

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SANDVIÇ TEKSTİL ARAÇ KORUYUCULARIN
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEK
İÇİN DENEY DÜZENEGİ TASARIMI**

Yeliz KARADENİZ ÇETİN

Aralık, 2022

İZMİR

SANDVIÇ TEKSTİL ARAÇ KORUYUCULARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEK İÇİN DENEY DÜZENEGİ TASARIMI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı

Yeliz KARADENİZ ÇETİN

Aralık, 2022

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

YELİZ KARADENİZ ÇETİN tarafından **PROF.DR. MİNE DEMİRSOY** yönetiminde hazırlanan “**SANDVIÇ TEKSTİL ARAÇ KORUYUCULARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEK İÇİN DENEY DÜZENEĞİ TASARIMI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mine DEMİRSOY

Yönetici

Prof. Dr. Sevil YEŞİLPINAR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Levent ÇETİN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteğini esirgememiş, anlayışı ve sabrı ile beni teşvik etmiş, bilgi ve birikimlerini benimle paylaşarak tez sürecimi kolaylaştırmış olan değerli tez danışman hocam Prof. Dr. Mine DEMİRİSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunu öneren, deney materyallerini paylaşarak deneylerin yapılmasına imkan sağlayan, sandviç tekstil malzemeleri konusunda aydınlatan Prof. Dr. Muzaffer Sevil YEŞİLPINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın deney süreci boyunca yardımlarını eksik etmeyen ve projenin tamamlanmasını mümkün kılan Arş. Gör. Haşim Fırat KARASU'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans projemin ve eğitimimin tamamlanmasına destek vermiş olan Atha Makina A.Ş. ailesine teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini bana hissettiren, her koşulda yanımda olan, yardımcı olan, süreci kolay kılmış sevgili ailem; babam Fikri KARADENİZ, annem Fatma KARADENİZ, kardeşim Dilay KARADENİZ EMİROĞLU ve sevgili eşim Taylan ÇETİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Yeliz KARADENİZ ÇETİN

SANDVIÇ TEKSTİL ARAÇ KORUYUCULARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEK İÇİN DENEY DÜZENEĞİ TASARIMI

ÖZ

Dolu yağışları günümüzde önüne çıkan neredeyse her objeye zarar verme potansiyeline sahiptir. Oldukça şiddetli yağabilen dolu yağışlarını önlemek için çalışmalar yürütülmekte ancak tamamen başarılı denilebilecek bir sonuca ulaşamamaktır. Teknolojimiz bu yağışları engelleme aşamasına gelene kadar dolu yağışlarından korunabilmek için insanların yöntemler geliştirmesi gerekmektedir

Otomobiller, dolu yağışlarından en fazla hasar alan maddelerden biridir. Otomobilleri bu fırtınalardan koruyabilmek için çeşitli koruyucu kumaşlar üzerinde çalışılmış ve patentler alınmıştır. Koruyucu olarak kullanılma potansiyeline sahip elemanlardan bir tanesi de özel sandviç tekstil ürünlerdir. Bu kumaşlar koruyucu olarak kullanılmak istenmektedir ancak onlarca çeşidinden hangisinin en iyi koruma performansı gösterdiği merak konusudur. Bu çalışmada sandviç tekstil malzemelerin doluya karşı performanslarının test edilebileceği, dolu hasarını simüle edebilecek bir deney cihazı tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu tez aynı zamanda farklı çalışmalarda kullanılabilecek yapay dolu tanesi hazırlanmasına öneriler sunmaktadır.

25mm, 30mm çaplarındaki yapay dolu taneleri ile farklı kalınlıklarda, aynı dokuma özelliğinde sandviç tekstil kumaşlar üzerinde deneyler yapılmıştır. Aynı çaplardaki yapay dolu taneleriyle örtüsüz denemeler de yapılmış, tüm deneylerdeki hasar miktarı ölçülmüştür. Sonucunda farklı çaplardaki yapay dolu tanelerine karşı hangi kumaşın ne kadar koruma sağladığı karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dolu hasarı, dolu test cihazı, araç koruyucu, sandviç tekstil

DESIGN OF EXPERIMENTAL SETUP TO DETERMINE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF SPACER FABRICS VEHICLE COVERS

ABSTRACT

Today, hailstones have the potential of harming almost any objects that encounter with. To prevent from hail that can rain heavily, some studies carry out. However, it hasn't be reached a result that completely successful. Until our technology comes to the stage of inhibition these hails, people have to develop some methods in order to protect themselves from the hail.

Automobiles are one of the most damaged by hailstorms. In order to protect automobiles from the hailstorms, various protective fabrics have been studied and patents have been obtained. One of the components that have the potential to be used as a protector is special sandwich textile products. These fabrics are wanted to be used as a protector. However, it is a matter of curiosity which of the dozens of variety fabrics shows the best protection performance. In this study, an experimental device which tests the performance of sandwich textile materials against hail and simulates the hail damage has been designed and product.

With artificial hailstones that are 25mm and 30mm diameters, experiments have conducted on sandwich textile fabrics that have same weaving feature and different thicknesses. Uncovered experiments have also conducted with the artificial hailstones that have the same diameters, so the amount of damage in all experiments has been measured. As a result, it has compared which fabric provided how much protection against artificial hailstones with different diameters.

Keywords: hail damage, hail impact tester, vehicle protector, spacer fabric

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SEMBOLLER.....	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
BÖLÜM İKİ - DOLU HASARI TESTİ ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMA ÖRNEKLERİ VE STANDARTLAR	3
2.1 Flüeler ve Diğerlerinin Çalışmaları	3
2.2 Mohammad Dawood Sizar Çalışmaları	4
2.3 David W. Miller Çalışmaları	4
2.4 Rhymer Çalışmaları.....	5
2.5 Havacılık ve Uzay Şeffaf Muhafazalarının Dolu Darbe Dayanımı için ASTM Standart Test Yöntemi.....	5
2.6 FM 4473 Dondurulmuş Buz Topları ile Rijit Çatı Malzemelerinin Darbe Dayanımı Testi Standardı.....	5
BÖLÜM ÜÇ - DOLU TANIMI VE ÖZELLİKLERİ.....	7

3.1 Dolu Nedir?	7
3.2 Dünyada Görülen Büyük Dolu Olayları.....	7
3.3 Dolu Fırtınalarının Karşılaşılma Sıklığı	8
3.4 Dolu Fırtınalarında Karşılaşılan Boyutlar	9
3.5 Dolu Fırtınalarında Karşılaşılan Hızlar	10
3.6 Dolu Fırtınalarının Çevreye Verdiği Zararlar ve Maliyetler	12
3.7 Dolu Fırtınalarının Engellenme Çalışmaları ve Karşılaşılan Sorunlar.....	15

BÖLÜM DÖRT - SANDVIÇ TEKSTİL VE ARAÇ ÜSTÜ KORUYUCULAR 16

4.1 Sandviç Tekstil Nedir?	16
4.2 Araç Üstü Koruyucu Kumaşlar	18

BÖLÜM BEŞ - MATERYALLER..... 22

5.1 Dolu Tanesi Boyutu ve Hızının Seçimi.....	22
5.1.1 Dolu Tanesi Boyutunun Belirlenmesi	22
5.1.2 Dolu Tanesi Hızlarının Belirlenmesi	23
5.2 Deneylerde Kullanılacak Araç Materyali Numunesinin Seçimi	24
5.3 Deneylerde Kullanılacak Sandviç Tekstil Malzeme Numunesinin Seçimi.....	25

BÖLÜM ALTI - DENEY DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE MATERYALLERİN HAZIRLANMASI..... 27

6.1 Dolu Tanesinin Hazırlanması ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	27
6.2 Deney Düzeneği	32
6.2.1 Tasarımda Kullanılan Programlar.....	32
6.2.2 Atış Düzeneği Modeli.....	32

6.2.3 Dolu Tanesi Hızının Ölçülmesi	37
6.2.4 Deney Düzeneği Tasarımı ve Detayları.....	38
BÖLÜM YEDİ - DENEYLER	45
7.1 Deney Cihazının Performansının Kontrol Edilmesi	45
7.2 Deneylerin Yapılışı.....	45
7.3 Deney Sonrası Hasarın Ölçülmesi	48
7.4 Deneylerden Alınan Veriler.....	51
7.4.1 25mm Çapındaki Dolu Tanesi Deneyleri	51
7.4.2 30mm Çapındaki Dolu Tanesi Deneyleri	53
7.4.3 Bulunan Değerlerin Karşılaştırılması	56
BÖLÜM SEKİZ - SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
8.1 Sonuçlar	61
8.2 Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler	62
KAYNAKLAR	64

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Farklı çalışmalardan alınan dolu tanesinin boyutuna göre karşılaşımla yoğunluğu	9
Şekil 3.2 Farklı makalelerde hesaplanmış ortalama dolu hızı: 1. Bohm, 2. ASTM 1038-05, 3a. EMPA with c_w 0.5, 3b. EMPA c_w 0.6, 4. Motz ρ_{hava} 0.9,kg/m ³ , 5. Motz ρ_{hava} 1.23,kg/m ³ , 6. Heymsfield, 7. Pflaum, 8. and 9. Matson, 10. Lozowski, Guastala and Flüeler	11
Şekil 3.3 Bir araç kaportasının dolu yağışında almış olduğu hasar	13
Şekil 4.1 Sandviç tekstil görseli	16
Şekil 4.2 Farklı dokuma özelliklerine sahip sandviç tekstil yapılara örnek.....	17
Şekil 4.3 Araç üzerine giydirilmiş koruyucu kılıfın çizimi.....	18
Şekil 4.4 Koruyucu kılıfın detaylandırılmış çizimi.....	19
Şekil 4.5 Özel araç koruyucunun şişmiş ve şişmemiş görseli.....	20
Şekil 4.6 Çok katmanlı araç koruyucunun çizimi	21
Şekil 6.1 Saf su görseli.....	28
Şekil 6.2 Ahşap tutkalı görseli (PVA)	29
Şekil 6.3 Dolu tanesi hazırlamak için kullanılacak plastik buz kalıpları	30
Şekil 6.4 25mm çapında %12 PVA'lı buz kürelerinin görseli.....	31
Şekil 6.5 Hava kabarcığına sahip bir buz küresi örneği.....	31
Şekil 6.6 Atış düzeneği 3 boyutlu tasarımı (1. Hava tankı 2. Selenoid valf 3. Namlu-Selenoid valf ara bağlantı parçası 4. Namlu).....	33
Şekil 6.7 ASTM' nin atış mekanizması için önerdiği görsel	34
Şekil 6.8 Atış mekanizması üretilmiş görseli.....	36
Şekil 6.9 Regülatör görseli	37
Şekil 6.10 Hız ölçümü için kullanılan cihaz	38
Şekil 6.11 Deney düzeneğinin üç boyutlu ortamda çizilmiş bir resmi	39
Şekil 6.12 Üretilmiş olan deney mekanizması.....	40
Şekil 6.13 hareket kabiliyeti sağlayan lineer rulman ve raylar	41
Şekil 6.14 Test numunesinin cihaza bağlanması	42
Şekil 6.15 Atış mekanizması yönlendirici kol	42

Şekil 6.16 Yıldız başlı bakalit vida	43
Şekil 6.17 Yapışkanlı şerit metre	43
Şekil 6.18 Koruyucu pleksiglas cam	44
Şekil 6.19 Kullanılan lazer ışık ve işaretleme şekli	44
Şekil 7.1 Deney numunesinde kullanılacak atış aralıkları	46
Şekil 7.2 Deney yapmaya hazır hale getirilmiş cihaz	47
Şekil 7.3 Üzerine 2 atış yapılarak hasar verilmiş araç sacı numunesi	49
Şekil 7.4 Dolu tanesi hasarının kesiti için hazırlanmış çizim	49
Şekil 7.5 Numunedeki hasar derinliğinin ölçülmesi	50
Şekil 7.6 Numunedeki hasar derinliğinin ölçülmesi	50
Şekil 7.7 25 mm çapındaki dolu tanesi deneylerinden alınan derinlik hasarı değerlerinin karşılaştırılması grafiği.....	57
Şekil 7.8 25 mm çapındaki dolu tanesi deneylerinden alınan ortalama hasar çapı değerlerinin karşılaştırılması grafiği.....	58
Şekil 7.9 30 mm çapındaki dolu tanesi deneylerinden alınan derinlik hasarı değerlerinin karşılaştırılması grafiği.....	59
Şekil 7.10 30 mm çapındaki dolu tanesi deneylerinden alınan ortalama hasar çapı değerlerinin karşılaştırılması grafiği.....	60

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 1971-2000 yılları arasında Türkiye genelinde gözlenen aylık dolu miktarı	8
Tablo 3.2 Dolunun şiddet ölçeğine göre vereceği hasarlar	14
Tablo 3.3 Dolunun büyüklüğüne göre çapı ve şiddet aralığı	14
Tablo 5.1 Dolu tanesinin çapına göre hesaplanan terminal hız ve çarpma enerjisi ...	23
Tablo 5.2 Deneylerde kullanılacak tekstil malzemelerin teknik özellikleri.....	25
Tablo 5.3 Deneylerde kullanılacak tekstil malzemelerin görselleri.....	26
Tablo 7.1 25mm çapındaki dolu tanesi için örtüsüz yapılan deney verileri.....	51
Tablo 7.2 25mm çapında dolu ve 7mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar.....	52
Tablo 7.3 25mm çapında dolu ve 9mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar.....	52
Tablo 7.4 25mm çapında dolu ve 11mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar.....	53
Tablo 7.5 30mm çapındaki dolu tanesi için örtüsüz yapılan deney verileri.....	54
Tablo 7.6 30mm çapında dolu ve 7mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar.....	54
Tablo 7.7 30mm çapında dolu ve 9mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar.....	55
Tablo 7.8 30mm çapında dolu ve 11mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar.....	55

SEMBOLLER

V_{TD}	: Dolunun terminal hızı
d_d	: Dolunun çapı
g	: Yerçekimi ivmesi
ρ_{dolu}	: Dolunun yoğunluğu
C_ω	: Havadaki aerodinamik sürtünme katsayısı
ρ_{hava}	: Havanın yoğunluğu
E_k	: Kinetik enerji
m	: Kütle
$^{\circ}C$	: Santigrat derece
D_x	: Hasarın x eksenindeki çap değeri
D_y	: Hasarın y eksenindeki çap değeri
D_{ort}	: Hasarın ortalama çap değeri
z	: Hasarın derinliği

KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM : American Society for Testing and Materials

TDK : Türk Dil Kurumu

T.C. : Türkiye Cumhuriyeti

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

WMO : Dünya Meteoroloji Örgütü

AMS : Hava Sağlık Birimi

PVA : Polivinil Alkol

H₂O : Su formülü

[CH₂CH]_n : PVA formülü

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Bir doğal afet türü olan dolu yağışları, insanlığın var olduğu tarih boyunca insanlara, çevreye ve eşyalara çeşitli zararlar vermiştir. Bilim insanları bu yağış türünü önlemenin yollarını araştırmış ancak tamamen başarılı denilebilecek bir sonuca ulaşamamışlardır (Ceylan, 2007). Kesin şekilde engellenmesi eldeki teknoloji ve bilimsel verilerle henüz mümkün olmayan bu yağış türünün zararlı etkilerinden korunmak isteyen insanoğlu, dolu ile olan savaşında bunu ortadan kaldırmaya çalışmak yerine meteorolojik çalışmalar yürüterek dolu yağışını öngörüp bu konuda çeşitli korunma önlemleri almaya yönelmiştir. Günümüz teknolojisi ile gelişmiş olan meteorolojik çalışmalar, insanlara dolu yağışı henüz gerçekleşmeden hangi bölgelerde ne büyüklüklerde fırtınalar olabileceği konusunda uyarılar vererek insanların kendilerini ve kıymetli eşyalarını koruyabilmelerine olanak sağlamaktadır.

