



SIVI NİTROJEN İLE SUNİ DOLU YAPIMI VE ŞİMDİYE KADAR YAPILAN YAPAY DOLULARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Gökalp YILMAZ¹, Mehmet Eren UZ^{2*}, Mohammad DAWOOD SIZAR², Meryem Dilara KOP²

¹İnotim Mühendislik Makine San. ve Tic. A.Ş., AR-GE Sorumlusu, 09100, Aydın, Türkiye

² Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 09100, Aydın, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Dolu,</i> <i>Sıvı Nitrojen,</i> <i>Yapay Dolu,</i> <i>Dolu Darbe Testi.</i>	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 kırılmamaktadırlar. Doluların bu kütle ve hızlarda verdikleri zarar ise bir hayli fazladır. Örneğin; İspanya'nın Alicante şehrinde 2019'un Ağustos ayında gerçekleşen dolu fırtınası 3 milyon euro değerinde zarar vermiştir. Araba kaportalarına, uçak gövdelerine, evlerin çatılarına, solar panellere, rüzgâr türbinlerine verdikleri zarar her yıl milyonlarca lira kayba neden olmaktadır. Tüm bunlara rağmen dolu ile ilgili çalışmalar, dolunun simüle edilememesi ve dolayısıyla dolunun verdiği hasarın da tam olarak simüle edilememesinden dolayı tam başarıya ulaştığı söylenememektedir. Bu çalışmada daha önceden yapılmamış ve literatüre geçmemiş olan sıvı nitrojen ve su ile suni dolu yapılmaktadır. 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.

PRODUCTION OF ARTIFICIAL HAILSTONE WITH LIQUID NITROGEN AND COMPARISONS WITH OTHER ARTIFICIAL HAILSTONES UP TO NOW

Keywords	Abstract
<i>Hailstone,</i> <i>Liquid Nitrogen,</i> <i>Artificial Hailstone,</i> <i>Hailstone Impact Test.</i>	Hailstones are, by definition, particles of water that fall into the Earth in a frozen solid. Its dimensions can be up to 20 cm. These hard masses strike the Earth at speeds of 80 to 110 km/h, but they do not break despite this collision. The damage caused by hail at this mass and speed is a great deal. For example, a hailstorm in August 2019 in Alicante, Spain, caused 3 million euros worth of damage. The damage they do to car bodywork, aircraft bodies, roofs of houses, solar panels, and wind turbines causes millions of Turkish liras of losses each year. In spite of all this, the studies related to hail cannot be said to have achieved full success due to the inability to simulate hailstones and therefore the damage caused by hailstones can not be fully simulated. In this study, artificial hailstones are made with liquid nitrogen and water, which have not been done before and have not been passed to the literature. It was determined that applications such as steel balls, indentors, normal ice spheres used in hail damage tests did not produce real results and did not show hail characteristics. This deficiency has been eliminated by the proof that the "artificial hailstones" we have made is very close to reality. This proof is confirmed as a result of not breaking the hailstones, giving similar results in firing tests, and parameters such as the density of the artificial hailstones being close to the actual hailstones.

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

Alıntı / Cite

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.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

