



DOLU ETKİSİNE MARUZ KALAN ÇELİK ÇATI PANELLERİNİN GÖÇÜK DİRENCİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Eren UZ*, Mohammad Dawood SIZAR

Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Doğal Dolu,
Polivinil Alkol (PVA),
Yapay Dolu,
Dinamik Etki,
Gerçekçi Dolu Hasarı.*

Öz

Doluya dayanıklı çatı malzemeler üzerinde yapılan araştırmalar, genellikle sigorta şirketleri, teknik ve profesyonel kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Dolu hasarları ile ilgili çalışmalarda, genellikle çelik bilyeler ya da indentörler göçük testleri için kullanılmaktadır. Bir göçük başlatmak için gereken kuvvet ve enerjiyi öngören ampirik formüller son yıllarda verilmiştir. Ancak bu tür testlerin sonuçları ile doğal dolunun çarpması sonucu oluşan darbe etkisi arasında kanıtlanmış bir bağlantı yoktur. Bu çalışma, iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak, yapay dolunun gerilme direncini arttırmak için, demineralize su içerisine polivinil alkol (PVA), sıvı nitrojen ve pamuk gibi katkı maddelerinin eklenmesi ile doğal dolunun hasara neden olan özelliklerini bire bir simüle etmeyi amaçlamaktadır. Çeşitli kalınlığa sahip çatı paneller üzerinde 22 - 43 m/s arasında değişen hızlarda dört farklı yöntem ile yapılan yapay doluların dinamik etkileri değerlendirilmektedir. %12 PVA (Polivinil alkol) yapıştırıcı kullanılarak veya sıvı nitrojen ile üretilen yapay dolular doğal dolu gibi terminal hızlarında çelik plakaya çarptıktan sonra parçalanmadan kalmaktadır. Bu yöntemle üretilen dolular, doğal dolunun yoğunluğunu, homojenliğini ve yüzey sürtünme gibi en önemli karakteristik özelliklerini kapsamaktadır. Son olarak bu çalışmada amaçlanan hedef dinamik darbe etkisinden sonra çelik panellerde oluşan göçük derinliklerini ve göçük çapları arasındaki korelasyonu incelemektir. Sonuçlar, göçük derinliğinin levha kalınlığı, çarpma hızı ve dolu çapı ile doğrusal orantılı olmasına rağmen, göçük çapının sadece dolu çapı arttıkça arttığını göstermektedir. Plakadaki göçük çapının plaka kalınlığından etkilenmediği görülmektedir.

ANALYZING DENT RESISTANCE OF STEEL ROOF PANELS SUBJECTED TO HAIL IMPACTS

Keywords

*Natural Hailstone,
Polyvinyl Alcohol,
Artificial Hailstone,
Dynamic Impact,
Hail Damage.*

Abstract

Research on hail-resistant roofing materials is mostly conducted by insurance companies, technical and professional organizations. Steel balls or indenters in the studies concerning hail damage are generally used for dent tests. Empirical formulas predicting the force and energy required to initiate a dent have been given in current years. However, there is no proven correlation between the results of such tests and the impact of natural hail. This study involves two parts. The study firstly aims to simulate the exact damaging properties of natural hail by adding additives such as polyvinyl alcohol (PVA), liquid nitrogen and cotton into demineralized water to increase the tensile strength of artificial hail. The dynamic effects of four different artificial hailstone developed in this study are evaluated at velocities ranging from 22 to 43 m/s on roof panels having various thicknesses. The artificial hailstones produced using 12% PVA (Polyvinyl alcohol) adhesive or liquid nitrogen remain intact after hitting the steel plate at terminal velocities like the same manner of natural hail. The hailstones produced by this method cover the most important characteristic features of natural hail such as density, homogeneity, and surface friction. Finally, the aim of this study is to examine the correlation between the dent depth and dent diameter on the roof panels after the dynamic impact effect of the artificial hail. The results show that although the dent depth is linearly proportional to the plate thickness, impact velocity and the diameter of the hail, the dent diameter only increases as hail diameter increases. It is seen that the dent diameter in the plate is not affected by the plate thickness.

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmet.uz@adu.edu.tr, +90 (256) 213 75 03 - 3736

Alıntı / Cite

Uz, M.E., Sizar, M.D.(2021). Dolu Etkisine Maruz Kalan Çelik Çatı Panellerinin Göçük Direncinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 1015-1029.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.E. Uz, 0000-0002-4466-5536

M.D. Sizar, 0000-0003-3165-2346

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 14.06.2021

Revizyon Tarihi / Revision Date 25.08.2021

Kabul Tarihi / Accepted Date 26.08.2021

Yayın Tarihi / Published Date 21.09.2021

1.Giriş (Introduction)

Dolu fırtınaları ile meydana gelen hasarlar, deprem ve rüzgâr hasarları ile aynı seviyede olabilmektedir. Ancak, dolu fırtınalarından kaynaklanan ölüm riski çok az olduğundan, birçok ülkede ve Türkiye Ulusal İnşaat Yönetmeliğinde dolu yükleri için herhangi bir tasarım önerisi bulunmamaktadır. 14 Nisan 1999'da Avustralya'nın Sydney kentinin güneyinde öğleden sonra meydana gelen bir dolu fırtınası, şehrin merkezi ticaret bölgesi dâhil olmak üzere birçok bölgede büyük hasarlara yol açmıştır (Henri, 1999; Schuster and Blong, 2004). Sigortalı hasar 1.7 milyar dolar üzerinde ve sigortasız hasar yaklaşık 2.3 milyar dolar olarak belirlenmiştir. 27 Temmuz 2017'de İstanbul'da meydana gelen dolu yağışının sigortalı ve sigortasız hasarı yaklaşık 1 milyar liraya ulaşmıştır (Henri, 1999; Schuster and Blong, 2004). Avustralya'nın Newcastle kentinde 1989 yılında meydana gelen depremde ise sigortalı hasar yaklaşık 1.1 milyar dolar olarak belirtilmiştir (Meteorology, 1999; Schuster et al., 2005). Dolu hasarı, 1967 ve 2003 yılları arasında Avustralya'daki doğal afetlerden kaynaklanan ekonomik kayıpların %34'ünü oluşturmaktadır (Blong, 2004). İklim değişikliğinin etkileriyle birlikte dolu fırtınalarında, can ve mal kayıplarının daha da artacağı tahmin edilmektedir (Basara et al., 2007; Leslie et al., 2008). Avustralya iklim modelleri Güneydoğu kıyısında, 2030 yılında senede 1-2 dolu günü, 2070 yılında ise 4-6 dolu günü şeklinde bir artış tahmin edilmektedir (Suppiah et al., 2007). Türkiye'de yapılan araştırmalarda ülkede yaşanmış (1970-2012) doğal afetler üzerine bir değerlendirmeye göre 14 doğal afet arasında %7.21 ile en fazla meydana gelen dördüncü doğal afettir (Özşahin, 2013). Dolu hasarı 1995-2004 yılları arasında Antalya bölgesinde beş doğal afet arasında yaklaşık %10 ile en fazla dördüncü, 2002 yılında ise %28.7 ile en fazla birinci doğal afet ve maddi zararı birkaç milyon lira olarak belirlenmiştir (Yılmaz, 2008). Doğal dolunun karakteristik özelliklerini taşıyan yapay dolu üretilebilmesi için, araştırmacılar geçmişten günümüze kadar bir hayli zorluk çekmişlerdir. Doğal dolu içten dışa donarken, yapay dolu ise dıştan içe doğru donmaktadır. Yapay dolunun çekirdek kısmı donarken içinde hapsolmuş hava kabarcıkları dış katmandan dolayı kaçamaz. Doğal dolunun yapısında hapsolmuş hava kabarcıkları olsa da hava kabarcıklarının homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Yapay doluda hapsolmuş hava kabarcıkları sınırlı bir alanda kaldığından dolayı zayıf bir nokta oluşturmaktadır. Liu, Tatlı su buzunun kırılma dayanıklılığının hem yük oranını hem de sıcaklığı azaltarak arttığını bulmuştur (Liu and Miller, 1979). Sain ve Narasimhan'a göre tane büyüklüğü buz topunun direncini önemli ölçüde etkilemektedir (Sain and Narasimhan, 2011). Crenshaw ve Koontz (2002) büyük dolunun %75'inden fazlasının küresel bir şekle sahip olduğunu bulmuşlardır. Dolu tanesinin ortalama yoğunluğu 910 kg/m³tür (Brimelow et al., 2002; Crenshaw and Koontz, 2002). Bilgisayar simülasyonlarında ve laboratuvar testlerinde kullanılan en yaygın dolu yoğunluğu 846 kg/m³tür. Genel olarak bulut tabakalarındaki hapsolmüş hava nedeniyle doğal dolunun yoğunluğu yapay dolunun yoğunluğundan daha düşüktür. Bu çalışmanın amacı, doğal dolunun karakteristik özelliklerini sağlayabilen yapay dolu üretilebilmesi için daha geniş kapsamlı bir araştırma yapmaktır. Daha önce yapay dolu üzerinde çalışan araştırmacılar tarafından kullanılan buz topları, doğal dolunun son hızlarına yakın bir hızda çelik kaplamaya çarptıktan sonra paramparça olurken, doğal dolunun bir kısmı çelik panellere çarptıktan sonra bozulmadan kalmaktadır (Uz et al., 2014; Uz et al., 2017). Tablo 1'de şimdiye kadar yapay dolu üretiminde kullanılan yöntemler verilmektedir. Bu çalışma çelik çatı panellerinde oluşan dolu hasarını araştırmak için öncelikle su ve diğer malzemelerin kombinasyonu ile terminal hızlarında çelik plakaya çarptıktan sonra bozulmadan kalan yapay dolu üretmek için yeni yöntemler geliştirmiştir.