Dolu fırtınalarında korunmasız olan birçok canlı ve mal bu fırtınalardan hasar almaktadır. Dolu yağışından alınan zarar analizleri incelendiğinde bu zararın, tarım arazilerinde, güneş panellerinde, otomobillerde, hayvanlarda ve uçaklarda mevcut olabildiği görülmektedir. En çok zarar gören mallardan biri olan otomobilleri koruyabilmek için insanlar türlü çözümler üretmeye çalışmaktadır. Bu çözüm yollarından bir tanesi de tekstil mühendislerinin üzerinde yoğun çalışmalar sürdürdüğü sandviç tekstil araç koruyuculardır. Özel dokuma yapısı sayesinde araçları doludan gelen darbelerden koruyabilecek niteliğe sahip bu özel kumaşların birçok çeşidi tasarlanmış, üzerine patentler alınmış, makaleler yazılmıştır. Bu kumaşlar koruma görevlerini yerine getirse de hangi kumaşın optimum olduğu konusundaki çalışmalar teorik bilgiden öteye geçememiştir. Kumaşların dolu yağışı altındaki performansının belirlenebilmesi için gerçek dolu yağışı kullanmak, dolunun düzensiz yağış şekli sebebiyle sonuçları güvenilmez kılmaktadır. Her deneyin aynı ortam koşullarında yapıldığı, dolu tanesinin aynı şiddetle çarptığı, dolu tanesinin aynı boyutta olduğu ve dolu tanesinin otomobil sacı üzerindeki benzer gerilime sahip noktaya çarptığı

koşulları sağlayabilmek için bir dolu test düzeneğine ihtiyaç vardır. Tez, tüm bu koşulları sağlayan bir dolu deney düzeneğinin hazırlanmasını ve sandviç tekstil ürünlerinin performansının doğru şekilde belirlenebilmesini amaçlamaktadır.



BÖLÜM İKİ

DOLU HASARI TESTİ ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMA ÖRNEKLERİ VE STANDARTLAR

Literatür araştırmaları sonucunda araç üstü akıllı tekstil koruyucuları üzerinde dolu hasarına dair bir akademik çalışmaya rastlanılmamıştır. Ancak çelik paneller, yapı malzemeleri, güneş panelleri gibi birçok materyal üzerinde yapılmış olan çalışmalara rastlamak mümkündür. Aynı zamanda farklı malzemeler üzerinde çalışma yapmak amacıyla dolu yağışını simüle edecek deney cihazlarına, bu cihazların hazırlanması için oluşturulmuş standartlara, dolu tanesinin hasarını incelerken kullanılabilecek doluların davranışlarının incelendiği çalışmalara da rastlanmaktadır (Miller, 1980; McNaughton ve Chisman, 1940; American Society for Testing and Materials [ASTM], 2010; Tippmann, 2011; Auer, 1972; Rhymer, 2012; Askari, Nelson, Weckner, Xu ve Silling, 2011; Flüeler, Stucki, Guastala ve Egli, 2008; Bennett, Staebler ve Stoll, 2015; Mehmet, Yılmaz ve Bircan, 2017; Appleby-Thomas, Hazell, ve Dahini, 2011; Perera vd., 2018; Uz, 2019; Approvals, 2005; Sizar, 2022).

2.1 Flüeler ve Diğerlerinin Çalışmaları

Flüeler ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma, farklı yapı malzemelerinin doluya karşı olan darbe dayanımının test edilmesi, değerlendirilmesi ve sınıflandırılmasını kapsamaktadır.

Flüeler bu çalışmada metal levhalar, çatı pencereleri, ahşap, cam, esnek levhalar, pencere kepenkleri gibi birçok materyalin dolu darbe dayanımını incelemiş ve raporlamıştır. Aynı zamanda bu çalışma, plastik toplar ile yapılan dolu darbe deneylerinin buz toplarıyla yapılan dolu darbe deneyleri ile karşılaştırılmasını da içermektedir. Deneylerde kullanılan test mekanizması yukarıdan aşağıya doğru atış yapmaktadır. Deneyler, basınçlı hava yardımı ile benzer çaplardaki buz ve plastik topların benzer kinetik enerjilerle numunelere atılması ile gerçekleşmektedir. Deneylerde, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm çaplarında buzlar ve plastik toplar

kullanılmaktadır. Deney sonuçlarında metal toplarla yapılan darbe testlerinin dolu darbe testi olarak kullanılamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Flüeler dolu darbe dayanım testlerinde kullanılan aynı boyuttaki plastik ve buz kürelerinin kütleleri farklı olduğundan çarpma kinetik enerjisinin farklı olduğunu ve sonuçları değiştirdiğini bildirmiştir (Flüeler vd., 2008).

2.2 Mohammad Dawood Sizar Çalışmaları

Mohammad Dawood Sizar çalışmasında çeşitli kalınlıklardaki çelik paneller üzerinde dolu darbe testleri yapmıştır.

Mohammad Dawood Sizar yapmış olduğu çalışmada yatay atış yapan basınçlı hava ile çalışan bir atış mekanizması tercih etmiştir. Deneylerinde 0.35, 0.45, 0.60, 0.70, 0.80 ve 1.00 mm'lik kalınlıklarda çelik levhalar kullanmıştır. Dolu tanesi olarak buz küresi kullanıldığı görülmektedir. Buz kürelerini hazırlamak için plastik buz kalıplarından yararlanmışlardır. Deneylerinde 38 ila 50mm arasında buz taneleri kullanmışlardır. Hasarı incelemek için kumpas ve derinlik ölçer kullanmışlardır. Kullanılan dolu tanelerinin çapının ve hızının, kullanılan levhaların kalınlıklarının, göçük derinliği ve göçük çapında doğrusal oranda etkili olduğunun sonucuna ulaşmışlardır (Sizar, 2022).

2.3 David W. Miller Çalışmaları

David W. Miller çalışmasında güneş panellerini ve destek malzemelerini dolu karşısında test etmek için bir deney düzeneği hazırlamıştır. Düzenek; 54,5 metre yüksekliğindeki bir kuleden, 30,5 metre dikey çelik borudan, bir buz topu taşıma mekanizmasından ve bir serbest bırakma mekanizmasından oluşur. Çalışma kuleden serbest bırakılan buz tanesinin düşey hareket ederek deney numunesi üzerine çarpması üzerine kuruludur. Deney sonuçlarında test düzeneğinin 19mm çapındaki dolu tanelerine kadar yüzde 10 sapma payıyla sonuç verdiği ve daha büyük taneli dolu

taneleri için daha kısa mesafeden atış yapılması gerektiğine ve yüzde 14 kadar sonuçların sapabildiğine ulaşılmıştır (Miller, 1980).

2.4 Rhymer Çalışmaları

Rhymer'in yapmış olduğu çalışmada karbon epoksi kompozit malzemenin dolu yağışı simülasyonu altındaki hasar miktarı incelenmiştir. Deneylerde kullanılan buz çapı ve panel kalınlığının göçük eşik enerjisiyle doğru orantılı olduğunu belirtmiştir. Panel kalınlığının artması ile hasar için gerekli enerjinin arttığını bildirmiştir. Çarpma esnasında daha büyük bir alana etki ettiğinden hasar miktarını artırmak için dolu tanesi boyutunun artırılması gerektiğini bildirmiştir (Rhymer, 2012).

2.5 Havacılık ve Uzay Şeffaf Muhafazalarının Dolu Darbe Dayanımı için ASTM Standart Test Yöntemi

Standart, havacılık ve uzay alanlarında kullanılan şeffaf muhafazaların doluya karşı darbe dayanımını incelemek için hazırlanmış olan test yöntemini içerir. Standartta atış yöntemi olarak toz tabancası kullanılmıştır ancak basınçlı hava ile atış yönteminin de desteklendiği belirtilmiştir. Dolu tanesi olarak dondurulmuş bu topları olması gerektiği eklenmiştir. Dolu tanesinin üretilmesi için bir kalıp örneği verilmiştir ancak dolu tanesinin üretilmesi için gerekli kalıplar kişinin inisiyatifine bırakılmıştır. Standart için hazırlanmış olan dolu tanesi ve atış mekanizması verileri 13mm, 25mm ve 51mm içindir. Farklı çaplardaki buz tanelerinin numune üzerinde çarpacağı noktalar için minimum aralıklar belirlenmiştir ve tanenin çapı arttıkça bu aralığın da artırıldığı görülmektedir (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2010).

2.6 FM 4473 Dondurulmuş Buz Topları ile Rijit Çatı Malzemelerinin Darbe Dayanımı Testi Standardı

FM 4473 standardı, rijit çatı malzemelerinin doluya karşı darbe dayanımını incelemek için hazırlanmış olan test yöntemini içerir. Standart 31,8mm, 38,1mm,

44,5mm, 50,8mm çaplarındaki dolu tanelerini kapsamaktadır. Bu içerikte belirtilen çaplardaki çarpma enerjisi miktarı, kullanılacak olan deney numunesinin hangi noktalarına atış yapılması gerektiği, sonuçlarda nelerin raporlanması gerektiği bilgileri mevcuttur (Approvals, 2005).



BÖLÜM ÜÇ

DOLU TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

3.1 Dolu Nedir?

Dolu, Türk Dil Kurumu sözlüğünde “Havada su buğusunun birden yoğunlaşıp katılaşmasından oluşan, türlü irilikte, yuvarlak veya düzensiz biçimli buz parçaları durumunda yere hızla düşen bir yağış türü” şeklinde tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu (TDK), 2022).

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün internet sayfasında ise dolu,” Çapları 5-50 mm bazı durumlarda çok daha büyük küresel veya düzensiz buz parçacıklarının yağışıdır. Dolu, içerisinde çok güçlü dikey alçalıcı ve yükselici hava hareketlerinin olduğu Cumulonimbus (Cb) bulutundan düşer, kısa sürede sağanak şeklinde yağar ve fazla su bırakır.” cümleleriyle açıklanmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), 2022).

5 mm'den başlayıp 50mm ve üzerinde çaplarda buz topu gibi yağan bu doğal afet türü, boyutları sebebi ile büyük zararlar verebilmekte, insanlar, hayvanlar, bitkiler ve eşyalar üzerinde tehdit oluşturmaktadır.

3.2 Dünyada Görülen Büyük Dolu Olayları

2018'de Arjantin'in Villa Carlos Paz şehrinde gerçekleşen bir dolu yağışında bugüne kadar kayıt altına alınmış en büyük dolu tanesi tespit edilmiştir. Söz konusu dolu tanesinin çapı 23.7 cm'dir. Bu yağıştan önce kayda geçmiş en büyük dolu tanesi Güney Dakota'da görülmüş 20cm çapındadır.

En çok ölüme sebep olmuş dolu fırtınası 246 kişinin ölümüyle 1888 yılında Hindistan'da gerçekleşmiştir. Bir diğer kayıt da yine Hindistan'da 1986 yılında

gerçekleşmiş olan 92 kişinin öldüğü dolu felaketidir. Kayıtlarda bu felaketteki dolu tanelerinin 850-900 gram kütlelerinde olduğu mevcuttur.

Kayıtlara geçmiş en şiddetli dolu fırtınası 144 km²'lik alana etki etmiş, 500bin dolarlık maddi hasar vermiştir. 1959 Selden'da gerçekleşen bu fırtına toplam 85 dakika sürmüştür.

3.3 Dolu Fırtınalarının Karşılaşılma Sıklığı

Dolu yağışlarının sıklığı birçok etmene bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Genellikle hava sıcaklığı değişimleri olan mevsimsel geçişlerde görülme oranı artmaktadır. Dolu tanelerinin büyüklükleri, görülme sıklığı coğrafi konumlara göre de değişmektedir.

Türkiye'de dolu yağışları ile çoğunlukla mevsim geçişi olan ilkbahar aylarında karşılaşmaktadır. 1927-2000 yılları arasında yağan dolu miktarı incelendiğinde yılda ortalama 230 gün dolu yağışı olduğu görülmektedir. Tablo3.1'de verilen Türkiye'de 1927-2000 yılları arasında gerçekleşen aylık dolu yağışları oranı bu genellemeyi destekler niteliktedir. Tabloya göre Türkiye'de dolu yağışlarının %56'sı ilkbahar aylarında gerçekleşmiştir. Türkiye'de en çok yağış nisan ve mayıs aylarında gerçekleşmektedir.

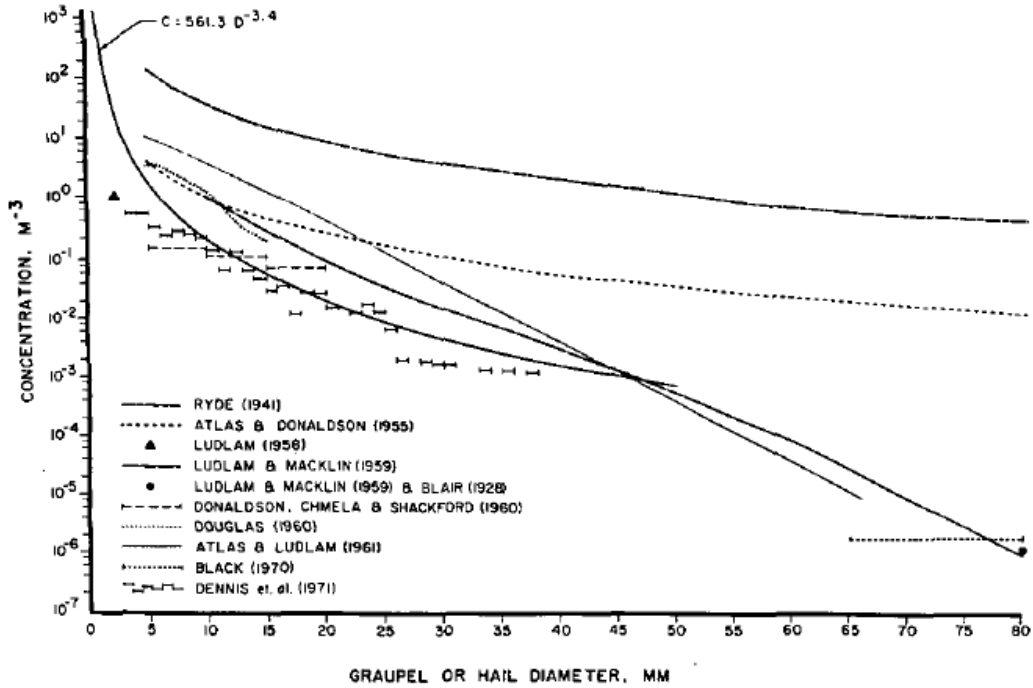
Tablo 3.1 1971-2000 yılları arasında Türkiye genelinde gözlenen aylık dolu miktarı (Ceylan, 2007, s.142)

Ay	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Dolu Sayısı (%)	5	7	12	21	23	12	3	2	4	4	4	5
Dolu Sayısı (ort.)	23	29	52	87	93	52	12	9	9	19	18	21

3.4 Dolu Fırtınalarında Karşılaşılan Boyutlar

Dolu taneleri, doğada doğal olarak oluşan 5mm ve üzerinde çaplara sahip buz topları olarak tanımlanabilir. En büyük tane için bir sınır söylenemez ancak bugüne kadar görülmüş en büyük dolu tanesi 23.7cm olarak ölçülmüştür.