G. Yılmaz, 0000-0003-2183-586x

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

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

M.D. Kop, 0000-0001-6428-5744

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 08.01.2020

Revizyon Tarihi / Revision Date 21.09.2020

Kabul Tarihi / Accepted Date 23.09.2020

Yayın Tarihi / Published Date 25.12.2020

1. Giriş (Introduction)

Dolu hasarı her yıl milyonlarca lira kayba neden olmaktadır. Dolu yağışının hasarının önlenememesi geçmişten günümüze hep bir sorun olmuştur. İnsanları maddi ve manevi yönden kötü yönde etkileyen bu doğal afetin verdiği zararı azaltma amacı ile üniversiteler, özel laboratuvarlar, araba firmaları gibi kurumlar çalışmalar yapmaktadırlar. Yapılan çalışmalarda en önemli sorun ise gerçekçi bir dolu atışının elde edilememesidir. Bu sorunu, çözmek için ise önce doluyu simüle etmek gerekmektedir. Doluyu simüle edebilmek için farklı cisimlerle çalışmalar yapılmıştır. En çok kullanılan yöntem kalıp kullanılarak demineralize suyun dondurulması ile elde edilen yöntemdir. Plastik toplar (Flüerer vd. 2008), çelik toplar, normal buz küreleri gibi kullanılan cisimler doluyu simüle edememektedir. Doğal dolunun içten dışa donması, doğal dolunun embriyo adı verilen çekirdeğinde toz, tuz gibi malzemelerin bulunması doluyu oluşturan ve farklı kılan özelliklerdendir. Oysaki üstte sıralanan dolu yapım yöntemlerinde bunların hiçbiri yoktur. Araştırmalarımız sonucunda bulunan sıvı nitrojen kullanarak dolu üretme yöntemi, literatürüne girecek ve dolu testlerine ışık tutacak cinstendir. Literatürde bulunmaması da projenin özgünlüğü ve gelişebilirliği açısından önemli niteliktedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bugüne kadar birçok farklı araştırmacı tarafından yapay dolu yapımı denenmiştir. Örnek olarak ilk olarak çelik ya da başka indentör kullanılmıştır. (Johnson ve Schaffnit, 1973; Nomura vd., 1984; Vreede vd., 1995; Fleming vd., 1997; Shi vd., 1997; McCormick vd., 1998; USS, 2005; Flüeler vd., 2008). (Geoffrey Pyke vd., 1942) su-talaş karışımından buz yapmıştır. Swift (2013) pamuk kullanarak yapay dolu çalışmaları yapmıştır. Daha sonra Uz vd.(2017) % 12 PVA (Polivinil Asetat) içeren dolularda deneyler yapmışlardır fakat bu yöntemlerin hiçbiri doğal dolunun oluşum sürecini ve özelliklerini göstermede yetersiz kalmaktadır fakat sıvı nitrojen kullanılarak yapılan dolu doğal dolunun oluşum sürecindeki gibi katmanlı oluşumu ve dolunun kırılmama özelliğini göstermektedir. Bu yöntem sayesinde literatürdeki bu eksiklik giderilmiş olacak ve daha sonra yapılacak çalışmalar için yol gösterici bir çalışma olacaktır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Doğal dolu Kümülonimbus adı verilen kümülüs bulutlarının dikey olarak gelişerek büyümesiyle oluşan konvektif fırtına bulutlarındaki 0 ile -40 derece arasındaki sıcaklık farkından dolayı ani bir şekilde katman katman donar ve kristal bir yapıya sahip olur. Dolunun bu kristal yapısı doluya elastiklik katar ve güçlü olmasını sağlar. Lauri (1960) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda dolunun merkezinde (çekirdeğinde) tuz, toz ve diğer partiküllerin de bulunduğu anlaşılmıştır.

“Dolu ile ilgili bu güne kadar yapılan çalışmalar, dolunun yapısı, oluşumu hakkında bizlere ışık tutmaktadır. Knight ve Knight (2016), dolu embriyoları, içerisinde hava kabarcıkları bulundurduğundan opak ve kristal yapıda görüldüğünü belirtmektedirler. Çapı 5mm’den fazla olan buz yağışları Dunlop (2008) tarafından dolu olarak tanımlanmıştır. Ortalama dolu yoğunluğunun 0.91 g/cm³ olduğu bildirilmiştir (Brimelow vd. 2002; Crenshaw ve Koontz 2002). Dolu boyutunun, dolu dayanımına etkisi Sain ve Narasimhan (2011)’ın yaptığı çalışmada belirtilmiştir. Knight ve Knight’ın belirttiği embriyolarda donmuş olan hava kabarcıklarından dolayı embriyoların opak olması, Nelson’un (1983) dolu katmanları arasındaki opaklık farkının, kümülönimbus bulutlarındaki sıcaklık ve nem değişkenliği olduğunu ve opak katmanların su buharının ani donmasıyla oluştuğunu söylemiştir.

Swift(2013), pamuk kullanarak yaptığı çalışmalarda, pamuklu buz küresinin dayanımının normal buzdan fazla olduğunu göstermiştir. Gerektiğinden fazla dayanımdaki pamuklu dolu, homojen olmama, yüzey sürtünmesi farklılığı gibi problemleri bulunmaktadır.

Uz vd.’nin(2017) çalışmasında Dolu’nun karakteristik özelliklerinden şu şekilde belirtmiştir”İlk olarak, dolu tanesinin büyük çoğunluğu buzdan oluşmalıdır. İkinci olarak, dolu tanesinin nitelikleri tanenin her yerinde aynı

olmalıdır. Üçüncü olarak, üretilen dolu taneleri kullanılırken çarpışan yüzeyler arasında gerçekçi bir sürtünmenin simülasyonu için doğal dolu tanelerinde görülen yüzeyde erime davranışı görülmelidir. Son ve en önemli karakteristik özellik ise üretilen dolu tanelerinin hedeflenen limit hızda isabet ettikten sonra bütünlüğünü korumalarıdır. Bu kriterlerin seçimi arkasındaki sebepler şunlardır: İlk kriter şu an kullanılan çelik ve plastik toplar gibi buzdan tamamen farklı davranan maddelerin kullanımından doğan belirsizlikleri kısıtlamaktadır. İkinci kriter, panel üzerinde oluşacak çukurun dolu tanesinin isabet ettiği yöne veya tanenin oryantasyonuna bağlı olarak değişmemesini sağlamaktadır. Üçüncü kriterin sebebi ise doğal dolu tanelerinin yeryüzüne düşerken sıcaklıktan dolayı yüzeyin eriyip ve böylelikle yüzey sürtünmesinin çok küçük bir değere çekilmesidir. Son olarak, en kuvvetli dolu taneleri bütünlüklerini limit hızda çarpışmadan sonra korumaktadır. Küçük parçalara ayrılan dolu taneleri parçalanma esnasında enerjiyi dağıtıp çelik panele aktarılan enerjiyi azaltacaktır.”