Tablo 1. Şimdiye kadar yapay dolu üretiminde kullanılan yöntemler (Methods used in the production of artificial hail so far)

Araştırmacılar	Yöntemler
Johnson ve Schaffnit (1973); Crenshaw ve Koontz (2002) Flüeler, vd. (2008); McCormick, vd. (1998)	Çelik top ya da başka bir indentör
Laurie (1960)	Karı kalıba sıkıştırma
Geoffrey Pyke (1942)	Su-talaş karışımından buz topu
Moore ve Wilson (1978)	Buzu basınç ile sıkıştırma
Render ve Pan (1995)	Basınçla dökülmüş buz
Swift (2013)	Pamuk lifi ile buz topu
Luong (2014)	Demineralize su
Uz vd.(2017)	PVA'lı Dolu
Yılmaz vd.(2020)	Sıvı nitrojen ile suni dolu yapımı

Bu nedenle, bir çelik panelin çökme direnci, özellikle dinamik darbe etkisinde yapay dolunun çarpma davranışındaki değişkenler daha güvenilir veriler elde edildiğinde, doğru bir şekilde oluşturulabilir. Bu çalışmanın ilk bölümü, gelişmiş bir laboratuvarında gerçekçi 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 arttırmak için polivinil alkol (PVA) yapıştırıcı ve sıvı nitrojen eklenmesi, doğal dolunun diğer fiziksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirmeden araştırılmıştır. Altı farklı sac kalınlığı (0.35, 0.45, 0.60, 0.70, 0.80 ve 1 mm) ve çelik kalite sınıfı G300, belirlenen çarpma hızlarında yedi farklı boyutta yapay dolu darbe etkisinin altında test edilmektedir. Testler şu şekilde etiketlenir: akma gerilimi (MPa), kalınlık (mm), dolunun çapı (mm), basınç (psi) ve test numarası. Farklı çelik türleri kısıtlı imkanlardan dolayı elde edilememiştir. Daha sonraki çalışmalarda farklı çelik türleri ile de atışlar gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada sadece düz panel kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Yukarıda Tablo 1'de belirtilen ve literatürde kullanılan yapay dolu taneleri, çelik indentörler, çelik bilyeler, kardan yapılmış buz, su-talaş karışımından buz topu, yekpare buz, buzlu basınç ile sıkıştırma yöntemi, pamuk lifi ile buz topu, demineralize su enjekte edilmiş pinpon topu, PVA bazlı buz ve sıvı nitrojen ile suni doludan oluşmaktadır. Swift (2013), dolunun çarpma esnasında çatlamalarını önlemek ve buz toplarının sünekliğini arttırmak için pamuk lifi kullanmıştır. Pamuklu buz toplarının saf buz toplarından önemli ölçüde daha esnek olduğu bulunmuştur. Yarı statik (gerilme oranı kontrolü) metodunu kullanılarak, saf buz topları pamuklu buz toplarından çok daha erken çatladığını bulmuştur (Moore and Wilson, 1978; Luong, 2014). Bununla birlikte pamuk karışımı buz toplarının, doğal doluya göre homojen olmama ve yüzey sürtünmesinin her yerde aynı olmaması gibi sorunları vardır. Pamuklu buz topları, İkinci Dünya Savaşı sırasında Geoffrey Pyke tarafından geliştirilen Pykrete'e benzer bir konsept kullanmıştır. Pykrete, son derece yavaş bir erime hızı veren ve %14 tahta lifi veya talaş içeren bir buz türüdür. ASTM D3746 (Uz et al., 2017), 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 bırakılır ve 30 J'lük bir darbe enerjisi ile çarpmaktadır. Hasar değerlendirilmesi görsel incelemeye dayanmaktadır. ANSI/FM (Uz et al., 2017), 31.8, 38.1, 44.5 ve 50.8 mm çapında küresel buz topları kullanarak çatı malzemelerinin darbe direncini ölçmektedir. 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 tahmin edilmez (Crenshaw and Koontz, 2002). 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 katsayısı, bir dolu tanesinden 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 mevcut yapay dolu tanelerinin karşılaştırmaları üç farklı standart için Tablo 2'de verilmiştir.

Tüm standartlarda yapay doluların bütünlüğünün önemini belirtmek için herhangi bir bilgi verilmemekle birlikte, mevcut çalışmanın deneysel ekipmanları yukarıda belirtilen standartlar ile kurulumu başarıyla yönetmektedir. Her üç standartta da, test edilen bir numune, darbenin neden olduğu görünür bir çatlama veya kırılma yoksa çatı kaplama malzemelerinin dolu çarpma direnci kriterini geçmektedir, ancak araştırmalar sağlam buz kürelerinin daha ciddi hasara neden olduğunu göstermiştir (Moore and Wilson, 1978; Luong, 2014).

Tablo 2. Bu çalışmada üretilen yapay dolunun üç farklı standart ile karşılaştırılması (Comparison of the artificial hail produced in this study with three different standards)

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 çalışma	%12 PVA'lı yapay dolu	10.0	27.8	38	1000
		19.9	45.9	45	
		32.0	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	

2.1. Gerçekçi bir dolu tanesi için kriterler (Criteria for a Realistic Hailstone)

Bu çalışmada, dolu tanelerini simüle eden gerçekçi hasarları temsil eden birkaç karakteristik özellik tanımlanarak beş kriter belirlenmiştir. İlk olarak, üretilen yapay dolu kütlelerinin büyük çoğunluğu buzdan olmalıdır. İkinci olarak, çelik panel üzerinde düzgün bir göçük oluşturması için dolu tanesinin karakteristik özellikleri tanenin her yerinde eşit olmalıdır. Diğer bir kriter ise, yapay dolu tanesinin doğal dolu tanelerinde görülen yüzey erime davranışını göstermesidir, bu da yüzey sürtünmesini etkileyen yüzeyler arasında çok küçük bir değere düşürür. Dördüncüsü, doğal dolu tanelerinde görülen katmanlı yapıyı simüle etmektir. Son olarak en önemli kriter ise, üretilen yapay dolu tanelerinin hedeflenen limit hızda çelik plakaya çarptıktan sonra bütünlüğünü korumasıdır, çünkü küçük parçalara bölünen dolular kırılma sırasında darbe enerjisi dağılacak ve böylece azalan enerji çelik panelde hedeflenen göçüğü oluşturamayacaktır.