Auer'in 1972 yılında yapmış olduğu bir çalışmada belirli çaplardaki dolu tanelerinin hangi yoğunluklarda görüldüğü mevcuttur. Çalışmasında diğer gözlemlenen veya türetilmiş dolu boyutu dağılımlarının bir grafiğini çizdirmiş ve kendi çalışması ile karşılaştırmıştır. Bu grafik Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Farklı çalışmalardan alınan dolu tanesinin boyutuna göre karşılaşıma yoğunluğu (Auer, 1972, s.3)

Bu grafik yorumlandığında birçok çalışmada da görülmektedir ki dolu tanesi çapı büyüdükçe görülme sıklığı azalmaktadır.

Çalışmasında Türkiye’de yıllar içerisinde görülmüş dolu olayları raporlarının derlemesine yer veren Tanrıöver; uzun yıllardır raporlanmış olan şiddetli 1489 dolu vakasından 1465 tanesinin (%98’ine tekabül etmektedir.) fındık, kestane, zeytin, ceviz ve yumurta gibi boyutlarda yağdığının görüldüğünü belirtmiş, yine bu yağışlardan %48inin fındık büyüklüğünde (Çalışmada bu boyut 15mm kabul edilmiştir.) olduğunu eklemiştir. Makalesinin devamında tüm boyutların mm üzerinden değerlerini açıklamıştır. Büyük dolu denebilecek doluları 15mm ve üzeri, 45 mm altındaki çaptaki değerler olarak sınıflandırmıştır (Tanrıöver, 2016).

3.5 Dolu Fırtınalarında Karşılaşılan Hızlar

Doğada karşılaşılan dolu fırtınalarında dolu tanelerinin hızı; boyutları, yoğunlukları, fiziksel yapıları, çevresel koşullar vb. birçok etmene göre değişmektedir. Yıllardır sürdürülen araştırmalarda dolu tanesinin çapına göre sabit bir hıza sahip olmadığı görülmektedir dolu tanesinin çapının arttıkça hızının da arttığı belirlenmiştir.

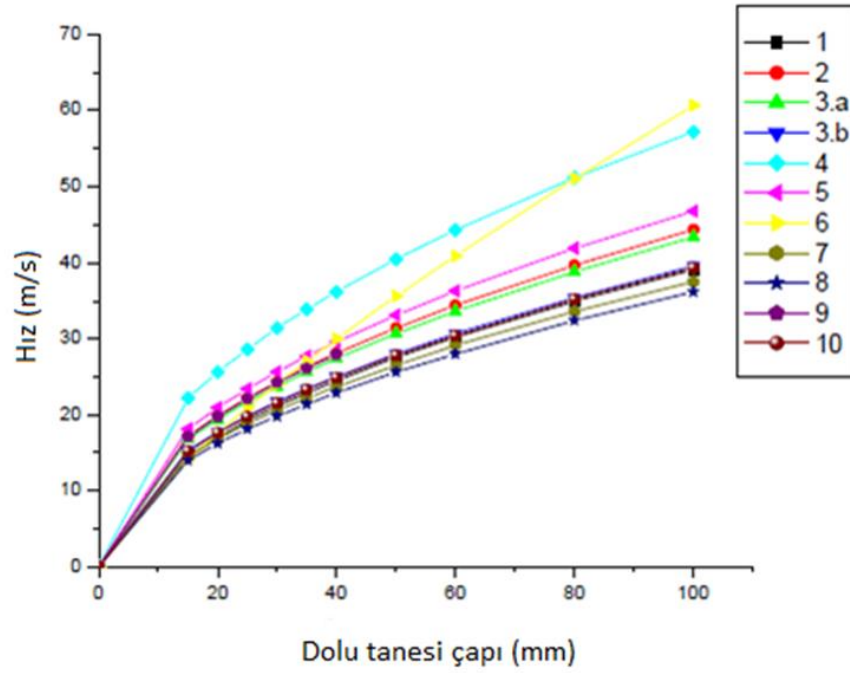
Dolu tanesinin bilimsel çalışmalarda kullanılabilmesi için teorik olarak hesaplanmış hız ve kinetik enerji değerine ihtiyaç vardır. Dolu tanesinin terminal hızının hesaplanabilmesi için tarih boyunca çalışmalar yürütülmüş, çeşitli formüller çıkartılmıştır. Dolunun terminal hızını (V_{TD}) bulabilmek için en yaygın kullanılan formüllerden birinde dolunun çapı (d_d), yerçekimi ivmesi (g), dolunun yoğunluğu (ρ_{dolu}) değerleri arttıkça hız artmakta, havadaki aerodinamik sürtünme katsayısı (c_w) ve havanın yoğunluğu (ρ_{hava}) arttıkça hız azaltmaktadır. İlgili formül, denklem 3.1’de görülmektedir.

$$V_{TD} = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot d_d \cdot g \cdot \rho_{dolu}}{3 \cdot c_w \cdot \rho_{hava}}} \quad (3.1)$$

Dolu tanesinin terminal hızından tanenin kinetik enerjisine ulaşılabilir. Kinetik enerjinin (E_k) formülü kütle (m) ve hıza (V_{TD}) bağlıdır. Kinetik enerji formülü, denklem 3.2’de görülmektedir.

$$E_k = m \cdot \frac{V_{TD}^2}{2} \quad (3.2)$$

Peter Flüeler, yapı malzemelerinin dolu darbe dayanımı testi, değerlendirilmesi ve sınıflandırılması konulu makalesinde dolu tanesi hızı için bugüne kadar çalışmalarda kullanılmış değerlerin bir kısmını derleyip grafiğini çizdirmiştir. Bu grafiğe Şekil 3.2’de yer verilmiştir.



Şekil 3.2 Farklı makalelerde hesaplanmış ortalama dolu hızı: 1. Bohm, 2. ASTM 1038-05, 3a. EMPA with c_w 0.5, 3b. EMPA c_w 0.6, 4. Motz ρ_{hava} 0.9,kg/m³, 5. Motz ρ_{hava} 1.23,kg/m³, 6. Heymsfield, 7. Pflaum, 8. and 9. Matson, 10. Lozowski, Guastala and Flüeler (Flüeler vd., 2008, s.3)

Bu grafikten ve çıkarılan formülden faydalananarak dolu tanesinin çapına göre ortalama hangi hızlarda olabileceği teorik olarak belirlenebilmektedir.

3.6 Dolu Fırtınalarının Çevreye Verdiği Zararlar ve Maliyetler

Dolu fırtınaları şiddetine göre güneş panelleri, tarım arazileri, otomobiller gibi bitki ve eşyalara ağır hasarlar vermektedir. Sigorta şirketleri her yıl dolu fırtınalarından kaynaklanan hasarlar için milyarlarca lira para ödemektedir. Bu maliyetin önüne geçebilmek için sigorta şirketleri ve araştırmacılar konu hakkında yoğun çalışmalar sürdürmektedirler.

2005'te Çin'de gerçekleşen bir dolu fırtınasında 10000 civarında aracın hasar gördüğü kayıtlara geçmiştir. Yaşanan bu afet sonrası sigortaların 55.500.000 Yuan tazmin ettiği bildirilmiştir. Sigortalara yol göstermesi amacıyla Çin genelinde dolu yağışlarında araçlara hasar verebilecek büyüklükteki dolu yağışları için risk haritası çalışması hazırlanmıştır (Zhao, Wang, Zhao, Yin ve Ma, 2011)

2017'de İstanbul'da gerçekleşmiş olan bir yağmur ve dolu afetinde yaklaşık 180bin aracın hasar gördüğü haberi yayınlanmıştır. Bu habere göre dolu yağışından araçlara gelen zararın faturası toplam 1 milyar TL'yi bulmuştur. Afette, boyası hasar gören araçlar sebebiyle ülkede boya bulmanın zorlaştığı, camları ve kaportaları hasar gören araçların tamirati sırasında yedek parça stoğunun yetersiz kalmış olduğu söylenmektedir. AUTO KİNG, bu afette tamir için yaklaşık 600 göçükle gelen araçların dahi var olduğunu bildirmiştir. Yine aynı şirket, bir araçtaki dolu hasar maliyetini hesaplarken göçük sayısı, çapı ve derinliklerini ele aldıklarını, 0-2 cm çaplı göçüklerde hafif, 2-3 cm çaplı göçüklerde orta, 3-5 cm çaplı göçüklerde ağır, 5 cm üzeri göçüklerde çok ağır hasar şeklinde değerlendirdiklerini belirtmiş, afetten etkilenen araçların yüzde 22'sinin hafif, yüzde 42'sinin orta ve yüzde 36'sının ağır hasarlı olarak geldiğini eklemiştir (Cnn Türk, 2017). Şekil 3.3'te dolu yağışlarından araçların aldığı hasara örnek olabilecek bir fotoğraf verilmiştir.



Şekil 3.3 Bir araç kaportasının dolu yağışında almış olduğu hasar (Demirören Haber Ajansı, 2020)

Araştırmalara göre Türkiye’de gerçekleşen dolu yağışları en az iki yılda bir afete dönüşmektedir. Bölgesel olarak bakıldığında ise bazı bölgelerde oran 5 yılda 1’e düşerken bazı bölgelerde ise bu oran yılda 2’ye çıkmaktadır (Ceylan, 2007).

Avrupa’da bir dolu afetinin yaklaşık 1 Milyar Euro değerinde zarar verme potansiyeli 12 yılda 1 dir. 1,5 Milyar Euro için ise bu ihtimal 35 yılda 1’e düşmektedir (Ceylan, 2007).

2007 yılında Ceylan’ın hazırlamış olduğu çalışmada dolu tanesinin büyüklüklerine göre hangi şiddette nelere zarar verebileceğinin tabloları hazırlamıştır. Tablo3.2 ve Tablo 3.3’te Ceylan’ın hazırladığı tablolardan bir kesit görülmektedir.

Tablo 3.2 Dolunun şiddet ölçeğine göre vereceği hasarlar (Ceylan,2007, s.55)

Şiddet Ölçeği	Verdiği Hasar	Dolu Büyüklük Kodu
H0	Bezelye büyüklüğündedir. Fakat zarar vermez.	1
H1	Ağaç yapraklarında delikler açar, çiçek yapraklarını kopartır.	1-3
H2	Bitki ve ağaç yapraklarını tamamen koparır. Sebze, meyve ve ekinlere hasar verir, sebze yapraklarını parçalar.	1-4
H3	Sera camlarını veya ısklandırmalardaki tepe camlarını kırar, ahşap pencere çerçevelerinin boyalarını sıyrır. Çadır ve yelkenleri yırtar, ekinlerin saplarını harman döver gibi tohumlarından ayırır.	2-5
H4	Ev ve araba camlarını kırar, çatıları delip geçer, araç ve duvarların boyalarına hasar verir.	3-6
H5	Bazı çatı kiremitlerini ve çatıların ahşap direklerini de kırar, çok dayanıklı yapılmış özel camları parçalar, araba kaportalarında çukurluklar oluşturur. Ağaçlardan büyük parçalar koparır.	4-7

Tablo 3.3 Dolunun büyüklüğüne göre çapı ve şiddet aralığı (Ceylan,2007, s.55)

Büyüklük Kodu	Çapı (mm)	Tanımı	Şiddet Aralığı
1	5-10	Bezelye büyüklüğünde	H0-2
2	11-15	Fasulye, fındık büyüklüğünde	H0-3
3	16-20	Bilye, çilek, küçük üzüm tanesi büyüklüğünde	H1-4
4	21-30	Büyük bilye, büyük üzüm tanesi, ceviz büyüklüğünde	H2-5
5	31-45	Kestane, deveduşu yumurtası, pinpon topu, squanti topu büyüklüğünde	H3-6

Tablolar incelendiğinde 16mm çapından itibaren dolu tanelerinin araçlara zarar vermeye başladığı (boyalarının hasara uğraması ve camlarının kırılması gibi), 21mm çapından itibaren araba kaportalarında çukurluklar oluşturmaya başladığı çıkarılabilmektedir.

3.7 Dolu Fırtınalarının Engellenme Çalışmaları ve Karşılaşılan Sorunlar

Sigorta şirketleri, dolunun özellikle tarım arazilerine vermiş olduğu hasardan dolayı çok büyük zarar etmektedir. Sigorta şirketleri ve tarım arazilerine gelen hasara dair literatürde birçok çalışma bulunabilmektedir. 2004 yılında Mumcu'nun hazırlamış olduğu "Tarımsal Üretimde Tarım Sigortalarının Yeri ve Önemi" ve 2018'de Kısa'nın hazırlamış olduğu "Tarım Sigortalarında Dolu Riskinin Kümelenmesi ve Toplam Hasar Dağılımının Hızlı Fourier Dönüşümü İle Belirlenmesi" isimli makaleler konu için örnek gösterilebilecek sadece iki çalışmadır, konu ile ilgili literatürde sayısız örnek mevcuttur. Dolu fırtınaları, verdiği zararlar sebebiyle tarih boyunca engellenmeye çalışılmıştır. Sigorta şirketleri zararını en aza indirebilmek için bu tip engelleme çalışmalarına bütçe ayırarak destek vermektedir. Dolu yağışını engelleme üzerinde çok fazla çalışma yapılmış olsa dahi henüz doluyu tamamen engellemenin uygun maliyetli bir yolu bulunamamıştır.

1992'de WMO'nun yayınlamış olduğu bir raporda, dolu önleme konusunda bazı çalışmaların başarılı olduğu ancak bu konudaki bilginin ve çalışmaların hala yetersiz olduğu ve daha fazla üzerinde çalışma yapılması gerektiği belirtilmiştir. 1998'de AMS'nin yayınlamış olduğu raporda ise var olan dolu önleme çalışmalarının yararlılığı konusunda soru işaretleri olduğu, dolu fırtınaları konusundaki bilginin yetersiz olduğu ve projeler başarılı gibi gözükse de bilimsel verilerin henüz sağlam bir temele dayandırılmadığı belirtilmiştir (Ceylan, 2007).