Bu bulgular nazarında gerçekçi bir dolu üretmek amacı ile önce yoğunluğunun sağlanması gerekmektedir. Daha sonra katman katman oluşması bu sayede yüksek dayanım gerekmektedir. Sonraki aşama ise çekirdek ve embriyo oluşumu sağlanmalı, gerçek doluya çok yakın olması sağlanmalıdır. Sıvı nitrojenin soğukluğu sayesinde bu dondurma işleminin adım adım gerçekleştirilebileceği öngörülmüş ve sıvı nitrojenle suni dolu üretme yöntemi yazar tarafından bulunmuş ve geliştirilmiştir.

3.1. Literatürdeki Yapay Dolu Üretimi (Artificial Hailstone Production In Literature)

Dünya’da yapılan dolu testlerinde birden fazla yöntem denenmiştir. En çok kullanılan yöntem demineralize su ile kalıplarda dondurma işlemidir, bunun yanında %12 PVA (Polivinil Asetat) karışımı, pamuk karışımı, polyamide, çelik toplar, microfiber içerikli, talaş karışımı kullanılmıştır. Dolu atış testlerinde kullanılan bu yapay dolularla yapılmıştır. Bazı araştırmacılar çelik ya da başka bir indentörü havadan serbest bırakarak denemeler yapmışlardır. [Johnson ve Schaffnit, 1973; Nomura vd., 1984; Vreede vd., 1995; Fleming vd., 1997; Shi vd., 1997; McCormick vd., 1998; USS, 2005; Flüeler vd., 2008.]. Geoffrey Pyke vd., 1942; su-talaş karışımından buz yapmış, dayanımını arttırmış ve adına Pykrete demiştir. Swift (2013) pamuk kullanımının dolunun sünekliliğini arttırdığını söylemiştir. Daha sonra Uz vd.(2017) % 12 PVA (Polivinil Asetat) içeren dolularda deneyler yapmışlardır. Bu çalışmalarda su ile karıştırılıp dondurulan buzların ortak özelliği ise dayanımlarının artmış olmasıdır. Bugüne kadar yapay dolu üretimi için kullanılan yöntemler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yapay Dolu Üretiminde Kullanılan Yöntemler (Methods used in the production of artificial hail)

Araştırmacılar	Kullandıkları Materyal
[Johnson ve Schaffnit, 1973; Nomura vd., 1984; Vreede vd., 1995; Fleming vd., 1997; Shi vd., 1997; McCormick vd., 1998; USS, 2005; Flüeler vd., 2008.]	Çelik ya da başka bir indentör
Geoffrey Pyke	Su-talaş karışımından buz
Swift (2013)	Pamuklu Dolu
Uz vd.(2017)	PVA’lı Dolu

Doluyu yapı ve teknik özellikleriyle simüle etmek için denenilen bu yöntemler, dolunun bazı karakteristik özelliklerini gösterse de hepsini gösteremediği açıktır. Yapay doluyu üretmek büyük bir sorun olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Günümüze kadar milyonlarca lira harcanarak yapılan dolu darbe testleri, bu kullanılan malzemelerle yapılmış ve güvenilir bir sonuca ulaşılamamıştır.

3.2. Yapay Dolu Üretimi İçin Yeni Bir Yöntem: Sıvı Nitrojenli Dolu (A New Method For Artificial Hailstone Production: Hailstone With Liquid Nitrogen)