2.2. Sağlam Yapay Dolu Yapma Yöntemleri (Methods of Making Robust Artificial Hailstones)

Test şemasında, çeşitli çaplarda yapay dolu üretmek için Şekil 1'deki silikon kalıplar kullanılmaktadır. En yaygın boyutlar sırasıyla 25, 28, 33, 38, 45 ve 50 mm'dir. Tüm dolu taneleri küresel kalıplarda monolitik (yekpare) olarak dökülür ve en az 6 saat dondurulur. Dolu tanelerinin donması için izin verilen minimum süre, yeterli süre sağlamak için Rhymer'in (2012) bulgusuna dayanmaktadır.



Şekil 1. Yapay dolu üretiminde kullanılan kalıplar (Molds used in the production of artificial hail)

Numunenin tamamen dondurulması için kalıptan çıkarma genellikle 24 saat sonra gerçekleşir. Buz toplarını kalıptan çıkarıldıktan sonra kütle kaybına uğramaması için bir haftadan daha fazla donmaya maruz kalmamalıdır. Bu çalışmadaki bulgulara göre doluların boyutu arttıkça erime oranı azalmıştır. Ayrıca erime hızı zamanla artmıştır. Bu nedenle, erimeyi azaltmak ve sonuçların doğruluğunu korumak için dolu tanelerinin testten önce ortam sıcaklığında 2 dakikadan fazla kalmaması önerilir. Dinamik dolu darbe deneyleri, bu öneriyi

göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Dolu hasarı üzerine yapılan çoğu araştırma, Tablo 3'te gösterildiği gibi, Laurie (1960) tarafından bulunan terminal hız değerlerini benimsemektedirler.

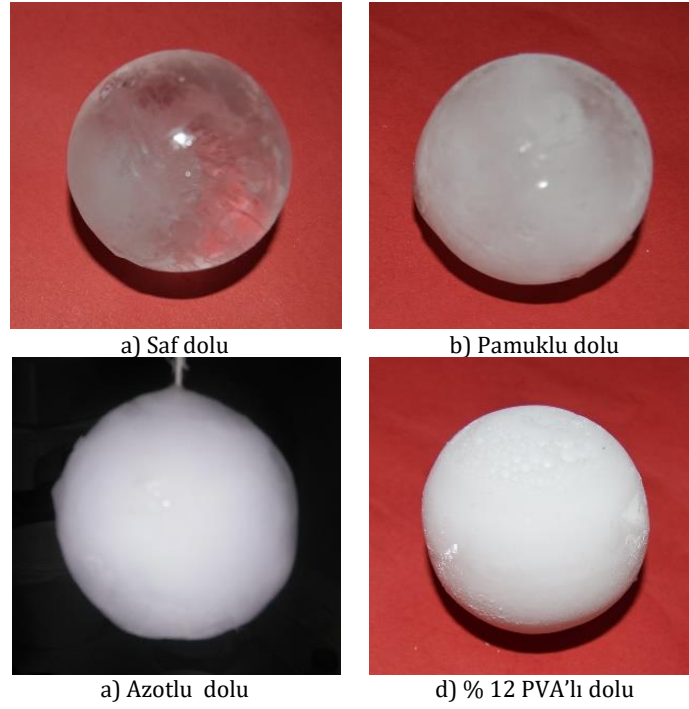
Tablo 3. Laurie (1960) tarafından belirlenen farklı çaplardaki doluların terminal hızları (Terminal velocities determined by Laurie (1960) for hailstones having different diameters)

Çap (mm)	Terminal hızı (m/s)	Yaklaşık darbe enerjisi (J)
25	22.3	<1.4
32	25.0	5.4
38	27.4	10.9
45	29.6	19.0

Bu çalışmada, yapay dolu üretmek için bir dizi yöntem araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda optimum kombinasyonları elde etmek için Şekil 2'de PVA'lı, sıvı nitrojenli, pamuklu ve demineralize su bazlı farklı karışımları incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada her kombinasyon için en iyi sonuçları verebilecek dört farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler, saf su (Demineralize su) ile yapılan buz topu, % 1 pamuk + %99 saf su, sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su ve son olarak % 12 PVA eklenmiş buz topu üretilmiştir. Bu dört yöntem ile üretilen yapay dolu tanesi Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 4, eritme işlemi gerçekleştirildikten sonra yapay dolu tanelerinin içindeki % 12 PVA malzemesinin görünümünü göstermektedir. İlgili özelliğin davranışı bir lastik görevi görür. Bu özellik, bütünlüğü korumak için yapay dolunun gerilme mukavemetinde bir artış sağlamaktır. Tablo 4'te verilen aşamalar, bu dört tür yapay dolunun üretilmesindeki adımları sunmaktadır. Tüm durumlarda, dondurucu sıcaklığı -12 °C'de kalmıştır. Kriterler ikisi olan yüzey sürtünme ve pürüzlülük ile homojenlik Şekil 3 de açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2. Yapay dolu yapımın kullanılan materyaller (Materials used in artificial hail production)



Şekil 3. Bu çalışmada kullanılan tipik yapay dolular (Typical artificial hailstones used in this study)



Şekil 4. Erime ilerledikten sonra % 12 PVA malzeme içeren özel bir yapay dolu tanesi (View of an artificial hailstone containing 12% PVA material after melting progresses)

Tablo 4. Her yöntem için yapay malzemeler ve farklı karışımlar (Artificial materials and different ingredients for each method)

Özellikleri	Dozaj Oranı	Uygulama
Demineralize su	% 100 demineralize su	* Kalıba demineralize su koyunmalı. * Genleşmesi için toplam hacmin yalnızca % 5'ini boş bırakılmalı.
Pamuk + Demineralize su	% 1 pamuk + % 99 demineralize su	* Gerekli pamuk (%1) kalıba düzgün şekilde yerleştirilmeli. * % 99 demineralize su eklenmeli. * Genleşmesi için toplam hacmin yalnızca % 5'ini boş bırakılmalı.
Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su	Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su + misina	* Misina ilk suya daldırılmalı daha sonra sıvı nitrojene daldırılmalı. * Bu işlem buz topunun istenilen çapa ulaşana kadar tekrarlanmalı. * Tam küre şeklini alabilmesi için yüzeydeki çıkıntılar maket bıçağı ile alınmalı.
PVA + demineralize su	% 12 PVA +% 88 demineralize su	* gerekli PVA (% 12). * Demineralize su ile en az 5 dakika karıştırılmalı. * Genleşmesi için toplam hacmin yalnızca % 5'ini boş bırakılmalı.

2.3. Mevcut Yapay Dolunun Doğrulanması (Validation of Present Artificial Hailstones)

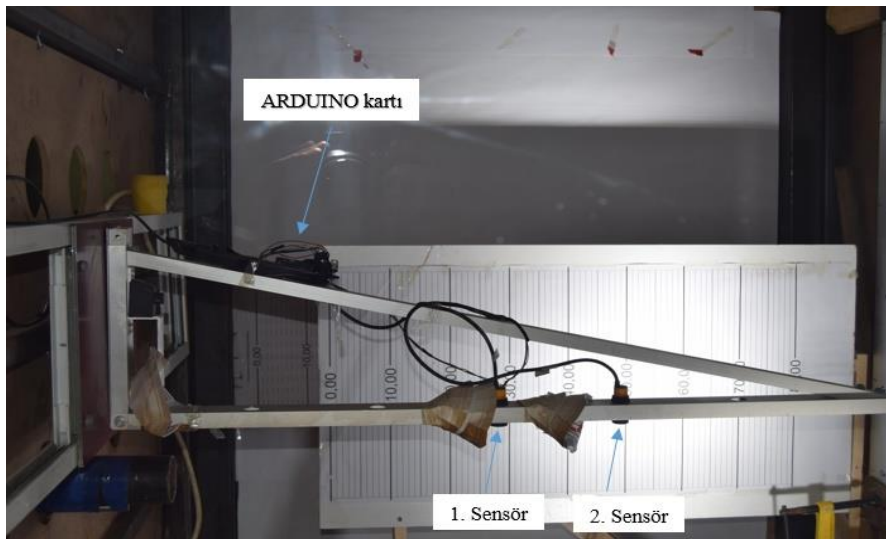
Ramsay (2015), 28.0 ve 30.7 m/s hızlarda 0.35 mm kalınlığındaki G550 çelik sac üzerinde saf buz toplarının deneysel darbe testlerini gerçekleştirmiştir. Ramsay (2015), daha ince çelik sacların üzerinde, darbeden sonra bozulmadan kalan saf buz toplarına yol açabileceğine işaret etmelerine rağmen, aslında sadece 50.8 mm çapında iki saf buz topu başarılı bir şekilde sağlam 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'de vurulan göçük derinlikleri, sırasıyla 3.08 ve 4.15 mm olan Ramsay'ın (2015) elde ettikleri sonuçlara benzer sonuç alınmıştır. Bu nedenle, darbeden sonra bozulmadan kalan saf buz toplarının göçük derinlikleri, mevcut yapay dolu tanelerinden belirgin şekilde farklı bulgulara yol açmamıştır.