BÖLÜM DÖRT

SANDVIÇ TEKSTİL VE ARAÇ ÜSTÜ KORUYUCULAR

4.1 Sandviç Tekstil Nedir?

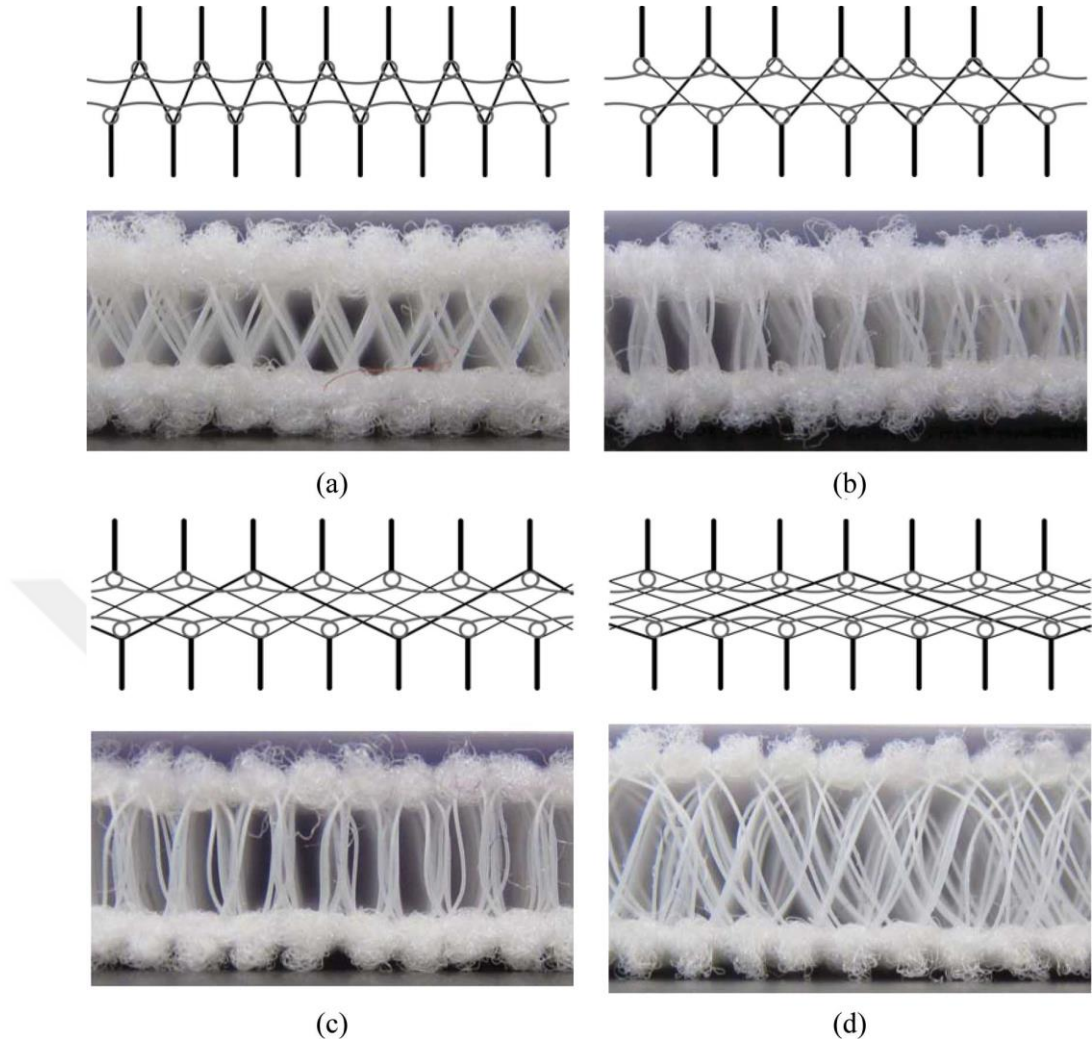
Sandviç tekstil yapılar, alt ve üst yüzeyi ile arasında bağlantı iplikleri bulunan, belirli bir kalınlığı olan örme kumaşlardır. Armakan (2007), sandviç tekstil yapıları “İki dış yüzey ve bu iki dış yüzeyi birbirine bağlayan bir bağlantı tabakasından oluşan üç boyutlu yapıya sahip tekstil yapılarıdır.” şeklinde tanımlamıştır. Şekil 4.1’de sandviç tekstil malzemenin bir çeşidinin görseli görülmektedir.



Şekil 4.1 Sandviç tekstil görseli (Baltex, 2022)

Tekstil mühendisleri, sandviç tekstil yapıların gelişimi için dokuma yöntemleri, iplik materyalleri, dayanım deneyleri vb. birçok konuda yoğun çalışmalar yürütmektedir (Wang, Hu ve Xiao, 2014; Liu ve Hu, 2015; Chen, Hu ve Liu, 2015; Asayesh, Ehsanpour ve Latifi, 2019; Chang ve Ma, 2019). Kullanım yeri ve amacına göre farklı tekniklerde örülebilen bu özel kumaşlar, sadece örme tekniğiyle değil kullanılan iplik materyalleriyle ve değişken kalınlıklarıyla da farklı çeşitlere sahip olabilmektedir.

Liu ve Hu’nun 2011’de hazırlamış olduğu çalışmadan alınan dokuma şekline göre kesit yapısı değişen sandviç tekstil dokuma örnekleri Şekil 4.2’de görülmektedir.



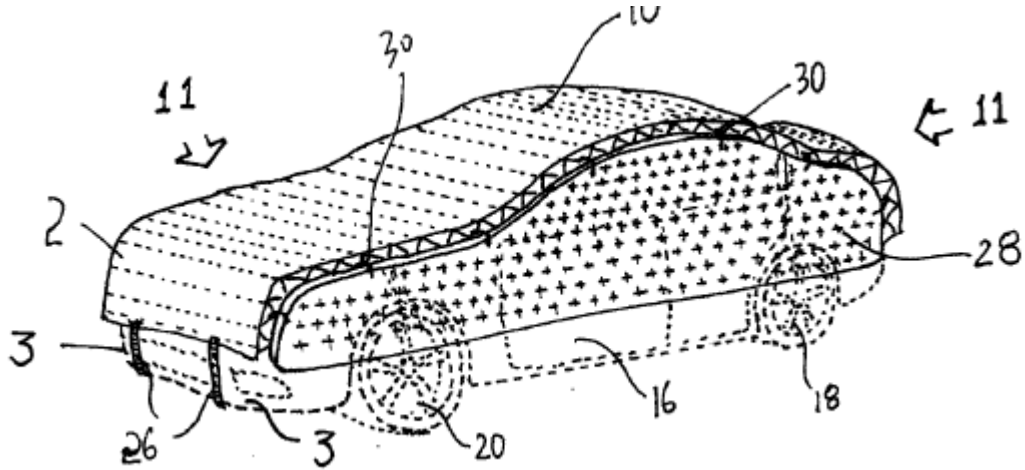
Şekil 4.2 Farklı dokuma özelliklerine sahip sandviç tekstil yapılara örnek (Liu ve Hu, 2011, s.4)

Farklı modellerde dokunabilme, birbirinden farklı materyallerle çalışılabilme, hava geçirgenliği, farklı kalınlıklarda hazırlanabilme, esnek bir yapıya sahip olma gibi özellikleriyle günümüzde sandviç tekstil kumaşlar yaşamın birçok alanında kullanılmaktadır. Spor giysileri, iç ve dış giyim ürünleri, ayakkabılar, tekerlekli sandalyeler, hastane yatakları, araba koltuk kaplamaları gibi sayısız alanda kullanımı mevcuttur (Armakan, 2007). Bu kumaşların araç üstü tekstil koruyucu olabilecek niteliğe ne kadar sahip olduğu ise merak konusudur.

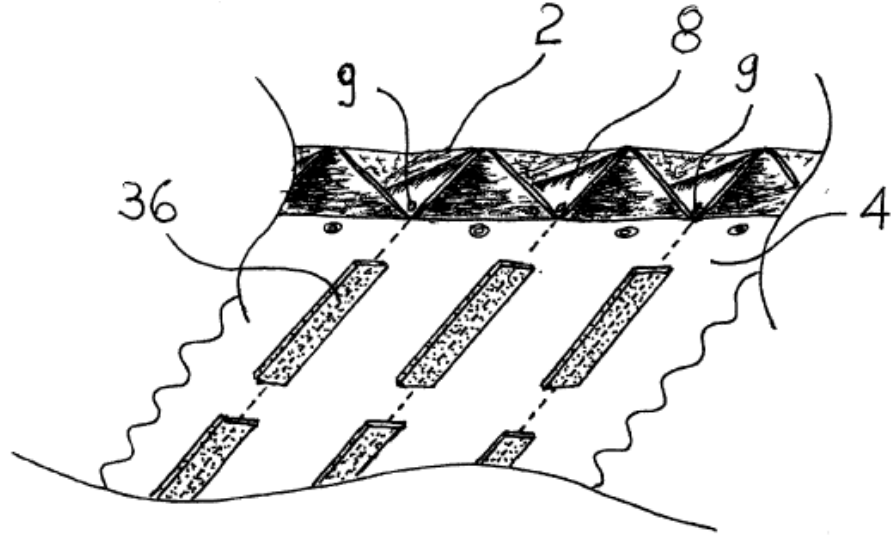
4.2 Araç Üstü Koruyucu Kumaşlar

Meteorolojik araştırmalar sayesinde önceden edinebilen fırtına uyarıları araç sahiplerinin araçlarını korunaklı duruma getirmeye imkan sağlamaktadır. Maalesef araç sahibi insanların birçoğunun evinde kapalı garaj mevcut değildir. Sadece evde değil işyerlerinde, şehir cadde ve sokaklarında bulunan sürelerde kapalı garaj bulmak her zaman mümkün olmamaktadır. Önceden bildirilen dolu yağışlarından araçlara gelebilecek türlü hasarlara karşı kapalı garajlar dışında da yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de araçların üzerine koruyucu kılıflar hazırlamaktır. Koruyucu kılıflar farklı niteliklere sahip olabilmektedir, bir standardı mevcut değildir ancak çoğunlukla şişme özelliğe sahip olan modeller mevcuttur. Bugüne kadar geliştirilmiş olan kılıflara çeşitli patentler alınmıştır. (Wang, 2014; Hunt, 2009; Devereaux, 2012; Douglas, 2012; Tellez, 2008)

2014'te Wang'ın almış olduğu araç koruyucu kılıf patentine ait görseller Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmektedir. Bu patente sahip kılıf, suya karşı dayanıklı, katlanıp çantaya yerleştirilebilen, hafif, üç katmanlı yapı özelliklerine sahiptir. Kumaşın üst ve alt katmanı arasında destek panelleri mevcuttur. En alt katmanda süngerimsi darbe emici özellikte bir yapı mevcuttur.

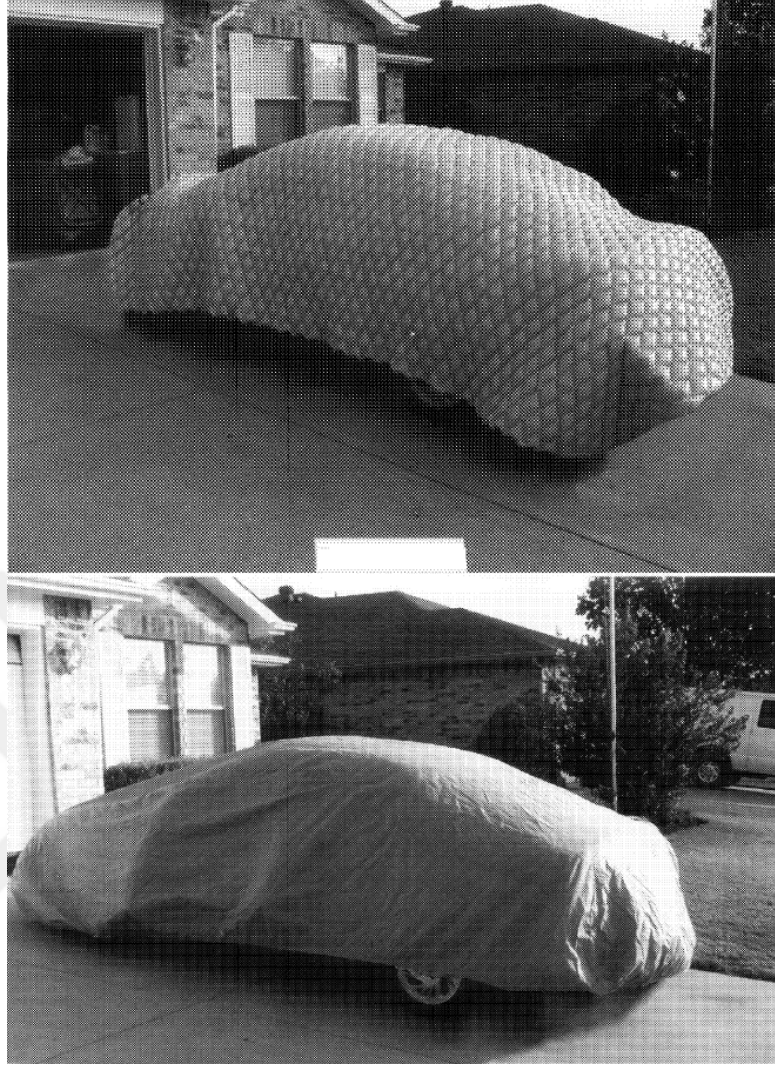


Şekil 4.3 Araç üzerine giydirilmiş koruyucu kılıfın çizimi (Wang, 2014, s.5)



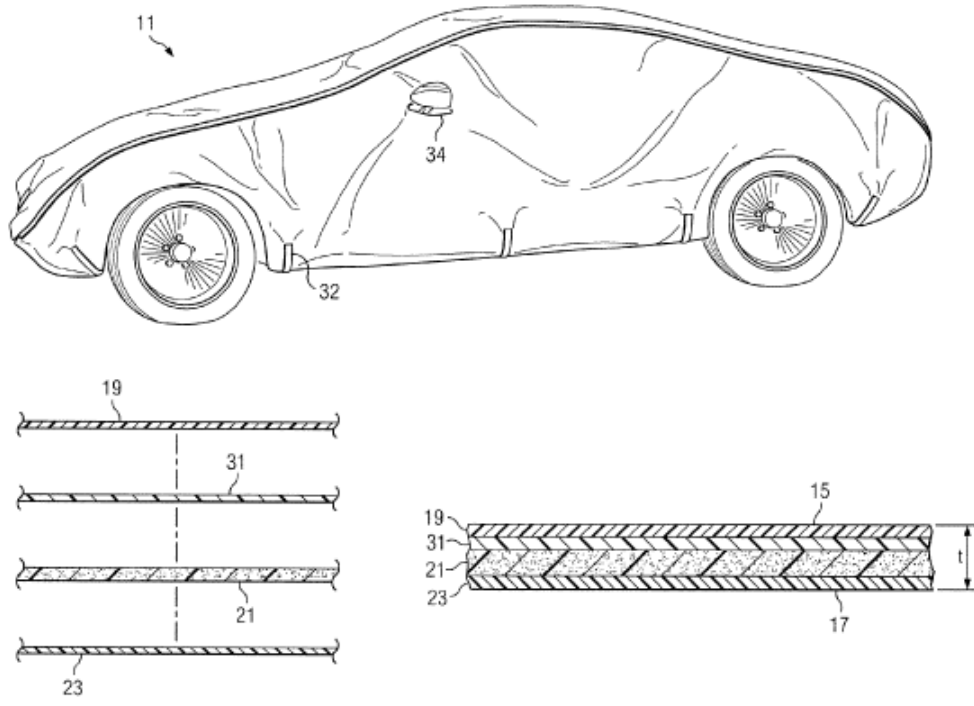
Şekil 4.4 Koruyucu kılıfın detaylandırılmış çizimi (Wang, 2014, s.7)

Hunt'ın 2009'da patentini almış olduğu araç koruyucu kumaş, araç bataryasına pompa bağlanarak şişirilebilmekte ve şişmiş hali ile dolu ve diğer materyallerden koruma sağlamaktadır. Şekil 4.5'te koruyucunun şişmeden önceki ve şişmiş hallerinin fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 4.5 Özel araç koruyucunun şişmiş ve şişmemiş görseli (Hunt, 2009, s.1-3)

Devereaux'un 2012'de patentini almış olduğu buluşunda 4 katmanlı bir koruyucu görülmektedir. Koruyucu; sentetik, koruyucu köpük ve plastik benzeri katmanlardan oluşmaktadır. Patenti alınmış olan kumaşa ait çizimden bir örnek Şekil 4.6' da görülmektedir.



Şekil 4.6 Çok katmanlı araç koruyucunun çizimi (Deveraux, 2012, s.2)

BÖLÜM BEŞ

MATERYALLER

5.1 Dolu Tanesi Boyutu ve Hızının Seçimi

Deney düzeneği tasarımına başlamadan önce sınır değerler olan cihazın hangi dolu tanesi boyutları ve hızları ile çalışacağı belirlenmiştir. Bu değerler tasarıma nereden başlanması gerektiğine dair fikir veren en önemli kriterlerdir.