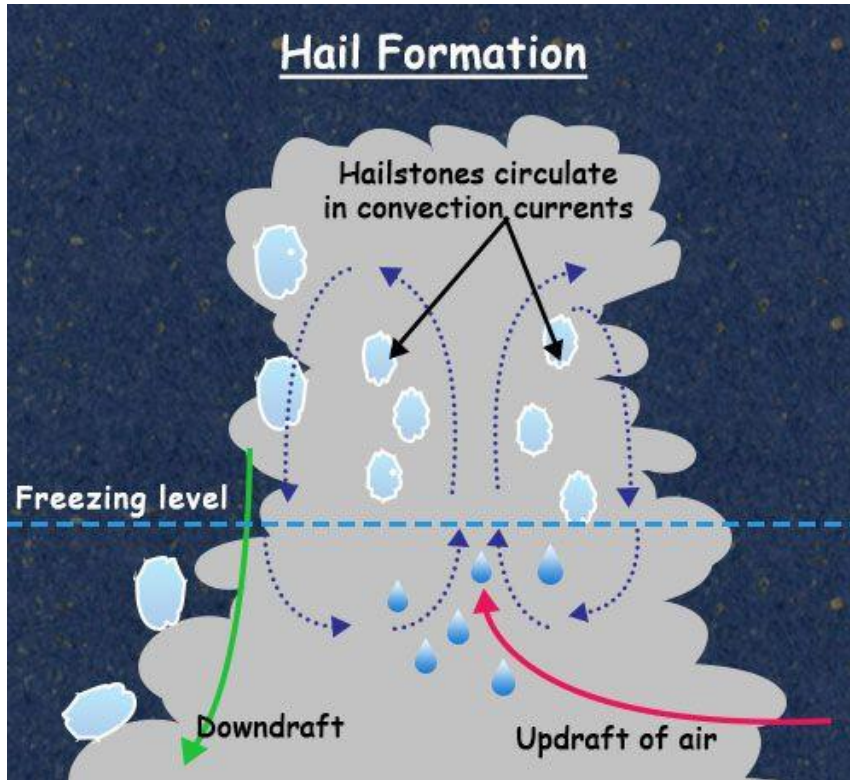
Günümüze kadar yapılmaya çalışılan suni dolulara, alternatif ve en güvenilir yeni bir yol olarak sıvı nitrojen dondurmalı dolu yapımı literatüre eklenecektir. Bu dolu tamamen doğal yollarla oluşturulup, bundan önce

yapılan suni dolular gibi katkı maddeleri veya plastikler kullanılıp yapılmamıştır. Bu doluyu diğerlerinden ayıran unsurlardan bir tanesi de budur ama en önemli özelliği gerçek dolu gibi kırılmayıp katmansal bir yapıya sahip olmasıdır.

3.2.1. Sıvı Nitrojen İle Suni Dolunun Oluşum Teorisi (Formation Theory Of Artificial Hailstone With Liquid Nitrogen)

Dolu oluşumu, dikey bir bulut olan kümülonimbus bulutlarında 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. Dolunun oluşumu bu ani hava akımı ve ani değişen sıcaklıklarla olmaktadır. Dolu Lauri'nin(1960) makalesinde belirttiği gibi toz, tuz gibi partiküllere su buharının tutunmasıyla başlamaktadır ve bu partikül dolunun embriyosu olarak adlandırılmaktadır. 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 1'deki gibi yeryüzüne düşerler.

Kümülonimbus bulutlarında gerçekleşen su buharının ve damlacıklarının ani donma olayını laboratuvar ortamında gerçekleştirmek gereksinimi tespit edilmiştir. Anlatılan bu olayı ve sıcaklık farklılığındaki donmayı simüle etmek için Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Dolu Laboratuvarında bir dizi araştırmalar ve denemeler yapılmıştır. Kümülonimbus bulutlarında gerçekleşen bu hava olayını Laboratuvar şartlarında yapmak için çalışmalara ve alt yapı oluşturulmaya başlanmıştır. Bu çalışma için çok soğuk bir malzemeye (minimum -40°C) ve +0°C derecede suya ihtiyaç vardır. Negatif derecedeki malzeme için sıvı nitrojenin simule edileceği öngörülmüştür. Bunun için dewar kabı ve sıvı nitrojen tedarik edilmiştir. Ayrıca dolunun tutunacağı bir embriyo oluşturulması gerekmektedir. Bunun için bir çeşit ipin ucuna ufak bir düğüm atarak bu embriyonun oluşturulması düşünülmüştür. Bu uygulama teorisinde, Kümülonimbus bulutunda oluşan dolunun embriyosu ip düğümü, bulutun tavanı sıvı nitrojen tabanı ise +0°C su olarak eşlenmiştir. Bu sayede aynı Kumulonimbus bulutlarındaki gibi suyun katman katman ve ani bir şekilde donmasını sağlayacaktır. Ayrıca ani donma su partiküllerinin kristal etkisi gösterip kırılmama özeliğini de arttıracaktır.

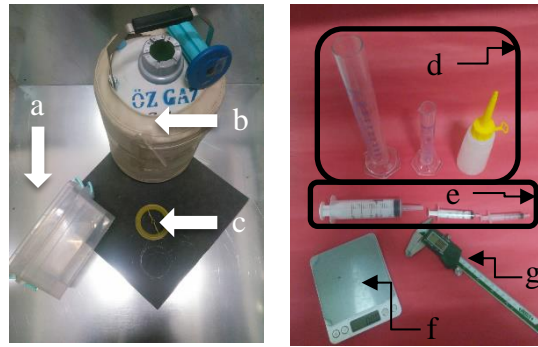


Şekil 2. Dolu oluşum anlatımı ve kümülonimbus bulutu (Hail formation and cumulonimbus cloud)

3.3. Sıvı Nitrojen İle Suni Dolunun Laboratuvarda Oluşturulması ve Kullanılan Malzemeler (Forming artificial hailstone with liquid nitrogen in the laboratory and materials used)

Azot (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. Şekil 2 de görülen malzemeler ile dolu yapımı gerçekleştirilmiştir.

