38.9	49.6	2.68	Hafif hasar
G300/1.0/50/4	64.7	974.4	30.0	28.7	38.7	39.7	1.99	Üçe kırıldı
G300/1.0/50/5	62.3	965.9	30.2	28.7	42.3	38.3	2.34	Sağlam
G300/1.0/50/6	65.3	981.5	18.0 (2)*	19.7 (2)*	30.3	31.7	1.38	Sağlam
G300/1.0/50/7	62.5	970.4	27.7	26.3	33.7	36.6	1.65	Üçe kırıldı
G300/1.0/50/8	62.4	971.2	21.6	21.5	33.9	34.1	1.53	Sağlam
G300/1.0/50/9	63.9	975.3	30.9	36.7	52.6	60.5	3.28	Kırıldı
G300/1.0/50/10	64.4	974.8	31.5	35.1	43.7	44.9	2.43	Kırıldı

(2)* Atış esnasına dolunun arkasındaki sünger unutuldu bu nedenle hem sensör hem de kamera hızı düşük çıkmıştır.

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLİMSEL ETİK BEYANI

“SUNİ DOLU YAPIMI VE ÇELİK PANELLER ÜZERİNDE ÇARPMA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı Yüksek Lisans tezindeki bütün bilgileri etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm. İfade ettiklerimin aksi ortaya çıktığında ise her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Mohammad Dawood SIZAR

12 / 01 /2022

ÖZGEÇMİŞ

Soyadı Adı : SIZAR Mohammad Dawood
Yabancı Dil : Özbekçe (anne dil), Farsça, Türkçe, İngilizce (başlangıç)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	2022
Lisans	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	2018

AKADEMİK YAYINLAR

MAKALELER:

1. Yılmaz, G., Uz, M. E., **Sizar, M. D.**, Kop, M. D. (2020). Sıvı nitrojen ile suni dolu yapımı ve şimdiye kadar yapılan yapay dolularla karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1180-1189.
2. Uz, M. E., **Sizar, M. D.** (2021). Dolu etkisine maruz kalan çelik çatı panellerinin göçük direncinin incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 1015-1029.