5.1.1 Dolu Tanesi Boyutunun Belirlenmesi

Deney cihazı için dolu tanesi boyutu seçimi yapılırken tarihte görülmüş dolu tanesi boyutları ele alındığında 23,7 cm ye kadar dolu tanesine rastlanılmış olduğu görülmektedir. Ancak bu boyutla oldukça nadir karşılaşıldığından deneyleri bu boyutlarla yapmak, hazırlanacak olan koruyucunun ihtiyaç dışı kalınlıkta ve koruyuculukta olmasına ve gereksiz ölçüde pahalıya üretilmesine sebep olacaktır. Kumaşların testi için fırtınalarda sıklıkla karşılaşılan, çoğunlukla araçlara zarar veren ölçüleri ele almak, daha doğru ve bilimsel araştırma niteliği taşıyan sonuçlar elde edilmesine destek sağlayacaktır.

Bölüm 3.6 da Ceylan'ın (2007) hazırlamış olduğu çalışmada dolu tanesinin 16mm çapından itibaren araçlara zarar vermeye başladığı ve 21mm çapından itibaren araç kaportalarında çukurluklar oluşmaya başladığı görülmüştür. Bölüm 3.4'te Tanrıöver'in (2016) yapmış olduğu çalışmada Türkiye'de tarih boyunca görülmüş dolu taneleri incelendiğinde 45mm'ye kadar zaman zaman görüldüğü daha büyük tanelerin devasa dolu taneleri olarak kabul edildiği ve uç örnekler olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda Bölüm 3.4'te Auer'in (1972) çalışmasında görülmektedir ki büyük dolu taneleri 45mm ye kadar daha yoğun görülmekte daha büyük çaptaki tanelerle oldukça nadir karşılaşılmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında deney cihazı 25mm,30mm ve 45mm çapa sahip dolu taneleri ile çalışabilir olarak dizayn edilmiştir. Dolu hasarının incelendiği farklı çalışmalar incelendiğinde de çoğunlukla benzer ölçülerin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Approvals(2005), American Society for Testing and Materials(2010), Flüeler vd.(2008), Sızar(2022)

çalışmaları benzer ölçülerin kullanıldığına sadece birkaç örnektir. Literatürde çok daha fazlası bulunabilmektedir.

5.1.2 Dolu Tanesi Hızlarının Belirlenmesi

Deney cihazında kullanılacak olan dolu tanelerinin hızı boyutuna göre doğada görülen hızlarla benzer nitelikte olmalıdır. Deney cihazında kullanılacak dolan dolu tanesinin sahip olması gereken hız denklem 3.1’de verilen $V_{TD} = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot d_d \cdot g \cdot \rho_{dolu}}{3 \cdot c_w \cdot \rho_{hava}}}$ formülünden ve enerjisi denklem 3.2’de verilen $E_k = m \cdot \frac{V_{TD}^2}{2}$ formülünden yararlanarak bulunmak istendiğinde Tablo 5.1’deki sonuçlara ulaşılmaktadır. Formüldeki sabit değerler belirlenirken Flüeler vd.’nin(2008) de kullanmış olduğu; ρ_{hava} : 1.225 kg/m³ ve c_w : 0.5 kg/m² değerleri, dolu tanesi yoğunluğu için Uz’un(2017) kullandığı ρ_{dolu} : 910 kg/m³, esas alınmıştır.

Tablo 5.1 Dolu tanesinin çapına göre hesaplanan terminal hız ve çarpma enerjisi

Dolu Tanesi Çapı (mm)	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Terminal Hızı (m/sn)	Dolu Tanesi Kinetik Enerjisi (J)
25	7,5	22,0	1,8
30	12,8	24,1	3,7
45	43,4	29,5	18,9

Tablo 5.1 de bulunan değerler incelendiğinde değerlerin, yapılan diğer çalışmalarla uyumlu olduğu gözlemlenebilir. Bu değerler cihazın bu çaplarda göstermesi beklenen ortalama hız ve çarpma enerjisi değerleridir.

Formül bir kenara bırakılıp Şekil 3.2 de verilen bugüne kadar yapılmış ve gözlemlenmiş olan çalışmaların çapa göre hız değerleri incelenmek istendiğinde, bulunan değerlerin grafikte tam ortalarda yer aldığı görülmektedir. Grafiğe göre 25mm çapındaki bir dolu tanesinin hızının yaklaşık 18 ila 29 m/sn arasında bulunabileceği, 30mm çapındaki bir dolu tanesinin hızının yaklaşık 20 ila 32 m/sn arasında bulunabileceği, 45mm çapındaki bir dolu tanesinin hızının yaklaşık 25 ila 38 m/sn

arasında bulunabileceği görülmektedir. Bu değerler formül ile bulunan terminal hızlarla örtüşmektedir.

5.2 Deneylerde Kullanılacak Araç Materyali Numunesinin Seçimi

Araçlarda dolu fırtınalarından en fazla zarar gören bölgelerden bir tanesi de kaportalardır. Kaportalara gelen darbelerde oluşan göçüklerin tamirat masrafları araç sahiplerine ve sigorta şirketlerine yüksek düzeyde yük olmaktadır. Aynı zamanda dolu fırtınası sebebiyle deforme olmuş ve tamiri yapılmış parçalar aracın değerini düşürmektedir. Bu sebeple test cihazında deneyleri yaparken kullanılacak malzeme kaporta malzemesi olarak belirlenmiştir.

Her araç üretim firması kendi şasisini tasarlarken kullanacağı materyale de kendisi karar vermektedir. Araç üreticileri için kaportalarda kullanılacak malzemenin belli bir şartı yoktur. İsminin yayınlanmasını istemeyen Türkiye’de bir araç üreticisi firma ile sözlü görüşme yapılmıştır. Bu görüşme doğrultusunda firmanın araçlarında kaporta materyali olarak 0,8mm kalınlığında 7714 kalite Dkp malzeme kullandıkları bilgisine ulaşılmıştır. Deney cihazında testler yapılırken aynı malzeme üzerinde çalışmalar yürütülecektir.

Araç sacları, mukavemeti artırmak, hava akışını kontrol ederek sürtünmeleri azaltmak, görünüşü güzelleştirmek gibi birçok sebepten bir dizi şekillendirme işleminden geçmektedirler. Şekil verilmiş bir sacın yüzey gerilimleri şekillenmeden önceki haline göre çok daha fazla olduğundan mukavemeti artar ve üzerine gelecek darbelere karşı çok daha dayanıklı olur. Deneylerin aynı yüzey gerilimine sahip noktalarda gerçekleştirilebilmesi, şekillendirme sonrası oluşan açısallık farklılıklar sebebiyle hatalı olabilecek sonuçlardan kaçınılabilmesi için deney numunesi olarak henüz şekillendirilmemiş 0,8mm kalınlığında 7114 kalite Dkp sac kullanılmıştır. Deney numuneleri 500mmx600mm genişliğinde seçilmiştir. Bu ölçü; çok geniş olmaması sayesinde şekil verilmemiş bir sac için sehim ve esnemeyi engelleyecek, çok küçük olmaması sayesinde de tıpkı otomobil sacları gibi geniş yüzeye sahip olacaktır. Cihaz daha sonrasında tercih edilirse şekillendirilmiş kaporta gibi ürünler üzerinde de

deney yapılabilecek niteliklere sahiptir. Bu tez, şekillendirilmiş saclar ile deneyleri kapsamamaktadır.

5.3 Deneylerde Kullanılacak Sandviç Tekstil Malzeme Numunesinin Seçimi

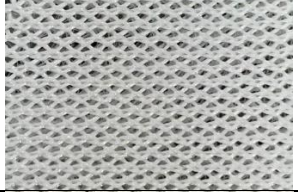
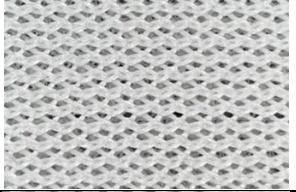
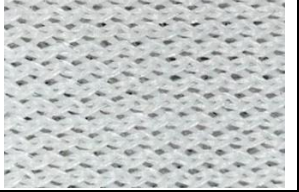
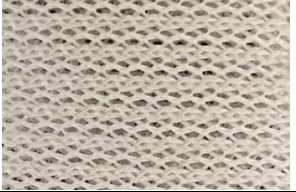
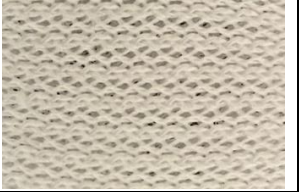
Sandviç tekstil ürünlerin birçok çeşidi mevcuttur. Ancak genel olarak incelendiğinde hepsinin ortak özelliği üç boyutlu olması ve bir örtü gibi serilebilir olmasıdır. Tezin içeriği bu kumaşların performanslarını ölçmek amacıyla hazırlanacak bir deney cihazı olduğundan deney cihazının doğru çalışıp çalışmadığını ölçmek için benzer dokuma ve malzeme yapısına sahip farklı kalınlıklardaki kumaşları kullanmak en doğru sonuçları verecektir. Daha kalın olan kumaş benzer çap ve hızlardaki dolu tanelerine karşı daha koruyucu davranacaktır. Cihazın çalışma performansını test edebilmek için 7mm, 9mm, 11mm kalınlığındaki benzer dokuma ve materyale sahip sandviç tekstil malzemeler seçilmiştir. Seçilen kumaşların tüm katmanları polietilen tereftalat (PET) malzemeden oluşmaktadır. Kumaşa kalınlık veren ara iplikler monofilament yapıdadır. Aynı dokuma yapısına sahip olan deneylerde kullanılacak olan kumaşların kalınlığı arttıkça ağırlığı da artmaktadır. Kullanılacak tekstil malzemelerin teknik özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Deneylerde kullanılacak tekstil malzemelerin teknik özellikleri

	Ortalama Kütle (g/m²)	Çubuk Yönünde Ortalama Kopma Mukavemeti (N)	Sıra Yönünde Ortalama Kopma Mukavemeti (N)	Patlama Mukavemeti (N)
7 mm	650	1793,3	1231,4	2251,3
9 mm	880	1772	1235,2	2013,3
11 mm	1100	1747,1	1151,1	2170,5

Tablo 5.3’te seçilmiş olan kumaşların ön yüz, arka yüz ve kesit görselleri görülmektedir.

Tablo 5.3 Deneylerde kullanılacak tekstil malzemelerin görselleri

	Tekstil 1	Tekstil 2	Tekstil 3
Kalınlık	7 mm	9 mm	11 mm
Ön Yüz			
Arka Yüz			
Kesit			

Deneylerde kullanılacak tekstil malzemelerin eni ve boyu kullanılacak olan araç sacı ile aynı ölçülerde olmalıdır. Bu tezde sac için seçilmiş olan 500mmx600mm ölçüleri esas alınmıştır.

BÖLÜM ALTI

DENEY DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE MATERYALLERİN HAZIRLANMASI

6.1 Dolu Tanesinin Hazırlanması ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Dolu tanesi doğal oluşumu sebebiyle bir buz topu olarak değerlendirilebilir. Dolu yağışlarını simüle etmek için hazırlanan benzer çalışmalarda plastik toplar ve metal toplar denenmiş ancak ağırlık, yüzey pürüzlülüğü gibi doğal dolu tanesinden farklı olan etmenlerin deney sonuçlarının hatalı veya güvenilir olmamasına sebep olduğu görülmüştür. Farklı materyaller içeren plastik ve metal toplar yerine hazırlanacak olan buz küreleri gerek yüzey pürüzlülüğü, düşme anında gösterdiği erime, benzer ağırlığa sahip olması sayesinde çarpma anında uygulayacağı enerji miktarı gibi dolu tanesine çok daha yakın özelliklere sahip olması sebebiyle deneylerde kullanılması uygun bulunmuştur. Dolu taneleri kimi zaman tamamen yuvarlak şekle sahip olmasa da çoğunlukla dairesel şekilli bir top şeklinde yağmaktadır. Karmaşık yüzeyli bir dolu tanesinin deneyler esnasında hangi yüzünün numuneye çarpacağına kontrolü mümkün olmadığından deneyler tamamen yuvarlak şekle sahip buz topları ile yapılmıştır. Literatürde benzer dolu çalışmaları incelendiğinde tamamında yuvarlak top şeklinde materyallerle çalışılmış olması bu kararı destekler niteliktedir (Approvals, 2005; American Society for Testing and Materials, 2010; Flüeler vd., 2008; Sızar, 2022).

Dolu tanelerinin saf su ile hazırlanan buz küreleri ile yapıldığı çalışmalarda görülmüştür ki oldukça kırılgan bir yapıya sahip olan saf buz kürelerinin büyük bir çoğunluğu çarpma esnasında dağılmaktadır. Ancak doğada görülen dolu taneleri çarpma sonrasında bir dağılma davranışı göstermemektedir. Momentumun korunumu kanunu dikkate alındığında bir ürün bir yere çarptığında parçalanırsa, parçalanma anında ürün enerjisinin bir kısmını parçalanma işinde kaybeder. Parçalanmış buz küreleri ile yapılan deneyler, deney numunesine istenilen enerjiyi veremeyeceği için deney sonuçları hatalı olacaktır. Bu sebeple hazırlanan buz kürelerinin deney numunesine çarptığında parçalanmamış olması çok önemli bir kriterdir.

Deneylerde kullanılan buz kürelerinin kırılma oranlarını azaltmak için, hazırlanan buz küreleri saf su ve %12 PVA kullanılarak hazırlanmıştır. Araştırmalar göstermektedir ki %12 PVA ile hazırlanan buz küreleri, saf su ile hazırlanan buz kürelerine göre çok daha sağlam davranış göstermekte ve dağılma oranları çok daha az olmaktadır. Uz ve arkadaşlarının 2017’de hazırlamış olduğu bir çalışmada %12PVA kullanılan buzların saf su ile kıyaslandığında kırılmaya karşı daha dayanıklı olduğu ve dolu tanesinin özelliklerine daha yakın performans gösterdiği kanıtlanmıştır. Proje süresince yapılan deneyler de bu tezi destekler niteliktedir.

Saf su, damıtılarak hazırlanmış, minerallerinden arındırılmış sudur. Su adıyla satılan veya doğada karşılaşılan tüm sular esasında içerisinde türlü mineraller elementler barındıran sulardır. Bütün sular birbirinden farklı içeriklere sahiptir. İçerisinde sadece H_2O bulunmamaktadır. Deneyler için hazırlanacak olan buz kürelerinde farklı su tipleri sebebiyle oluşabilecek değişiklikler deney sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu sebeple içerisinde sadece H_2O barındıran saf su kullanılmıştır. Şekil 6.1’de saf su görseli görülmektedir.