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.



- | | |
|---------------|-------------------------|
| a) Su Kapları | d) Dereceli Silindirler |
| b) Dewar Kabı | e) Şırıngalar |
| c) Misina | f) Hassas Terazi |
| | g) Kumpas |

Şekil 2. Sıvı nitrojenli dolu yapımında kullanılan materyaller (Materials used for making of liquid nitrogen hail)

Sıvı Nitrojen Tankı ve 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 yapılabilir.

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 işlemi sürekliliğini sağlayacaktır.

Misina ve Daldırma Düzeneği: Misina, dolu içerisinde bulunan "dolunun çekirdeği" adı verilen kısım görevini görecektir 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.

Dolu Atış Silahı ve Atış Testleri: Bir pnömatik atıcı, yüksek basınca dayanıklı hava tankı, hava kesici, namlu, hızölçer sensörler, yüksek hızlı kamera, barometre ve kompresörün bulunduğu Şekil 2'de gösterilen dolu atış silahı sayesinde, çap ve kütleleri ölçülmüş, yoğunlukları hesaplanıp numaralandırılmış olan suni dolular, farklı kalınlıktaki çatı panellerine atılmaktadır.

Şekil 3'deki sitemde kompresörden çıkan hava, yüksek basınca dayanıklı hava tankına dolmaktadır. Bu tank içerisinde bulunan havanın basıncı barometre yardımıyla kontrol edilmektedir. Basıncı 3 ile 3.5 bar arasında olduğunda pnömatik kesici buton ile devre dışı bırakılarak basınçlı hava namludan çıkmaktadır. Namlunun içerisine koyulan suni dolu bu hava basıncı ile çapına ve ortam koşullarına bağlı olarak 70-110 km/s hızlarda Koruma kafesi içerisindeki plakaya çarpmaktadır. Bu çarpışma sonucunda oluşan çukur, dolu hasarını, dolunun

durumu ise dolu dayanımını temsil etmektedir. Suni dolunun namludan levhaya çarpana kadar olan hızı ise hız sensörü ve yüksek hızlı kamera ile ikili olarak ölçülüp teyit edilmektedir. Namlu ile levha arasında 1 metre mesafe bulunmakta ve testler bu şekilde yapılmaktadır.



Şekil 3. ADÜ dolu atış test laboratuvarı (ADU - Hailstone test laboratory)

3.4. Sıvı Nitrojenli Dolu Yapımı (Liquid Nitrogen Hailstone Construction)

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. Misinin 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 donması 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. Misina daldırılan suyun doğal doludaki sıcaklık değerine yakın olması için saf suyun içine buz konulmaktadır. Bu işlem yapılarak kümülönimbus bulutlarında 0 ile -40 derece olan sıcaklık farkını simüle etmektedir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Dolu atış testleri ve analizlerinde kullanılan suni dolularla sıvı nitrojen kullanılarak yapılan dolunun karakteristik özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmalarda Kullanılan Suni Doluların Gerçek Dolunun Karakteristik Özellikleri ile Karşılaştırılması (Comparison of artificial hailstones used in studies with the characteristic features of Real hailstones)

	Yoğunluk(g/cm ³)	Kristal Yapı	Kırılmama	Katmanlı yapı
Çelik Top	X	X	✓	X
Saf sulu Dolu	✓	X	X	X
PVA'lı Dolu	✓	X	✓	X
Nitrojenli Dolu	✓	✓	✓	✓
Gerçek Dolu	✓	✓	✓	✓
Pamuklu Dolu	✓	X	✓	X

Sıvı nitrojen kullanılarak yapılan dolunun yoğunluk hız ve kırılma açısından test sonuçlarının değerlendirilmesi Tablo 3'de verilmiştir. PVA'lı dolu ile yapılan atış sonuçları kamera ve sensörde ölçülen hızları ve atış sonrası durumu Tablo 4'te yapay dolu üretiminde kullanılan yöntemler de verilmiştir.

Bu çalışmanın önemi sıvı nitrojen kullanılarak yapılan dolunun doğal dolunun kırılmama karakteristiğini gösterdiğini kanıtlamasıdır. Bu çalışmada 5 adet kırılan 5 adet kırılmayan dolunun bulunması çalışmanın seyri açısından çok önemlidir. Doluyu simüle etmenin en önemli özelliği kırılmamasıdır ve bu kırılmama dolu deneylerinde ancak çelik top, pamuklu buz gibi materyallerle sağlanılmaya çalışılmaktadır ki bu testler dolu karakteristiği göstermedikleri için başarılı sonuçlar verememişlerdir. En yakın olarak PVA bazlı Dolu kullanılmıştır. Sıvı nitrojen ile yapılan testlerde en iyi sonucu sıvı nitrojenli dolunun verdiği gözlemlenmiştir.