2.4. Dinamik Dolu Darbe Testi (Dynamic Hail Impact Experiment)

Dinamik dolu darbe testi, dolu tanelerinin, tipik konut çelik çatısı ile tutarlı bir şekilde sabitlenmiş çelik numunelere yatay olarak itilmesini sağlar. Dolu tanesinin kütlesi, boyutu, çarpma hızı buna karşılık gelen göçük derinliği ve göçüğün çapı deneyde kaydedilir. Dikey testlerle karşılaştırıldığında, yatay test, ekipmanın 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 Niemeier ve Reynolds (1978), Moore ve Wilson (1978), Chang ve Khetan (1984), Crenshaw ve Koontz (2002), Tippmann (2011) ve Rhymer (2012), tarafından başarıyla uygulanmıştır. Gelecekteki deneysel testlere bir alternatif, mevcut deneysel testlere karşı doğrulanmış sayısal simülasyonlardır. Doğrulanmış bir sayısal yöntem sadece daha ekonomik olmakla kalmaz, aynı zamanda dolunun belirli bir yerde kaplamayı etkilemesi garanti edilebildiğinden kontrolü de daha kolaydır. Kural ve Seçer (2010) deki gibi çatı kaplamaların performans üzerindeki etkisi, bu çalışma sayesinde daha sonra kaplamaların dolu etkisine karşı performansları incelenmesine öncülük edecektir.

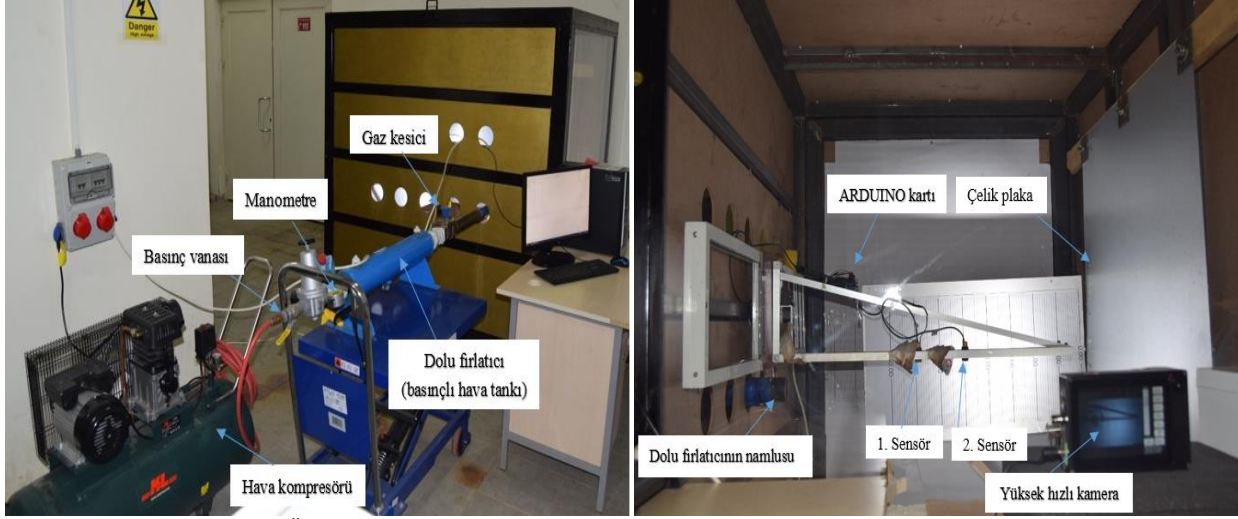
2.5. Amaca Yönelik Ekipman (Purpose-Built Equipment)

Dinamik dolu darbe deneyini gerçekleştirmek için kullanılan ekipman tasarlanmış ve imal edilmiştir (Uz et al., 2014; Uz et al., 2017). Cihaz, diğer malzemelerin yanı sıra bir dolu fırlatıcı, bir dolu tutucu, bir koruyucu ünitesi ve saniyede en az bin kare (1000fps) kayıt alabilen yüksek hızlı bir kameradan oluşmaktadır. Ekipman, doğal koşulların iyi bir şekilde temsil etmesi için amaca uygun olarak üretilmiştir. Dolu fırlatıcıya, basınçlı hava sağlamak için bir hava kompresörü, doluyu fırlatmadan önce belirlenen basıncı depolaması için basınçlı bir hava tankı ve bir çelik boru namlusundan oluşmaktadır. Mermi ile dolu tutucunun arasında yerleştirilen yüksek yoğunluklu bir köpük bloğu, dolunun hızlı hızlanma 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 ARDUINO kartı ile tasarlanmış sensörler Şekil 5'te gösterildiği gibi koruyucu ünitenin içinde bir çerçeveye monta edilerek hız kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 5. MATLAB aracılığıyla ARDUINO kartı kullanılarak tasarlanmış hız sensörleri (Velocity sensors designed using ARDUINO board via MATLAB)

Dinamik dolu çarpma işlemi, dolu fırlatıcının yanına yerleştirilen hava vanasının açılmasıyla başlamaktadır. Çelik numuneyi koruyucu ünite içindeki monta edilmiş çerçeveye, numuneyi istenilen yükseklik aralığına ayarlayarak yerleştirdikten sonra koruyucu ünitenin kapısı kapatılmaktadır. Yapay dolunun kütlesi ve boyutları, dolu fırlatıcı namlusuna yerleştirilmeden önce ölçülerek kaydedilmektedir. Fırlatıcının (hava tankı) girişi, hava kompresörüne takılarak istenen basınçla doldurulmaktadır. İstenilen basınç, yapay dolunun terminal hızına ulaşılarak belirlenmektedir. Hız Şekil 6' da verilen yüksek hızlı kamera kaydı ile hesaplanmaktadır. Dolu fırlatıcı tamamen basınçsız hale getirildikten sonra, çelik plakanın göçük derinliği ve çapları ile ilgili gerekli parametreler, mümkün olduğunca doğru bir şekilde ölçülmektedir. Ölçülen göçük çapları ve göçük derinliği Tablo 6' da verilmektedir. Şekil 6 de görüldüğü gibi dolu fırlatıcının namlusu kafes sistemindeki deliklerden belirli bir mesafeye getirilerek yerleştirilmiştir. Panel ile namlu arasında dolunun eğik atışından çekinmek için mesafe 1 m'ye düşürülmüştür.



Şekil 6. ADÜ laboratuvarı deney kurulumu (Experiment set up in the laboratory at ADU)

Dolunun daha namlu içinde hava basıncından dolayı kırılmalara maruz kalmaması adına, dolular kendi çaplarına göre hazırlanmış namlu çapı büyüklüğünde köpüklere yerleştirilmiş böylelikle on kırılmaların önüne geçilmiştir.