Şekil 6.1 Saf su görseli (Kişisel arşiv, 2022)

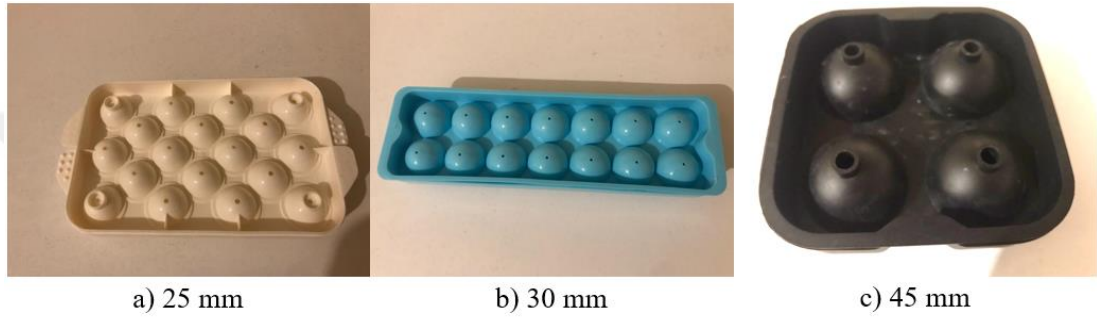
PVA yani Polivinil Alkol suda çözünebilen sentetik polimerdir. $[CH_2CH]_n$ formülüne sahiptir. Sıklıkla yapıştırıcı içeriklerinde kullanılmaktadır. Hazırlanacak buz küreleri için ihtiyaç olan PVA için kullanılmış ahşap tutkalı Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2 Ahşap tutkalı görseli (PVA) (Kişisel arşiv, 2022)

Dolu tanesi olarak kullanılacak buz küreleri hazırlanırken %88 saf su ve %12 PVA karışımı 5 dakika boyunca karıştırılmalı ve tamamen homojen şekilde karıştığından emin olunmalıdır. İyi karışmamış karışımlarda kalıplara döküldükten sonra PVA malzeme çökmekte ve buz küresinin her bölgesinin eşit sertlikte olamamasına sebep olabilmektedir. Bu da dolu buz küresinin çarptığı bölgeye verdiği hasarın farklılaşmasına sebep olabilmektedir.

Dolu tanesi için hazırlanacak buz küreleri için plastik buz kalıpları kullanılmıştır. American Society for Testing and Materials (2010) hazırlamış olduğu test standardı fasikülünde dolu tanesi hazırlamak için hazırlanabilecek bir kalıp önerisinde bulunmuş ancak bu kalıbın kullanılmasının şart olmadığını test yapacak kişinin kendine uygun bir kalıp da kullanabileceğini belirtmiştir. Hazırlanmış olan birçok dolu tanesi hasar çalışmalarında da benzer plastik buz kalıpları kullanıldığı görülebilmektedir (Liu, Deng, Liu, Peng, Yang ve Zheng, 2020; Mehmet vd. 2017). Şekil 6.3'te kullanılan buz kalıplarının görselleri verilmiştir.



Şekil 6.3 Dolu tanesi hazırlamak için kullanılacak plastik buz kalıpları (Kişisel arşiv, 2022)

Hazırlanan karışım dikkatlice kalıplara dökülmelidir. Genleşmeden dolayı oluşacak fazlalıkları engellemek için kalıpların içi %5 boş bırakılmalıdır. İçinin yeterince dolmadığı düşünülen kalıplara şırınga yardımı ile takviye yapılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus şırınganın hızlı boşaltılması durumunda hava kabarcıklarının oluşabilmesidir. Hava kabarcığının oluşmadığından emin olarak dikkatlice ekleme yapılmalıdır. Kalıpların üst kısmı plastik olduğu için bir miktar yüzebilir. Kalıpların üstünde kalan boş bölgelere bir miktar su eklenerek yüzmesi engellenebilir. Yüzme hala devam ediyorsa kalıpların üzerine yapıyı bozmayacak şekilde ağırlıklar eklenebilir. Yüzme işlemi tamamen kesilmelidir. Aksi takdirde buz kürelerinin şekli tamamen yuvarlak şeklini almayacak eliptik şekillerde çıkacaktır.

Hazırlanan karışım kalıplara döküldükten sonra en az 6-8 saat -18°C dondurucuda dondurulması gerekmektedir. Donma işlemi tamamlandıktan sonra buz küreleri, üzerine zarar gelmeyecek şekilde dikkatlice kalıptan çıkarılmalıdır. Kalıptan çıktıktan sonra küre üzerinde kalan çıkıntılar kesici bir alet yardımı ile temizlenmeli ve tam küre halini almalıdır. Temizlenen buz kürelerinin çaplarının değişmemesi için 2dk'dan

fazla oda sıcaklığında kalmamasına özen gösterilmelidir. %12 PVA'lı buz kürelerinin görseli Şekil 6.4'te görülmektedir.



Şekil 6.4 25mm çapında %12 PVA'lı buz kürelerinin görseli (Kişisel arşiv, 2022)

Deneylerde kullanılan buz kürelerinin çarpan yüzeyin sertliğinin ve dayanımının her zaman aynı olduğundan emin olmak için ve düzensiz durumdan dolayı kırılma ihtimalini en aza indirmek için hazırlanan buz kürelerinin üzerinde hiç hava kabarcığı olmadığından emin olunması gereklidir. Hava kabarcığına sahip buz küresine bir örnek Şekil 6.5'te verilmiştir



Şekil 6.5 Hava kabarcığına sahip bir buz küresi örneği (Kişisel arşiv, 2022)

Buz küreleri kalıptan çıkarılma işleminden sonra 48 saat içinde kullanılmalıdır. Daha uzun süreler dondurucuda kaldığında daha kırılgan bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sizar'ın 2022'de yaptığı çalışmada sağlam bir dolu tanesi için yapılması gerekenler önerilerinde de benzer bir uyarı mevcuttur.

6.2 Deney Düzeneği

6.2.1 Tasarımda Kullanılan Programlar

Deney düzeneğinin tasarımı yapılırken üç boyutlu çizim yapmaya yarayan Solidworks programının 2019-2020 Student Edition versiyonundan yararlanılmıştır. Deney düzeneği tasarlanırken farklı üç boyutlu programlardan da yararlanılabilir veya hiç çizim yapmadan düzenek hazırlanabilir.

6.2.2 Atış Düzeneği Modeli

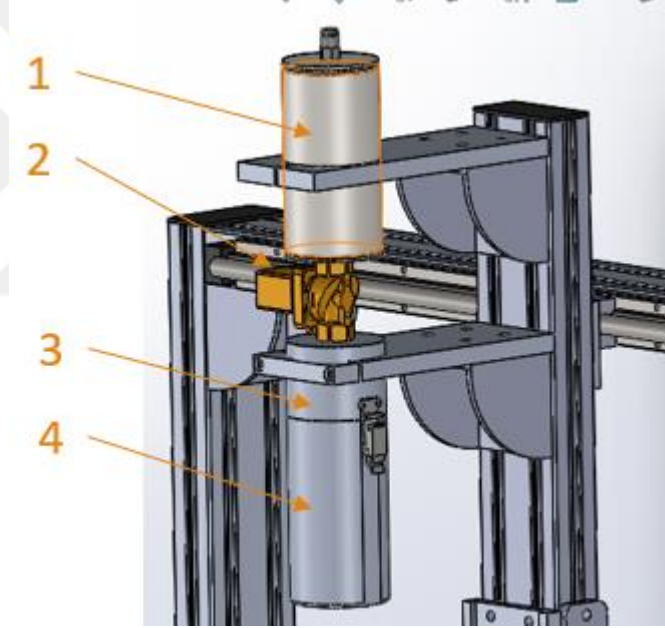
Atış düzeneği dolu tanesinin doğal hareketi olan düşey harekette atış yapacak şekilde tasarlanmıştır. Miller (1980) ve Flüeler vd. (2008) de çalışmalarını düşey atışta yapmıştır.

Doğal dolu tanesi çok yüksek noktalardan düştüğü için çarpma anında çok yüksek hıza dolayısıyla da çok yüksek enerjiye sahip olmaktadır. Dolu test cihazını doğal dolu tanesinin düşmeye başladığı yükseklikten atmak için kule hazırlamak ve üzerinde deney yapmak, gereksiz, masraflı ve rüzgar sebebiyle deney yapılması güçtür. Miller 1980'de bu yükseklikte bir kuleden çeşitli atışlar yapmıştır ancak dış etmenler sebebiyle zorluklar yaşamıştır. Dolu tanesi ile benzer fiziksel özelliklere sahip buz kürelerinin çarpma anında doğadakiyle benzer hıza ve enerjiye sahip olması deneylerin geçerliliği için yeterlidir. Bu sebeple kısa mesafeden atış yapacak mekanizma tasarlanmıştır.

Durağan haldeki bir maddenin kinetik enerjiye sahip olabilmesi için dışarıdan bir etkiye maruz kalması gereklidir. Herhangi bir başlangıç kuvvetine maruz kalmayan madde durmaya devam eder. Durağan haldeki bir buz küresini çok kısa mesafede çok

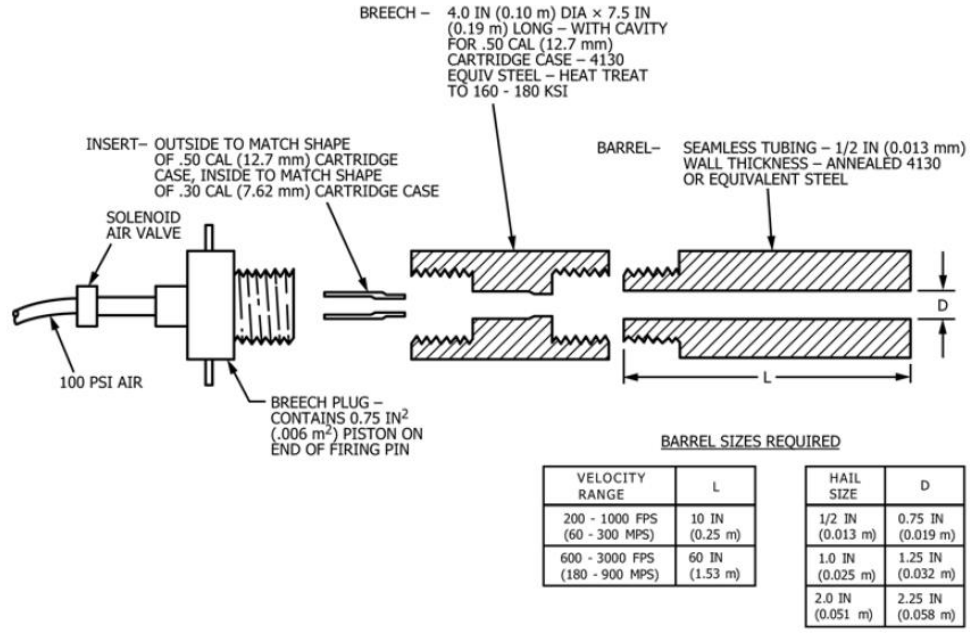
yüksek hızlara ulaştırabilmek için yerçekimi kuvvetinden fazlasına ihtiyaç vardır. Buza yüksek bir momentum verilmelidir. Bir parça üzerine katı veya sıvı yüksek hızlı bir etki uygulandığında, etkilenen parça dağılabilir. Buz kırılğan yapısıyla dağılmaya müsaittir ve kendisine aktarılmak istenen hız çok kütleli parçacıklardan oluşmalıdır. Bunu sağlamanın en uygun yolu basınçlı hava kullanmaktır. Tasarım basınçlı hava atış yapılacak şekilde hazırlanmıştır. Literatürde birçok araştırmacı da bu yöntemi tercih etmiştir (McNaughton ve Chisman, 1940; Tippmann, 2011).

0-6 bar hava ile çalışacak atış düzeneği 1 adet hava tankı, 1 adet Selenoid valf, 1 adet Namlu-Selenoid valf ara bağlantı parçası, 1 adet namludan oluşmaktadır. Atış düzeneğinin 3 boyutlu çiziminden alınmış bir görsel Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6 Atış düzeneği 3 boyutlu tasarımı (1. Hava tankı 2. Selenoid valf 3. Namlu-Selenoid valf ara bağlantı parçası 4. Namlu)

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2010)'nin atış mekanizmasında da benzer bir konstrüksiyon mevcuttur. Şekil 6.7'de ASTM'nin atış mekanizması için önerdiği görsel görülmektedir.



Şekil 6.7 ASTM’ nin atış mekanizması için önerdiği görsel (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2010, s.2)

Tank: 5L kapasiteli basınçlı iki ucu manşonlu basınçlı tank kullanılmıştır. Tank kullanılmaması durumunda buz küresine birim alanda gelecek kuvvet yetersiz kalacak, istenilen hızlara ulaşılamayacaktır. 0-10 bar basınçlı havada güvenli şekilde çalışabilecek yönetmeliklere uygun bir tank seçimi yapılmalıdır. Basınçlı kaplar, patlamaları durumunda çok tehlikeli olabilmektedirler.

Solenoid valf: Kapalı durumdayken havanın geçişini engelleyen, açıldığında akmasına izin veren bir valf türüdür. Atış yapılmadığı süre boyunca tankın içerisinde basınçlı havayı sabit tutmaktadır. Atış yapılacağı zaman elektrikli bir buton yardımıyla valf açılır, hemen ardında duran buz küresine hava akışının etki eder, yüksek basınçlı havaya maruz kalan buz küresi fırlar.

Namlu-Solenoid valf ara bağlantı parçası: Solenoid valfin bağlandığı, sabit, namlunun takılıp çıkarılmasını kolaylaştıran ek bir parçadır. Buz ile çalışan bir bölgede olduğu için paslanmaz çelikten hazırlanmıştır.

Namlu: Buz küresinin yerleştirildiği, atış yapana kadar buzu muhafaza eden parçadır. Ne kadar uzun olursa arkadan gelen basınçlı havaya buz o kadar maruz

kalacaktır. Daha uzun süre basınçlı havaya maruz kalması daha uzun süre kuvvet uygulanması demektir. Uygulanan kuvvet arttıkça buzun hızı da artacaktır. Tankın büyüklüğü ve namlunun uzunluğu buz küresinin hızını doğrusal yönde etkileyen faktörlerdendir. Namlunun deliği dolu tanesi çapına göre; 25mm çapındaki dolu tanesi için 32mm, 30mm çapındaki dolu tanesi için 37mm, 45mm çapındaki dolu tanesi için 52mm çapında hazırlanmıştır. Bu çaplar dolu tanesinin çapından çok büyük olmayarak basınçlı hava kaybının önlenmesine ve taneciğe havanın daha iyi etki etmesine, çok da küçük olmayarak taneciğin yan bariyerlere çarpmadan, kırılmadan namludan çıkabilmesine olanak tanımaktadır. American Society for Testing and Materials (ASTM) (2010) standardında da 25mm ve 51mm çaplarındaki dolu tanelerinde çaptan 7mm büyük namlu deliği kullanıldığı görülmektedir.

Deneylerin yapılma anında buz küresinin erimemesi için deneyin olabildiğince hızlı yapılması gerekmektedir. Bu sebeple namlunun bağlantı şekli, kolay bağlantı elemanları olan elle sıkılabilen kancalarla yapılmıştır. Namlu, yerine hızlı ve kolayca takılıp çıkarılabilmektedir.

Atış anında tanktan boşalacak havanın namlunun bağlantı yerinden sızmasını önlemek için namlu ile bağlantı parçası arasına sızdırmazlık elemanı eklenmiştir.

Atış mekanizmasının üretilmiş ve sisteme bağlanmış bir görseli Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6.8 Atış mekanizması üretilmiş görseli (Kişisel arşiv, 2022)

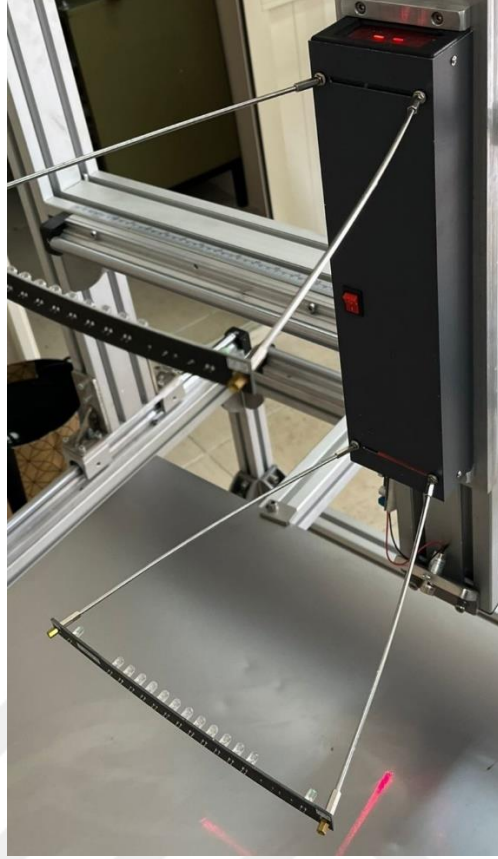
Dolu tanesi örneğinin hızı, üzerine gelecek olan basınçla doğru orantılıdır. Basınç ne kadar yüksek olursa taneciğin hızı o oranda artacaktır. Taneciğin hızını ayarlayabilmek için tank ile kompresör arasına regülatör yerleştirilmiştir. Regülatörler sistemin basıncının ayarlanabilmesine olanak tanıyan pnömatik elemanlardır. Şekil 6.9’da regülatör görülmektedir.