Sıvı nitrojen kullanılarak yapılan dolunun ve diğer suni doluların kesitleri Şekil 4'te verilmektedir. Bu kesit alanları doluların iç kısımlarının nasıl oluştuğuna dair bizlere önemli bilgiler vermektedir. Ayrıca doğal doluda oluşan katmansal yapının sıvı nitrojenli suni doluda da gözlemlenebildiğini göstermektedir.

Tablo 3. Sıvı Nitrojen Dondurmalı Dolunun Yoğunluk, Hız ve Atış Sonrası Durumları (Density, speed and situation of liquid nitrogen freeze hailstone after impact)

Atış Numarası	Dolu Çapı (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Hız (m/s)		Atış Sonrası Dolu Durumu
			Kamera	Sensör	
1	41.98	1084.24	25.71	24.77	Kırıldı
2	44.94	1077.63	27.41	23.32	Kırılmadı
3	47.63	1049.86	30.56	26.11	Kırıldı
4	48.99	1163.03	28.29	23.37	Kırıldı
5	49.25	989.83	25.47	22.52	Kırılmadı
6	48.02	1012.24	28.48	27.72	Kırılmadı
7	46.37	1088.02	29.17	24.81	Kırıldı
8	48.15	997.63	29.59	26.47	Kırılmadı
9	48.84	996.53	31.06	33.86	Kırılmadı
10	49.21	934.54	28.18	27.05	Kırıldı

Tablo 4. PVA'lı Dolunun Yoğunluk, Hız ve Atış sonrası Durumları (Density, speed and situation of PVA hailstone after impact)

Atış Numarası	Dolu Çapı (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Hız (m/s)		Atış Sonrası Dolu Durumu
			Kamera	Sensör	
1	49.86	990.53	29.41	31.79	Kırılmadı
2	50.58	953.45	31.93	31.47	Kırılmadı
3	37.79	994.44	27.34	30.06	Doluda Hafif kırık oluştu
4	37.21	1011.74	27.5	29.52	Kırıldı
5	37.57	1026.41	30.92	27.05	Kırıldı
6	44.51	1002.56	30.48	31.94	Kırıldı
7	44.88	982.42	31.99	31.83	Kırıldı
8	44.22	1009.62	30	28.39	Kırıldı
9	44.65	971.71	30.87	31.56	Kırıldı
10	44.96	964.36	28.33	31.94	Kırılmadı



a) %12'lik PVA'lı dolu



b) Saf su ile dolu



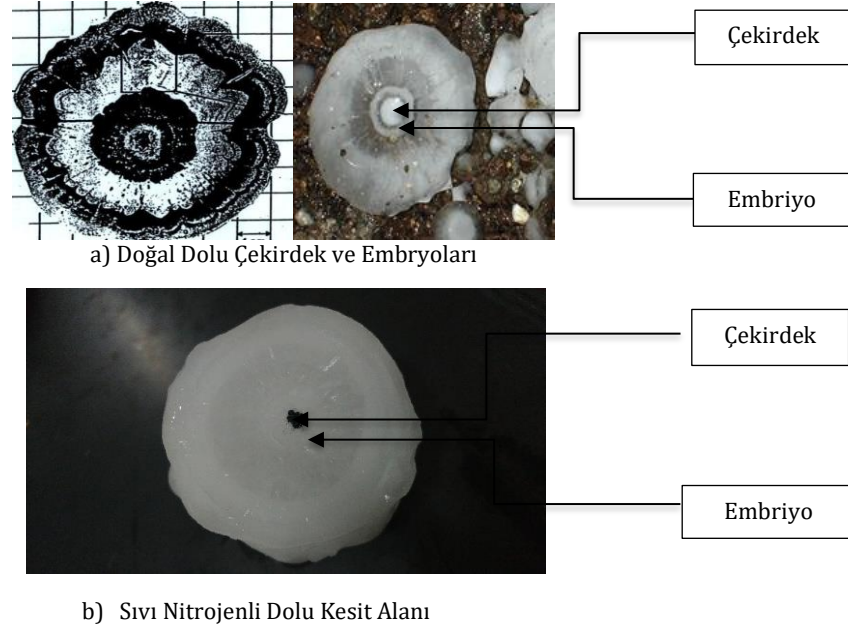
c) Sıvı nitrojenli dolu



d) Doğal dolu

Şekil 4. Kullanılan bazı suni doluların ve gerçek dolunun kesit alanı (Cross-sectional area of some used artificial hail and real Hail)

Şekil 5'te doğal dolu ve nitrojenli dolunun çekirdeği ve embriyo kısımları verilmiştir. Şekil 5 oluşum açısından birbirlerine benzerliklerini göstermektedir. Bu benzerlik doğal dolunun bir diğer ayırt edici özelliği olan çekirdek-embriyo yapı ikilemesinin sıvı nitrojenli doluda oluştuğunu da ispatlamaktadır.