2.6. Darbe Hızının Ölçümü (Impact Velocity Measurement)

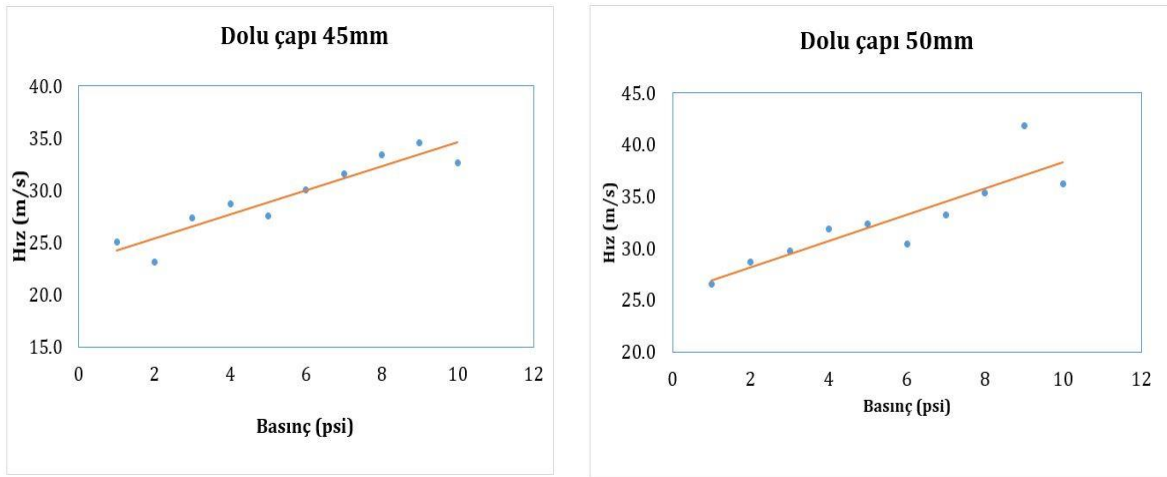
Yapay dolunun çarpma hızı, yüksek hızlı kamera ve arka planda çizgili beyaz tahta kullanılarak ölçülmüştür. Beyaz tahtanın uzunluğu 800 mm'dir ve 80 eşit parçaya bölünmüştür. Beyaz tahta, geri tepme hızını da ölçmek için çelik numunenin yanına yerleştirilmektedir. Saniyede 2800 kare hızı, yeterli ışığa sahip yüksek hızlı bir kamera ile elde edilebilir. Bu kadar yüksek bir kare hızında kayıt yapmak, önemli miktarda bellek alır ve böylece pratik kayıt süresini sınırlar. Yapay dolunun uçuşunu yakalamak ve gelecekteki kayıtlar için yeterli hafızayı korumak için saniyede 1502 kare hızı kullanılmıştır. Bu yöntemle hızın ölçülmesindeki hata %1.14'tür, bu da kabul edilebilir bir hata payıdır. Şekil 7, darbeden hemen önce ve darbeden hemen sonra yüksek hızlı kamera tarafından kaydedilen iki görüntüyü göstermektedir. Şekil 8, bu çalışmada test edilen yapay dolu tanelerinin atış basıncı ile hızı arasındaki ilişki, göstermektedir. Bu bağlantı, iki farklı boyuttaki yapay doluda hedef çarpma hızları için hava basınçlarını ayarlamaya yönelik bir dizi denemeden elde edilmiştir. Kalıplar benzer boyutlara sahip olduğundan, her boyut için yapay dolu kütlesinin yakın bir aralıkta olması beklenmektedir.



a) Darbeden hemen önce

b) Darbeden hemen sonra

Şekil 7. 38 mm çapında % 12 PVA'lı dolunun, 43.5 psi'lik basınç etkisindeki görüntüsü (View of 38 mm diameter hailstone with 12% PVA under 43.5 psi pressure)



Şekil 8. Gaz tabancası basıncı ile çarpma hızının arasındaki ilişki (Correlation between gas gun pressure and impact velocity)

Sensor hızı ile kamera hızı arasındaki az miktardaki farkların birkaç sebebi olabilmektedir. Dolu atışı sırasında dolunun namludan çıkışı sırasında, hava basıncındaki içindeki su parçacıklarının hassas sensörler tarafından etkilenmesi ile meydana gelen okuma hataları ile kamera deki kare hızına bağlı olarak dolu ile cetvel izazı yapılırken mesafe okuma hatalarından kaynaklanabilmektedir.

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışmada % 12 PVA içeren 180 adet yapay dolu, Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su ile 35 adet yapay dolu, % 1 pamuk + % 99 demineralize su içeren 7 adet yapay dolu ve %100 demineralize su ile 7 saf buz topu ile test yapılmıştır. PVA'lı, pamuklu ve saf sudan üretilen yapay dolular silikon kalıpta yapılmaktadır. Sıvı nitrojen ile üretilen dolular elle yapıldığından dolayı, dolu çapları diğer üç yöntemle göre farklı farklı olabilmektedir. Bu çalışmada 38, 45, 46, 47, 48, 49 ve 50 mm'lik yedi farklı boyut kullanılmıştır. Dolu fırlatıcı tarafından uygulanan basınç 35 ile 50 psi arasında değişmekte ve yaklaşık 22-49.3 m/s'lik bir hız aralığı ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışma Şekil 8'da benzer darbe hızı ve basınç grafiğini kullanarak buz topunun her boyutu için darbe hızını tahmin etmektedir. Tablo 5'te yapılan testlerin malzeme bileşenlerini, boyutlarını, uygulanan basınç ve test sayısını listelemektedir. Tablo 6' da mevcut çalışmada üretilen ve test edilen yapay dolu tanelerinin özelliklerini niteliksel olarak değerlendirmektedir. Saf su ile üretilen yapay doluların neredeyse tamamı çelik plakaya çarptıktan sonra parçalanmıştır. Demineralize su ile yapılan dolular Şekil 3'te görüldüğü gibi şeffaf ve çabuk kırılan bir yapıya sahiptir. %1 pamuk +% 99 saf su ile yapılan yapay dolu taneleri darbeden sonra çoğu ezildi (kırıldı ama pamuk lifleri parçalanmayı önledi) ve çarpma noktasında kütle kaybı meydana gelmiştir. Sıvı nitrojen 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. Kriterlerden çarpışmadan sonraki bütünlük ve yoğunluk Tablo 6' da görülmektedir.

ASTM: F320-10 (Uz et al., 2017) tarafından önerilen %12 pamuklu buz topu, %12 PVA'lı yapay dolunun aksine, pamuk lifleri suda eşit olarak dağılmadığı için homojen olmama sorunları vardır. Pamuk lifleri buz topunun kırılma mukavemetini artırmasına rağmen, pamuk liflerini çevreleyen buz parçacıkları çarpma esnasında kırılmaktadır. %12 PVA içeren buz topları, bölüm 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 kullanımının diğer bir avantajı ise, PVA'nın suda homojen çözünebilmesi ve böylece yapay doluların tek tip özelliklere sahip olabilmesidir. Sonuç olarak, bu metot ile üretilen yapay doluların darbe dayanımı, doğal dolu tanelerine daha yakın sonuçlar vermiştir. Tablo 6'daki 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 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 9, dinamik darbe testinden sonra elde edilen göçük derinlikleri ile göçük çapları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Çelik panel üzerinde oluşan göçük derinlikleri arttıkça göçük çapları doğrusal olarak artmaktadır. Ayrıca deneysel sonuçlara göre çelik panel üzerinde oluşan göçük derinliği ile dent çapı çelik panelin kalınlığı, darbe hızı ve dolu çapına bağlı olarak doğrusal artmışını gözlemlemiştir.