Şekil 6.9 Regülatör görseli (Kişisel arşiv, 2022)

6.2.3 Dolu Tanesi Hızının Ölçülmesi

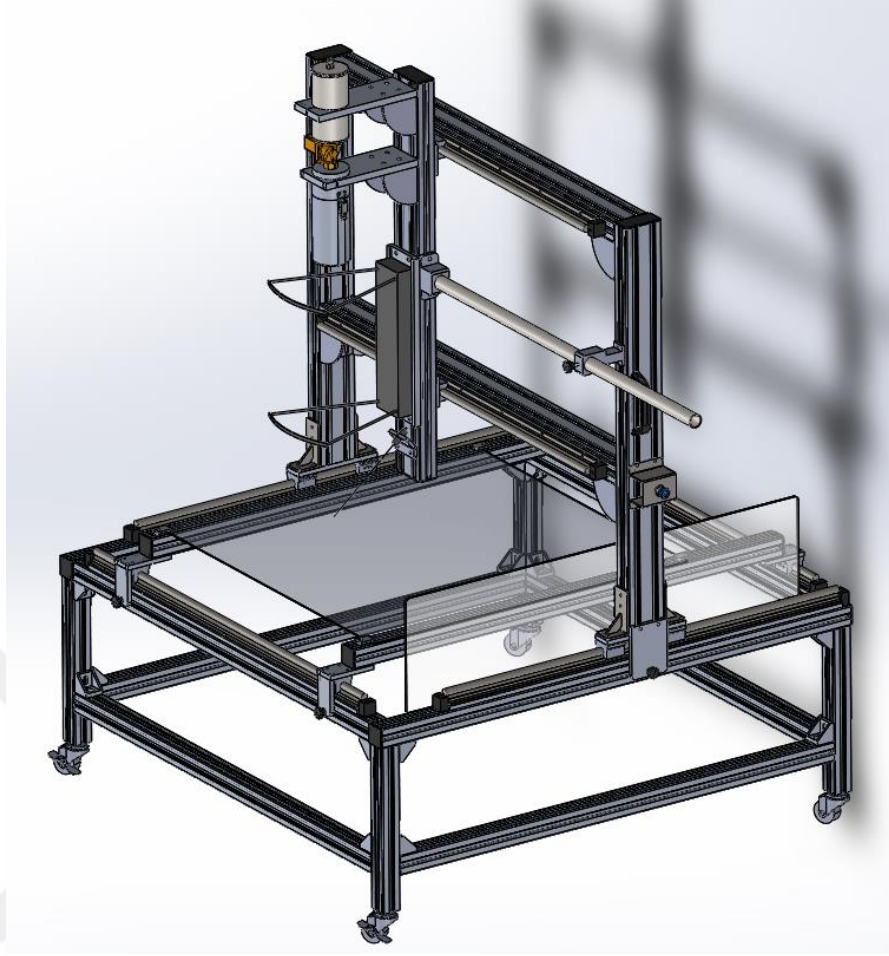
Deneyler yapılırken dolu tanesi örneğinin hızının ölçülmesi son derece önemlidir. Dolu tanesinin hızı ile çarpma anında kaç Joule enerjinin numuneye aktarıldığı ve doğadaki hızlarla uyumlu olmadığı kontrolü sağlanmaktadır. Dolu tanesi hızı ölçülürken hız ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz içine giren maddenin giriş ve çıkışı arasındaki süre ve mesafeden maddenin hızını ölçme prensibine sahiptir. Üzerinde bulunan iki adet lazer içerikli bir çeşit sensör sayesinde bu görevi gerçekleştirebilmektedir. Buz küresinin ölçümü her zaman cihaz ile olmak zorunda değildir. Literatürde bu tip sensör dışında hızlı kameralardan veya bireyin kendi imkanlarıyla hazırlamış oldu iki adet sensörlü bağlantılardan yararlanıldığına rastlamak mümkündür. Hız ölçer cihazı yolda oluşan kayıpları önlemek için çarpma noktasına yakın bir bölgeye bağlanmalıdır. Deney cihazında hız ölçer ile çarpma bölgesi arasında oluşan hız kayıpları çok az olacağından ihmal edilmiştir. Şekil 6.10'da kullanılan hız ölçüm cihazının bir görseli verilmektedir.



Şekil 6.10 Hız ölçümü için kullanılan cihaz (Kişisel arşiv, 2022)

6.2.4 Deney Düzeneği Tasarımı ve Detayları

Tüm deney düzeneğinin Solidworks programı ile hazırlanmış 3 boyutlu çiziminin örneği Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11 Deney düzeneğinin üç boyutlu ortamda çizilmiş bir resmi

Çizimi hazırlanmış olan deney mekanizmasının üretilmiş hali Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.12 Üretilmiş olan deney mekanizması (Kişisel arşiv, 2022)

Deneyler düşey atışta gerçekleşeceği için atış mekanizmasının ve deney numunesinin bağlanacağı bir iskelete ihtiyaç vardır. Tez çalışması için hazırlanmış olan iskelet, yoğunluğunun düşük olması sebebiyle diğer profillerden hafif olması, kolay montajlanması, bulunabilirliğinin yüksek olması, fiyatının uygun olması, eğilme davranışının düşük olması gibi birçok avantajlı sebepten dolayı alüminyum profillerle hazırlanmıştır. Cihazın kolaylık yer değiştirebilmesi için altına 40 kg taşıma kapasitesine sahip 4 adet tekerlek eklenmiştir.

Atış mekanizmasının bağlı olduğu profilin ve atış mekanizması iskeletinin altında sağa-sola, öne-arkaya hareket kabiliyeti verecek indüksiyonlu milden hazırlanmış raylar ve SBR serisi lineer rulmanlar kullanılmıştır. Bu hareket kabiliyeti sayesinde atış mekanizması numunenin istenilen her noktasına atış yapabilmektedir. Hangi noktaya atış yapılacağı kişinin inisiyatifine kalmaktadır. Şekil 6.13'te rulman-mil ikilisi ve kullanıldığı yerler gösterilmiştir.



Şekil 6.13 hareket kabiliyeti sağlayan lineer rulman ve raylar (Kişisel arşiv, 2022)

Deney cihazında kullanılacak araç sacı numunesinin ve sandviç tekstil malzemenin farklı boyutlarda olabileceği göz önünde bulundurularak Numunenin bağlanacağı profiller sabit tutulmamış, bu profillerin altında da SBR Rulman ve indüksiyonlu mil ikilisi kullanılmıştır. Deney cihazına istenilen boyutta numune bağlanabilme serbestliği verilmiştir.

Araç sacı numunesinin ve sandviç tekstil malzemenin deney sırasında kaymaması için bunları sıkıştırarak aparatlar cihaza dahil edilmiştir. Şekil 6.14’te sıkıştırma parçaları ve numunelerin nasıl bağlandığı görülmektedir.



Şekil 6.14 Test numunesinin cihaza bağlanması (Kişisel arşiv, 2022)

Atış mekanizmasını numunenin uzak noktalarına kullanıcının yer değiştirmesine gerek kalmadan taşıyabilecek bir kol eklenmiştir. Şekil 6.15’te detaylı olarak görülmektedir.



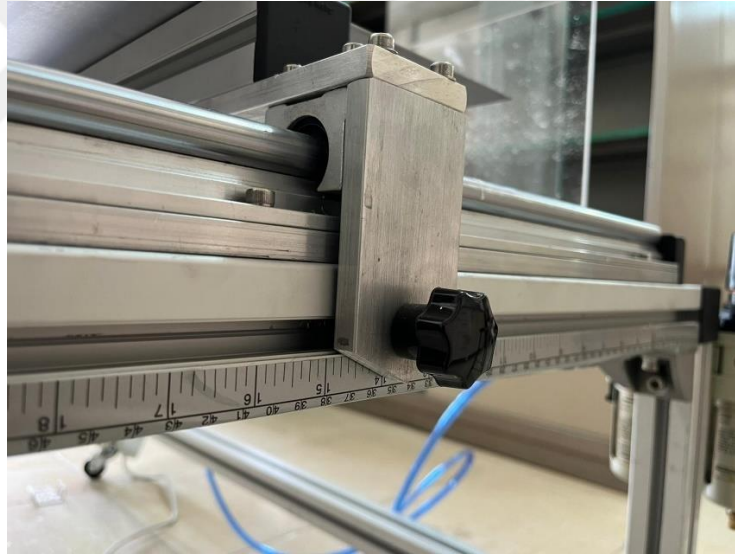
Şekil 6.15 Atış mekanizması yönlendirici kol (Kişisel arşiv, 2022)

Tüm raylı mekanizmalara elle çevrilebilir yıldız başlı bakalit vidalar ile sabitlenebilme özelliği eklenmiştir. Bu sayede deney anında yanlışlıkla çarpma sonucu hareket etme ihtimali ortadan kaldırılmıştır. Aynı zamanda taşıma anında arabanın hareketleri sebebiyle taşıyan kişinin yaşayabileceği potansiyel yaralanma vakaları önlenmiştir. Şekil 6.16’ da yıldız başlı bakalite örnek görsel görülmektedir.



Şekil 6.16 Yıldız başlı bakalit vida (Kişisel arşiv, 2022)

Deneylerde atışların numune üzerine tam olarak istenilen aralıklarla yapılmasını sağlamak için rayların altına yapışkanlı şerit metreler yapıştırılmıştır. Bu sayede bir atıştan diğerine geçerken konum bulmak kolaylaşmaktadır. Şekil 6.17’de yapışkanlı şerit metre görseli verilmiştir.



Şekil 6.17 Yapışkanlı şerit metre (Kişisel arşiv, 2022)

Deneyi yapan kişiyi buz küresi çarptıktan sonra oluşabilecek fırlayan buz parçalarından korumak için pleksiglas malzemeden hazırlanmış koruyucu cam hazırlanmıştır. Bu koruyucu kişinin atış yapmak için kullanacağı selenoid valf tetikleyici butonun hemen altında yer almaktadır. Şekil 6.18’de pleksiglas koruyucu görülmektedir.



Şekil 6.18 Koruyucu pleksiglas cam (Kişisel arşiv, 2022)

Atış mekanizmasının numunenin hangi noktasına atış yapacağına dair görsel fikir vermesi ve deneyleri kolaylaştırması amacıyla atış yapılacak noktayı işaretleyen lazer ışık kullanılmıştır. Şekil 6.19’da lazer ışığı ve işaretleme tekniği görülmektedir.



Şekil 6.19 Kullanılan lazer ışık ve işaretleme şekli (Kişisel arşiv, 2022)

BÖLÜM YEDİ

DENEYLER

7.1 Deney Cihazının Performansının Kontrol Edilmesi

Deneylere başlamadan önce deney cihazının tercih edilen verilere ulaşım ulaşılamadığı kontrol edilmiştir. Kontroller sonucunda;

- Sistemin regülatör yardımıyla basıncı artırıldıkça kullanılan yapay dolu tanesinin hızının arttığı, uygun basınç ayarı yapıldığında 25mm çapındaki yapay dolu tanesinin doğada görüldüğü gibi 22 m/sn hızla ilerleyebildiği, benzer şekilde 30mm çapındaki tane için 24,1 m/sn, 45mm çapındaki tane için 29,5 m/sn hızla ilerleyebildiği kaydedilmiştir.
- Dolu tanesinin hızı arttıkça deney numunesine verdiği hasarın çapının ve derinliğinin arttığı görülmüştür. Bu durum denklem 3.2'yi sağladığını göstermektedir.
- Aynı hıza sahip dolu tanesinin çapı büyüdükçe verdiği hasarın daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durum denklem 3.2'yi sağladığını göstermektedir.
- Tavsiye edilen yapay dolu tanesi hazırlama prosedürü uygulandığında hazırlanmış olan 25, 30 ve 45mm çapındaki yapay dolu tanelerinde kırılma oranının oldukça düşük olduğu görülmüştür.

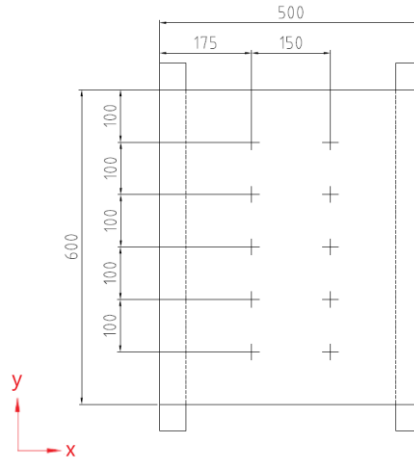
Kontroller, cihazın 25mm, 30 mm ve 45mm çapındaki yapay dolu taneleri ile deney yapmaya uygun olduğunu kanıtlamaktadır. Aynı zamanda, istenmesi durumunda uygun namlu hazırlanırsa 25mm ve 45mm çapı arasında kalan tüm çaplarda cihazın çalışabilir olduğu da kontrollerden çıkarılabilir sonuçlardandır.

7.2 Deneylerin Yapılışı

Deneyler için 500mmx600mm boyutunda araç sacı numuneleri hazırlanmıştır. Uygulanması düşünülen her çaptaki dolu tanesi, 1 adet kumaş örtülmemiş(çıplak) numune ile 10 atış, 1 adet 7mm kalınlığında kumaş örtülmüş numune ile 10 atış, 1 adet

9mm kalınlığında kumaş örtölmüş numune ile 10 atış, 1 adet de 11mm kalınlığında kumaş örtölmüş numune ile 10 atış denenecektir. Deneylerin sonucunda hangi dolu tanesi çapında çıplak araç sacı numunesine ne kadar zarar geldiği ve kumaş örtöldüğünde hangi kumaşın ne kadar koruyuculuk sağlamış olduğu gözlemlenebilecektir.

500mmx600mm ölçüsündeki araç numunesinin her bir örneğine 10'ar adet şekil 7.1'de verilmiş aralıklarla atış yapılacaktır. Sacın atış yapıldıktan sonra deforme olmuş bölgesi gerilime sahip olacağından daha mukavemetli olacaktır. Atış yapılmış alana yakın bir bölgeye başka atış yapmak, aynı gerilim değeriine sahip bir yüzeyde deney yapılmamış olduğu için deney sonuçlarının güvenilirliğini kaybetmesine sebep olacaktır.