Şekil 5. Sıvı nitrojen dondurmalı dolu ve gerçek dolunun iç kısımlarının görsel olarak karşılaştırılması (A visual comparison of the inner parts of the liquid nitrogen freeze hail and the real hail)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yaptığımız bu çalışmada azotlu dolu ile 40 adet atış desti yapılmıştır. Bu atış testinde kullanılan doluların çapı 40 ile 50 mm arasında değişmektedir. Ayrıca yapılan bu atış deneylerinde dört farklı kalınlıkta sahip olan çelik plakalar kullanılmıştır. Kullanılan çelik levhaların kalınlığı; 0.30, 0.45, 0.60 ve 0.7 mm'dir ve atışlardan elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'te yapılan çalışmalarda, nitrojen ile dondurulan suni dolular farklı kalınlıklardaki plakalara atılmış, hız, yoğunluk ve kırılım durumları gözlemlenmiştir. Testler neticesinde, imal edilen suni dolunun 0.3 mm, 0.45 mm ve 0.6 mm kalınlıklarda daha iyi performans gösterdiği, 0.7 mm kalınlıktaki plakada ise daha düşük performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Dolunun aynı şartlarda farklı kırılım davranışları göstermesinin sebebi, el ile manuel bir şekilde suni dolu oluşturulmasından kaynaklı; sıcaklık, tozlaşma, bekleme süresi gibi çevresel faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek standart bir dolu üretimi yapmak için 0oC de oda, otomatik dolu üretim makinası gibi AR-GE faaliyetleri gibi çalışmalar sürmektedir. Doğal dolu farklı çaplarda meydana gelerek günlük hayatta birçok maddi ve can kayıplarına sebep olmaktadır. Dolunun Yoğunluk, kristal yapısı, katmanasal yapı ve diğer karakteristik özellikleri vardır. Bu çalışmaya kadar birçok araştırmacı farklı malzemeler ve birbirinden farklı yöntemler kullanarak yapay dolu üretilip çarpma deneyleri yapmışlardır. Fakat bu çalışmalar dolunun karakteristik özelliklerinin hepsini göstermede yetersiz kalmıştır. Tablo 3'te verilen Sıvı Nitrojenli dolu ile Tablo 4'teki PVA'lı (Polivinil Asetat) dolunun yapılan deney sonuçlarını göz önüne alırsak, sıvı nitrojen kullanarak yapılan dolunun Yoğunluğu, kristal yapısı, katmansal bir yapıya sahip olması ve yapılan çarpma deneyleri sonucunda kırılmama özelliğini PVA'lı (Polivinil Asetat) doluya göre daha iyi sonuç sağlayarak literatürdeki bu eksikliği gidermektedir. Bu çalışma sayesinde, dolu testlerinde yeni ve güvenilir bir yöntem ortaya çıkmıştır. Daha sonra yapılacak çalışmalar için diğer araştırmacılara yol gösterici bir çalışma niteliğindedir.

Tablo 5. Sıvı azotlu dolunun deneyde elde edilen verileri (Data of liquid nitrogen hailstone obtained in the experiment)

Atış No	Plaka Kalınlığı (mm)	Dolunun Çapı (mm)	Atış Basıncı (bar)	Dolunun Yoğunluğu (g/cm ³)	Atış Hızı (m/s)		Atış Sonrası Dolunun Durumu
					Sensör	Kamera	
1	0.3	46.483	3.2	1007.826	28.51	24.52	Sağlam
2	0.3	46.937	3.3	938.271	29.38	29.12	Kırıldı
3	0.3	47.287	3.3	979.004	34.65	29.12	Sağlam
4	0.3	47.910	3.3	927.394	32.37	28.55	Üçe Kırıldı
5	0.3	48.903	3.3	955.305	25.13	25.76	Sağlam
6	0.3	47.430	3.3	971.945	22.98	22.54	Kırıldı
7	0.3	46.153	3.3	949.951	40.09	33.56	Sağlam
8	0.3	49.443	3.3	924.345	32.78	31.56	İkiye Kırıldı
9	0.3	46.670	3.3	963.841	27.82	24.42	Üçe Kırıldı
10	0.3	49.093	3.3	966.853	23.32	23.48	Kırıldı
11	0.45	48.103	3.2	990.038	20.90	21.04	Üçe Kırıldı
12	0.45	47.753	3.4	989.167	34.15	33.06	Kırıldı
13	0.45	49.187	3.3	969.385	32.59	29.48	Kırıldı
14	0.45	46.343	3.3	1053.445	26.08	27.91	Sağlam
15	0.45	48.723	3.3	969.234	37.72	31.94	İkiye Kırıldı
16	0.45	46.143	3.3	1006.942	27.49	31.00	Üçe Kırıldı
17	0.45	47.097	3.2	996.385	24.19	26.52	İkiye Kırıldı
18	0.45	47.687	3.2	938.723	46.94	23.29	Sağlam
19	0.45	49.337	3.3	1005.099	111.43	31.13	İkiye Kırıldı
20	0.45	48.067	3.3	975.107	25.07	28.05	Üçe Kırıldı
21	0.6	41.980	3	1084.235	24.77	25.71	Kırıldı
22	0.6	44.937	3.1	1077.628	23.32	27.41	Sağlam
23	0.6	47.633	3.3	1049.852	26.11	30.56	Kırıldı
24	0.6	48.990	3	1163.033	23.37	28.29	Kırıldı
25	0.6	49.247	3.2	989.832	22.52	25.47	Hafif Hasar
26	0.6	48.023	3.3	1012.238	27.72	28.48	Sağlam
27	0.6	46.370	3.3	1088.024	24.81	29.17	Üçe Kırıldı
28	0.6	48.147	3.4	997.634	26.47	29.59	Sağlam
29	0.6	48.843	3.4	996.527	33.86	31.06	Hafif Hasar oluştu
30	0.6	49.207	3.4	934.540	27.05	28.18	Kırıldı
31	0.7	47.210	3.3	981.966	34.51	35.96	Kırıldı
32	0.7	47.443	3.2	989.011	25.16	28.29	Üçe Kırıldı
33	0.7	49.630	3.2	978.009	28.98	28.29	Kırıldı
34	0.7	48.233	3.2	937.802	26.90	26.77	Kırıldı
35	0.7	48.250	3.2	964.034	28.61	26.05	Kırıldı
36	0.7	47.343	3.3	1027.687	34.15	29.22	Kırıldı
37	0.7	45.247	3.3	1032.950	39.59	36.99	Kırıldı
38	0.7	47.037	3.1	994.698	23.66	23.67	Kırıldı
39	0.7	47.197	3.2	1017.315	30.88	32.20	Kırıldı
40	0.7	48.283	3.2	953.555	28.49	26.30	Kırıldı