Tablo 5. Bu çalışmada test edilen yapay doluların malzeme özelliği, boyutları, uygulanan basınç ve test sayısı (Material properties, dimensions, applied pressure and number of tests of artificial hail tested in this study)

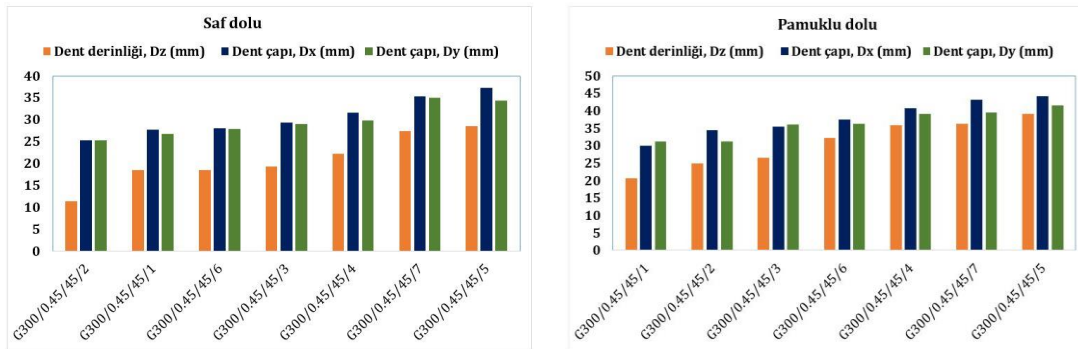
Malzeme	Çap (mm)	Basınç (psi)	Test Sayısı
% 12 PVA +% 88 demineralize su	50	43.5	8
		42.1	12
		40.6	20
		36.3	2
		37.7	9
		39.2	9
	45	47.9	2
		45	22
		43.5	21
		42.1	2
		49.3	1
		46.4	12
	38	45	27
		43.5	20
		42.1	9
46.4		3	
47.9		1	
Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su + misina	46	47.9	5
	47	46.4	4
		47.9	6
	48	46.4	3
		47.9	7
	49	45	2
47.9		6	
% 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

Tablo 6. Bu çalışmada test edilen yapay dolu tanelerinin niteliksel özelliklerini karşılaştırması (Comparison of the qualitative properties of the artificial hailstones tested in this study)

Özelliği	Çelik sınıfı, Plaka kalınlığı (mm), Dolunun çapı (mm), Atış sayısı	Dolunun kütlesi (g)	Dolunun yoğunluğu (g/cm ³)	Sensör hızı (m/s)	Kamera hızı (m/s)	Dentin çapı, Dx (mm)	Dentin çapı, Dy (mm)	Dentin derinliği, Dz (mm)	Dolunun darbeden sonraki durumu
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.45/38/1	27	970.8	22.92	25.05	27.66	31.06	1.93	Sağlam
	G300/0.45/38/2	28.9	1051.1	35.89	32.88	42.8	39.2	3.02	Sağlam
	G300/0.45/38/3	30.7	1048.5	33.75	28.9	35.75	36.68	2.85	Sağlam
	G300/0.45/38/4	28.4	1049.9	28.62	27.33	32.5	36.17	2.32	Sağlam
	G300/0.45/38/5	27.5	1011.5	26.32	24.59	27.5	26.62	1.7	Sağlam
	G300/0.45/38/6	30.8	1053.9	25.95	25.05	28.6	29.07	2.09	Sağlam
	G300/0.45/38/7	27.2	968.2	23.67	21.47	24.79	26.31	1.71	Sağlam
	G300/0.45/38/8	28	1016.2	26.81	25.05	28.61	28.35	2.14	Sağlam
	G300/0.45/38/9	27.3	968.4	28.43	28.9	30.79	32.66	2.49	Sağlam
	G300/0.45/38/10	27.3	979	28.25	28.55	30.23	31.75	2.07	Sağlam
	G300/0.45/45/1	46.2	962.7	27.86	31.56	37.54	36.59	3.45	Sağlam
	G300/0.45/45/2	45	973.5	28.88	30.06	33.07	35.23	2.95	Sağlam
	G300/0.45/45/3	46.8	983.3	26.37	26.3	33.99	35.39	3.01	Sağlam
	G300/0.45/45/4	46.4	961.3	26.05	28.69	33.48	33.45	2.94	Sağlam
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.45/45/5	47.4	947.9	30.33	30.06	34.69	34.33	3.08	Sağlam
	G300/0.45/45/6	47.6	930.1	23.52	24.28	31.31	31.7	2.55	Sağlam
	G300/0.45/45/7	46.1	991.5	27.13	28.69	33.98	33.96	2.94	Sağlam
	G300/0.45/45/8	45.6	967.1	29.85	28.69	35.09	37.41	3.41	Sağlam
	G300/0.45/45/9	44.4	968.2	27.12	30.06	35.52	34.2	3.14	Sağlam
	G300/0.45/45/10	44.2	945.2	30.28	33.4	35.94	38.07	3.16	Sağlam
	G300/0.45/50/1	64.1	976.3	28.75	25.05	35.78	36.23	3.06	Sağlam
	G300/0.45/50/2	64	972.1	32.03	28.69	44.85	45.06	4.05	Sağlam
	G300/0.45/50/3	62.5	959.1	24.07	23.12	33.22	33.68	2.82	Sağlam
	G300/0.45/50/4	65.5	998.2	30.05	27.55	38.24	41.31	3.56	Sağlam
	G300/0.45/50/5	64.1	967	35.44	37.57	44.94	46.07	4.4	Sağlam
	G300/0.45/50/6	64.6	985.2	34.76	30.06	43.67	48.72	4.16	Sağlam
	G300/0.45/50/7	64.6	989.4	29.7	30.05	45.29	45.53	4.13	Sağlam
	G300/0.45/50/8	64.7	948.4	19.54	22.45	34.75	35.41	2.7	Sağlam
G300/0.45/50/9	64.6	954.8	33.22	37.57	52.23	57.83	4.81	Sağlam	
G300/0.45/50/10	64.2	959.6	32.95	33.4	44.25	47.67	4.2	Sağlam	
Azotlu Dolu	G300/0.45/46/1	54.9	1053.4	25.07	28.05	39.5	37.54	3.39	Kırıldı
	G300/0.45/46/2	51.8	1006.9	37.72	31.94	40.55	40.3	3.59	Parçalandı
	G300/0.45/47/3	54.5	996.4	32.59	29.48	43.02	40.79	3.34	Parçalandı
	G300/0.45/48/4	57.7	990	27.49	31	35.4	38.86	3.77	Sağlam
	G300/0.45/48/5	56.4	989.2	20.9	21.04	30.32	33.39	2.42	Kırıldı
	G300/0.45/48/6	53.3	938.7	24.19	26.52	32.4	34.81	2.69	Kırıldı
	G300/0.45/48/7	56.7	975.1	111.4*	31.13	44.38	40.81	3.65	Kırıldı
	G300/0.45/49/8	60.4	969.4	34.15	33.06	45.98	42.2	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	Parçalandı	
Pamuklu Dolu	G300/0.45/45/1	46.1	986.2	26.97	26.3	29.88	31.09	2.06	Hasarlı
	G300/0.45/45/2	45.4	960.9	24.96	24.69	37.45	36.31	2.48	Hasarlı