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)

- Sain, T. and Narasimhan, R., (2011), Constitutive Modeling of Ice in The High Strain Rate Regime. *International Journal of Solids and Structures*, 48, 817-827.
- Knight, C.A. and Knight, N.C., (1976), Hail Embryo Studies. *International Conference on Cloud Physics*, Boulder, Colorado. Boston, Mass. American Meteorological Society. United States.
- Crenshaw, B.V. and Koontz, J.D., (2002), Hail : Sizing It Up !*Western Roofing Magazine*, 2-7.
<https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-hail#top>
- Uz ME, Yilmaz G, Bircan T (2017) The making of a hailstone simulated realistic damage. *Journal of Engineering Sciences and Design* 5(2):411-423. <https://doi.org/10.21923/jesd.327312>.
- Uz ME, Teh L, Maguire J (2014) Developing Australia's first hailproof roofing profiles. Research case study. Open Days's poster, SBRC
- Shi, M. F.; Brindza, J.; Michel, P.; Bucklin, P.; Belanger, P. and Prencipe, J., (1997), Static and Dynamic Dent Resistance Performance of Automotive Steel Body Panels. SAE Technical Paper.
- Swift JM (2013) Simulated hail ice mechanical properties and failure mechanism at quasi-static strain rates. University of Washington, USA
- Laurie JAP (1960) Hail and Its Effects on Buildings. vol 176. Research Report, NBRI, Pretoria, South Africa
- Mccormick, M.; Fekete, J.; Meuleman, D. and Shi, M., (1998), Effect of Steel Strengthening Mechanisms on Dent Resistance of Automotive Body Panels. SAE Technical Paper.11. Nelson S. P., (1983), The influence of storm flow structure on hail growth. *J. Atmos. Sci.*,40, 1965-1983.
- Nomura, S.; Yutori, Y.; Iwaya, J.; Miyahara, M. and Kokubo, I.A., (1984), Study of the Dynamic Dent Resistance. 13th. Biennial Congress International Deep Drawing Research Group-Efficiency in Sheet Metal Forming.
- Johnson, T.E. and Schaffnit, W.O., (1973), Dent Resistance of Cold-Rolled Low-Carbon Steel Sheet. SAE Technical Paper, 730528
- Fleming, H.G.; Skarajew, M.; Szalla, (1997), J.A.G. A Laboratory Dent Test for Outer Panel Steels.
- Brimelow, J.C.; Reuter, G.W. and Poolman, E.P. (2002a): Modeling maximum hail size in Alberta thunderstorms. *Wea. Forecasting*, 17, 1048-1062.
- Dunlop, S., (2008), *Oxford Dictionary of Weather* 2nd Ed., New York: Oxford University Press
- Flüeler, P.; Stucki, M.; Guastala, F. and Egli, T., (2008), Hail Impact Resistance of Building Materials Testing, Evaluation and Classification. 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components ISTANBUL. Turkey: Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
<https://agroinsurance.com/en/spain-hail-storms-in-province-of-alicante-cause-3-million-euro-worth-of-damage/>