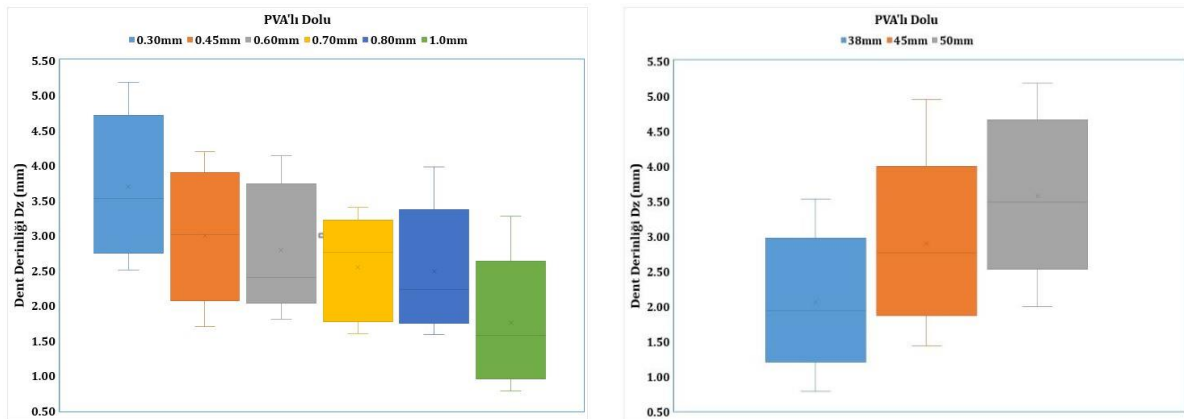
	G300/0.45/45/3	44.8	954.1	24.75	26.3	34.3	31.08	2.65	Hasarlı
	G300/0.45/45/4	45	940.8	35.84	33.4	40.77	39.55	3.59	Sağlam
	G300/0.45/45/5	43.8	941.9	32.87	31.64	43.03	41.5	3.9	Hasarlı
	G300/0.45/45/6	45.9	983.7	32.27	31.56	35.45	35.96	3.21	Hasarlı
	G300/0.45/45/7	44.5	974.3	38.65	35.07	44.15	39.05	3.63	Hasarlı
Saf su ile yapılan Dolu	G300/0.45/45/1	44.9	952.2	23.99	24.28	31.65	29.86	1.85	Parçalandı
	G300/0.45/45/2	41.2	910.8	22.8	23.62	25.23	25.24	1.14	Parçalandı
	G300/0.45/45/3	44.3	943.9	19.66	21.04	27.64	26.71	1.93	Kırıldı
	G300/0.45/45/4	47.5	987.6	23.58	23.12	29.28	29.01	2.22	Parçalandı
	G300/0.45/45/5	47.1	972.2	25.37	26.3	37.28	34.38	2.85	Kırıldı
	G300/0.45/45/6	44.7	952	20.4	21.47	27.97	27.85	1.85	Parçalandı
	G300/0.45/45/7	44.3	950.1	25.21	27.44	35.28	34.91	2.74	Kırıldı

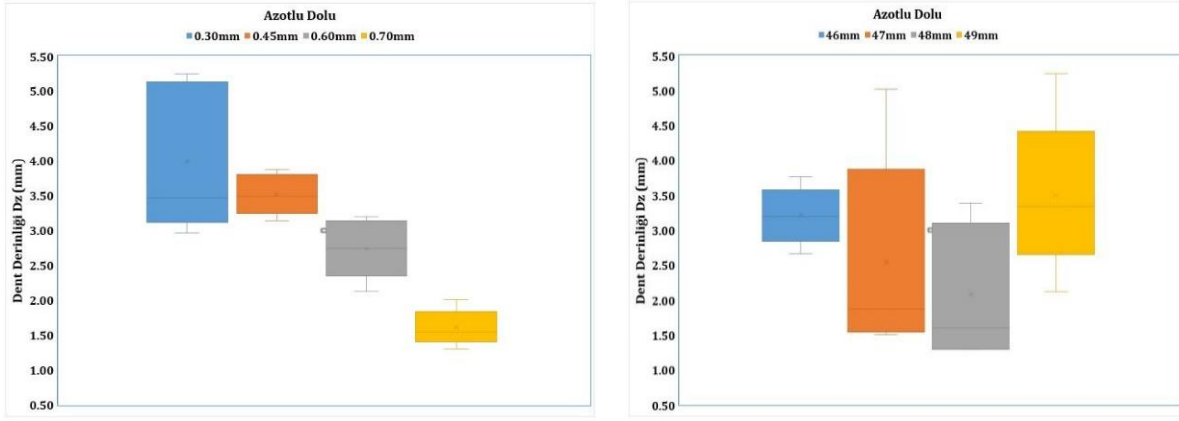
* Darbe testi yapılırken dolu sensöre çaptı bu nedenle sensörün ölçtüğü hız yüksek çıkmıştır



Şekil 9. Bu çalışmada test edilen saf dolu ile pamuklu dolunun göçük derinliği ve göçük çapları arasında karşılaştırma (Comparison between dent depth and dent diameters of pure hail and cotton hail tested in this study)

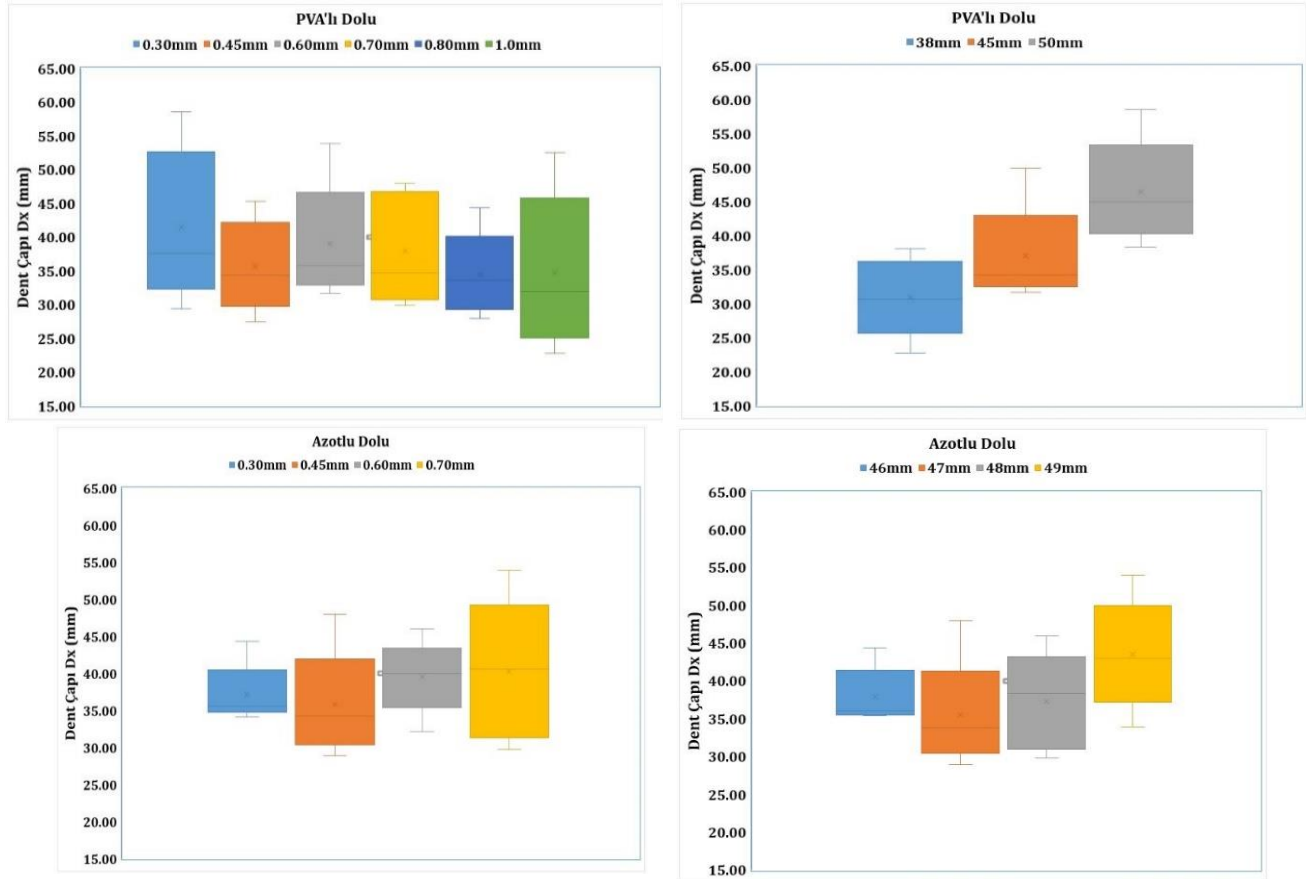
Şekil 10 ve Şekil 11'de, Box-Whisker analizi dolu çapı ve plaka kalınlığına göre çukur derinliği ve çukur çapı sonuçları verilmiştir.



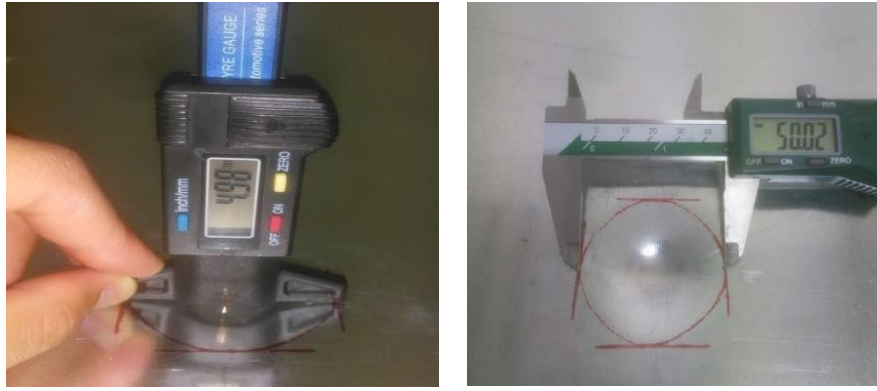


Şekil 10. Bu çalışmada test edilen PVA'lı dolu ile Azotlu dolunun çukur derinliği arasında karşılaştırma (Comparison between dent depth of PVA hail and Nitrogen hail tested in this study)

Şekil 10' da, PVA'lı dolular ile yapılan atışlarda, çukur derinlikleri plaka kalınlıkları artıkça düşüş eğilimindeyken, Nitrojen azotu 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 oranı Azot ile yapılan doluya istinaden fazla olmasıdır. Şekil 11' de ise plaka üzerindeki çukur çapları her iki dolu türünde de plaka kalınlığından değişkenlik göstermediği anlaşılmaktadır. Yine PVA'lı dolu ile yapılan atışlarda nitrojen azotu ile yapılanlara kıyasla çukur çapları dolu büyüdükçe belirgin şekilde arttığı gözlenmektedir. Şekil 12'de görüldüğü üzere, darbe testinden sonra 0.30 mm'lik çelik panel üzerinde oluşan göçük derinliğini 4.98 mm ve göçük çapı 50.02 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 11. Bu çalışmada test edilen PVA'lı dolu ile Azotlu dolunun çukur çapı arasında karşılaştırma (Comparison between dent diameter of PVA hail and Nitrogen hail tested in this study)



a) Dent derinliği

b) Dent çapı

Şekil 12. 0.30 mm'lik çelik panel üzerinde oluşan çukur derinliği ve çukur çapı (The dent depth and dent diameter appeared on the 0.30 mm steel panel)

4. Sonuç (Conclusion)

Dolu fırtınaları, özellikle çelik çatı kaplaması, otomotiv ve uçak panelleri olmak üzere, çevreye önemli hasar verme potansiyeline sahiptir. Bu malzemelerin dolu yüküne karşı direncini değerlendirmek için mevcut yöntemler, temsili yapay dolu tanelerinin olmaması nedeniyle güvenilirlikten yoksundur. Demineralize su, Pamuk, sıvı nitrojen ve PVA gibi çeşitli karışım oranlarını içeren birbirinden farklı yapay dolu üretim yöntemlerinin kapsamlı bir araştırmaya dayanan bu çalışma, dolu taneleri üretmek için dört yöntemi göstermektedir. Üretilen dolu taneleri, farklı kalınlığa sahip çelik panellere yüksek hızlı darbe etkisi altında davranışlarını değerlendirmek için amaca yönelik tasarlanmış bir test teçhizatında dinamik dolu testine tabi tutulmaktadır. Dolu darbe testi sıfır derece açısında gerçekleştirilmiştir. Çelik panel üzerinde oluşan dent derinliğini hassas derinlikölçer ve dent çapını hassas kalınlık kumpası ile ölçmüştür. Ayrıca göçük derinliği ile göçük çapı arasındaki ilişkiden daha hassas sonuçlar alabilmek için sonraki çalışmalarda bir formülasyon geliştirmeyi hedeflemiştir. Test şeması toplam 232 darbe testini içermektedir. Bu çalışmadan elde edilen temel sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Mevcut yapay dolu üretim süreçleri istikrarlı bir şekilde gerçekçi hasarlara neden olan dolu tanelerini üretmekte zorluklar çekmektedir.
2. Bu çalışma, doğal dolunun neden olduğu hasarı temsil etmek için yapay dolunun yeterliliğini değerlendirmek için ana dört kriter önermektedir. İlk olarak, dolu taneleri ağırlıklı olarak buz olmalıdır. İkincisi, dolunun özelliği homojen olmalıdır. Üçüncüsü, yapay dolu, doğal dolularda görülen yüzey erime davranışını göstermelidir. Son olarak, yapay dolularda hedeflenen terminal hızındaki darbeden sonra bütünlüklerini korumalıdır.
3. PVA veya sıvı nitrojen eklenmesi buz toplarının pamuklu dolulara göre dayanım gücünü artırmıştır. Bu yöntemle üretilen buz topları, doğal dolunun yüzey sürtünmesi ve yoğunluğuna mümkün olduğunca yaklaşmıştır.
4. Sonuçlar, göçük derinliğinin levha kalınlığı, çarpma hızı ve dolu çapı ile doğrusal orantılı olmasına rağmen, göçük çapının sadece dolu çapı arttıkça arttığını göstermektedir. Plakadaki göçük çapının plaka kalınlığından etkilenmediği görülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

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

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynakça (References)

- Basara, J. B., Cheresnick, D. R., Mitchell, D. and 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. and Reuter, G. W. (2002) Operational forecasts of maximum hailstone diameter in Mendoza, Argentina, *The Journal of Weather Modification* 34(1), 8-17.
- Chang, D. and Khetan, R. (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. and Koontz, J. D. (2002) Hail: Sizing It Up!, Western roofing magazine, 2-7.
- Henri, C. (1999) The Sydney hailstorm: The insurance perspective, Australian Journal of Emergency Management, The 14(4), 16-18.
- Kural, M. E. and Secer, M. (2010) Çati kaplama malzemelerin performanslarının incelenmesi. 5. Ulusal Çati & Cephe Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe yerleşkesi, İzmir, 1-8.
- Laurie, J. (1960) Hail and its effects on buildings, Council for Scientific and Industrial Research.
- Leslie, L. M., Lepastrier, M. and 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. and Miller, K. (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, UC San Diego.
- Maguire, J. (2014) Experimental determination of the effects of hail impact on steel building envelopes, Civil, Mining and Environmental Engineering. Australia, University of Wollongong. Master of Science: 1-108.
- Meteorology, A. B. o. (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, Bureau of Meteorology.
- Moore, D. M. and Wilson, A. (1978) Photovoltaic solar panel resistance to simulated hail, Department of Energy.
- Niemeier, B. A. and Burley, C. E. (1978) Hailstone response of body panels-real and simulated, SAE Technical Paper.
- 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, Engineering, Aerospace. San Diego, University of California. Ph.D. Thesis.
- Sain, T. and Narasimhan, R. (2011) Constitutive modeling of ice in the high strain rate regime, International Journal of Solids and Structures 48(5), 817-827.
- Schuster, S. and Blong, R. (2004) Hailstorms and the estimation of their impact on residential buildings using radar. Conference Proceedings, Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, Bureau of Meteorology. Melbourne, Australia
- Schuster, S. S., Blong, R. J. and Speer, M. S. (2005) A hail climatology of the greater Sydney area and New South Wales, Australia, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society 25(12), 1633-1650.
- Suppiah, R., Hennessy, K., et al. (2007) Australian climate change projections derived from simulations performed for the IPCC 4th Assessment Report, Australian Meteorological Magazine 56(3), 131-152.
- Swift, J. (2013) Simulated hail ice mechanical properties and failure mechanism at quasi-static strain rates.
- Tippmann, J. D. (2011) Development of a strain rate sensitive ice material model for hail ice impact simulation, Structural Engineering. San Diego, University of California. Master of Science.
- Uz, M., Teh, L. and Maguire, J. (2014) Developing Australia’s first hail-proof roofing profiles, Research case study. Open Days’s poster, SBRC.
- Uz, M. E., Yılmaz, G. and Bircan, T. (2017) Hasarı gerçekçi şekilde simüle eden dolu yapımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 5(2), 411-423.
- Yılmaz, F. K. (2008) Antalya’nın günlük yağış özellikleri ve şiddetli yağışların doğal afetler üzerine etkisi, Sosyal Bilimler Dergisi 10(1), 20.