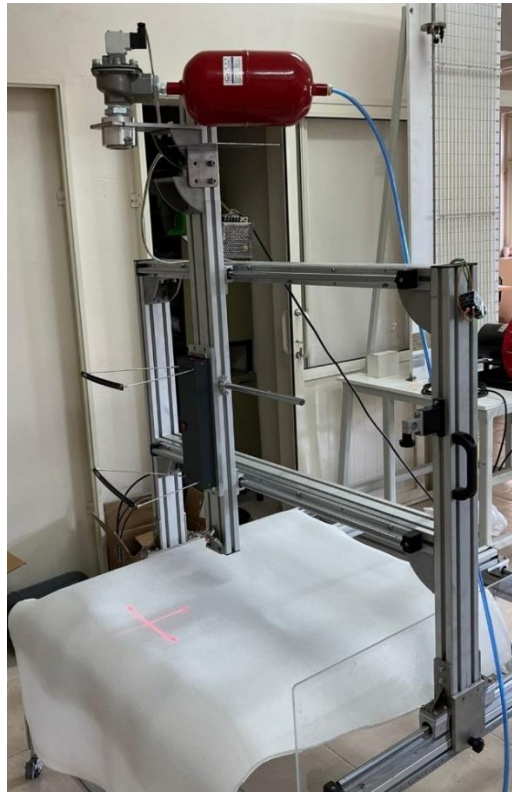
şekil 7.1 Deney numunesinde kullanılacak atış aralıkları

Deneylere başlamadan önce aşağıdaki hazırlıklar yapılmalıdır.

- Deney cihazı prize bağlanır.
- Hız ölçer aktifleştirilir.
- Deney cihazı kompresörden gelecek olan havaya bağlanır.
- Deney yapılacak olan dolu tanesi numunesine göre regölatörden uygun basınç ayarlanır.

- İstenilen hızda ve şekilde çalıştığından emin olmak için numune yerleştirilmeden önce ön denemeler yapılır ve cihaz çalışmaya uygun hale getirilir.
- Araç sacı numunesi istenilen bölgeye cihazın eksenlerine paralel şekilde yerleştirilir, cihaza kaymayacak şekilde bağlanır.
- Araç sacı numunesinin bağlama işleminde sehim yapmadığından emin olunmalıdır.
- Numuneler bağlandıktan sonra raylar yardımıyla istenilen noktaya ilerletilir ve yıldız başlı bakalit vidalar sıkılarak yeri sabitlenir.
- Koruyucu örtü ile deney yapılacak araç sacı numunesinin üzerine serilir.
- Hangi noktalara atış yapılacağı şerit metreler ve lazer işaretleyici yardımıyla belirlenir.

Cihazın, araç sacı bağlanmış ve kumaş numunesi serilmiş çalışmaya hazır haldeki görseline Şekil 7.2’de görülmektedir.



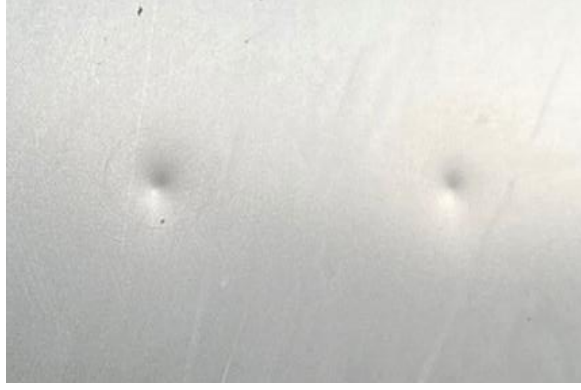
Şekil 7.2 Deney yapmaya hazır hale getirilmiş cihaz (Kişisel arşiv, 2022)

Deneyler yapılırken aşağıdaki işlemler takip edilmelidir.

- Atış yapılacak olan dolu tanesi numunesinin üzerinde herhangi bir çıkıntı, yüzey bozukluğu, hava kabarcığı, çatlak gibi durumlar olmadığından emin olunur.
- Atış yapılacak dolu tanesi örneğinin kütlesi ölçülüp kaydedilir.
- Boyutuna uygun çapta hazırlanmış olan namluya tane yerleştirilir.
- Namlu atış mekanizmasına bağlanır.
- Atış grubu atış yapmak istenen bölgeye tutma kolu ve raylar yardımıyla iletirilir.
- Selenoid valfi tetikleyen butona basılır ve atış gerçekleştirilir.
- Hız ölçer cihazının gösterdiği değer kaydedilir.
- Dolu tanesi numunesinin çarpma esnasında parçalanıp parçalanmadığı gözlemlenir.
- Dolu tanesi numuneleri elle hazırlandığı için zaman zaman kırılmalar parçalanmalar görülebilmektedir. Parçalanmamış olan dolu tanesi numunelerinin sonuçlarını esas almak doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.
- Dolu tanesi numunesini 2 dakikadan fazla oda sıcaklığında bekletmemek önemlidir. Uzun süre dışarda beklemiş buz küreleri erimeye başladığı için yüzey pürüzlülüğü değişmekte, çapı küçülmekte ve sıcaklığı düştüğü için mukavemetini kaybetmektedir.
- Deneyler ilk maddeden itibaren başlanarak aynı numune üzerine farklı noktalarda 10 kere tekrar edilir. Tüm sonuçlar kaydedilir.
- Aynı numune üzerinde atışlar bittiğinde numune çıkarılır, yeni numuneler bağlanarak deneylere devam edilir.

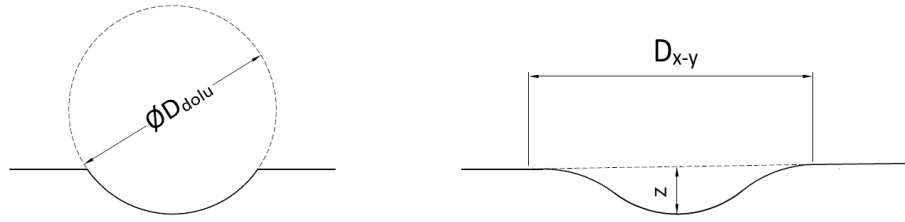
7.3 Deney Sonrası Hasarın Ölçülmesi

Deneyler yapıldıktan sonra sac numunesinin dairesel oyuklar şeklinde hasar aldığı gözle gözlemlenebilmektedir. Numunenin hasar almış halinin görsel bir örneği Şekil 7.3'te verilmektedir.



Şekil 7.3 Üzerine 2 atış yapılarak hasar verilmiş araç sacı numunesi (Kişisel arşiv, 2022)

Deneyler yapıldıktan sonra çıkarılan numunenin üzerindeki darbeler kürenin dış yüzeyi gibi dairesel şekilde çıkmaktadır. Bunu ölçmenin en iyi yolu gelen hasar çapının en dıştan ölçülerinin ortalamasını almak ve hasarın derinliğini ölçmektir. Şekil 7.4'te hasarın nasıl oluştuğuna dair bir kesit çizimi görülmektedir.



Şekil 7.4 Dolu tanesi hasarının kesiti için hazırlanmış çizim

Hasarın derinliğini ölçmek için bir master alınır ve hasar almamış bölgelere basacak şekilde çukurun ortasına yerleştirilir. Kumpasın derinlik ölçer tarafından yardım alınarak çukurun en derin olduğu bölge bulunur. Masterın kalınlığı ölçülen değerden çıkarılır ve çukurun derinliğine ulaşılır. Şekil 7.5 'te Numunedeki hasarın derinliğinin ölçülme şekli görülmektedir.



Şekil 7.5 Numunedeki hasar derinliğinin ölçülmesi (Kişisel arşiv, 2022)

Deney numunelerin kalınlığı çok ince olduğundan deney sonrası sac deformasyona uğramaktadır. Bu sebeple hasar çapını ölçerken çukura fırça yardımıyla mürekkep sürülmüş, büyük bir mastar yardımıyla numunenin üzeri temizlenmiştir. Hasarlı olan bölge mürekkepten arındırılmayacağı için mürekkepli alanın çapı hasar çapı olacaktır. Çıkan mürekkepli dairesel alan numune eksenlerine paralel bölgelerden ölçülmüş ve raporlanmıştır. Şekil 7.6'da numune hasar çapını ölçme aşamaları görülmektedir.



Şekil 7.6 Numunedeki hasar derinliğinin ölçülmesi (Kişisel arşiv, 2022)

7.4 Deneylerden Alınan Veriler

Tüm deneyler ve ölçümler yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar için tablolar incelenebilir.

7.4.1 25mm Çapındaki Dolu Tanesi Deneyleri

Tablo7.1’de 25mm çapındaki dolu tanesi için örtüsüz yapılan deney verileri görülmektedir.

Tablo 7.1 25mm çapındaki dolu tanesi için örtüsüz yapılan deney verileri

	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Dolu Tanesi Hızı (m/sn)	Hesaplanan Çarpma Enerjisi (Joule)	Hasarın X Ekseninde Ölçülen Çapı D _x (mm)	Hasarın Y Ekseninde Ölçülen Çapı D _y (mm)	Hasarın Ölçülen Ortalama Çapı D _{ort} (mm)	Ölçülen Hasarın Derinliği z (mm)
1. atış	8	24,5	2,40	34	35	34,5	1,2
2. atış	8	22,2	1,97	30	29	29,5	0,9
3. atış	8	20,4	1,66	27	27	27	0,8
4. atış	8	22,3	1,99	29	29	29	0,9
5. atış	8	23,4	2,19	32	32	32	1,1
6. atış	8	19	1,44	27	28	27,5	0,8
7. atış	8	23,1	2,13	31	31	31	1
8. atış	8	23,5	2,21	32	32	32	1,1
9. atış	8	22,6	2,04	29	29	29	0,9
10. atış	8	22,9	2,10	29	28	28,5	0,9

Tablo7.2’de 25mm çapında dolu ve 7mm kalınlığında örtü ile yapılan deney verileri görülmektedir.

Tablo 7.2 25mm çapında dolu ve 7mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar

	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Dolu Tanesi Hızı (m/sn)	Hesaplanan Çarpma Enerjisi (Joule)	Hasarın X Ekseninde Ölçülen Çapı D _x (mm)	Hasarın Y Ekseninde Ölçülen Çapı D _y (mm)	Hasarın Ölçülen Ortalama Çapı D _{ort} (mm)	Ölçülen Hasarın Derinliği z (mm)
1. atış	8	23,9	2,28	30	30	30	0,9
2. atış	8	22,8	2,08	27	27	27	0,8
3. atış	8	21	1,76	26	26	26	0,7
4. atış	8	22,6	2,04	26	27	26,5	0,7
5. atış	8	25,6	2,62	31	31	31	1
6. atış	8	26,9	2,89	32	32	32	1,1
7. atış	8	21,4	1,83	27	28	27,5	0,8
8. atış	8	22,8	2,08	29	29	29	0,9
9. atış	8	22,9	2,10	30	30	30	0,9
10. atış	8	19,9	1,58	25	24	24,5	0,6

Tablo7.3'te 25mm çapında dolu ve 9mm kalınlığında örtü ile yapılan deney verileri görülmektedir.

Tablo 7.3 25mm çapında dolu ve 9mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar

	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Dolu Tanesi Hızı (m/sn)	Hesaplanan Çarpma Enerjisi (Joule)	Hasarın X Ekseninde Ölçülen Çapı D _x (mm)	Hasarın Y Ekseninde Ölçülen Çapı D _y (mm)	Hasarın Ölçülen Ortalama Çapı D _{ort} (mm)	Ölçülen Hasarın Derinliği z (mm)
1. atış	8	26,5	2,81	31	30	30,5	1
2. atış	8	23,5	2,21	25	26	25,5	0,8
3. atış	8	23	2,12	25	25	25	0,7
4. atış	8	25,8	2,66	27	27	27	0,9
5. atış	8	25,3	2,56	26	26	26	0,8
6. atış	8	25	2,50	26	26	26	0,8
7. atış	8	24,5	2,40	26	26	26	0,8
8. atış	8	20	1,60	23	22	22,5	0,6
9. atış	8	23,2	2,15	26	25	25,5	0,8
10. atış	8	24,9	2,48	25	26	25,5	0,8

Tablo7.4'te 25mm çapında dolu ve 11mm kalınlığında örtü ile yapılan deney verileri görülmektedir.

Tablo 7.4 25mm çapında dolu ve 11mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar

	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Dolu Tanesi Hızı (m/sn)	Hesaplanan Çarpma Enerjisi (Joule)	Hasarın X Ekseninde Ölçülen Çapı Dx (mm)	Hasarın Y Ekseninde Ölçülen Çapı Dy (mm)	Hasarın Ölçülen Ortalama Çapı D _{ort} (mm)	Ölçülen Hasarın Derinliği z (mm)
1. atış	8	23,7	2,25	25	25	25	0,6
2. atış	8	22,8	2,08	23	22	22,5	0,5
3. atış	8	22,1	1,95	23	23	23	0,5
4. atış	8	28,7	3,29	26	26	26	0,7
5. atış	8	21,8	1,90	23	23	23	0,5
6. atış	8	22,3	1,99	22	23	22,5	0,5
7. atış	8	21,1	1,78	20	20	20	0,4
8. atış	8	21,9	1,92	19	20	19,5	0,4
9. atış	8	25,7	2,64	25	26	25,5	0,6
10. atış	8	24,1	2,32	25	25	25	0,6

Tablo 7.1, Tablo 7.2, Tablo 7.3 ve Tablo 7.4 incelendiğinde deney cihazının 25mm çapındaki dolu taneleri için Bölüm 5.1.2’de belirlenmiş olan hız ve enerji değerlerine uygun atışlar yaptığı görülmektedir.

7.4.2 30mm Çapındaki Dolu Tanesi Deneyleri

Tablo 7.5’te 30mm çapındaki dolu tanesi için örtüsüz yapılan deney verileri görülmektedir.

Tablo 7.5 30mm çapındaki dolu tanesi için örtüsüz yapılan deney verileri

	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Dolu Tanesi Hızı (m/sn)	Hesaplanan Çarpma Enerjisi (Joule)	Hasarın X Ekseninde Ölçülen Çapı D _x (mm)	Hasarın Y Ekseninde Ölçülen Çapı D _y (mm)	Hasarın Ölçülen Ortalama Çapı D _{ort} (mm)	Ölçülen Hasarın Derinliği z (mm)
1. atış	13	26,3	4,50	37	38	37,5	1,7
2. atış	13	27,9	5,06	42	42	42	1,8
3. atış	13	26,3	4,50	39	38	38,5	1,7
4. atış	13	27,3	4,84	44	43	43,5	1,9
5. atış	13	30,1	5,89	50	51	50,5	2
6. atış	13	29	5,47	45	45	45	1,9
7. atış	13	25,8	4,33	38	39	38,5	1,7
8. atış	13	24,2	3,81	36	36	36	1,6
9. atış	13	25,6	4,26	38	37	37,5	1,7
10. atış	13	25,9	4,36	37	38	37,5	1,7

Tablo 7.6’da 30mm çapında dolu ve 7mm kalınlığında örtü ile yapılan deney verileri görülmektedir.

Tablo 7.6 30mm çapında dolu ve 7mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar

	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Dolu Tanesi Hızı (m/sn)	Hesaplanan Çarpma Enerjisi (Joule)	Hasarın X Ekseninde Ölçülen Çapı D _x (mm)	Hasarın Y Ekseninde Ölçülen Çapı D _y (mm)	Hasarın Ölçülen Ortalama Çapı D _{ort} (mm)	Ölçülen Hasarın Derinliği z (mm)
1. atış	13	24,4	3,87	35	36	35,5	1,4
2. atış	13	28,8	5,39	42	43	42,5	1,8
3. atış	13	30,9	6,21	42	42	42	1,8
4. atış	13	29,4	5,62	42	42	42	1,8
5. atış	13	29,8	5,77	40	39	39,5	1,8
6. atış	13	30	5,85	43	43	43	1,8
7. atış	13	26,2	4,46	37	37	37	1,6
8. atış	13	26,4	4,53	36	36	36	1,5
9. atış	13	24,7	3,97	33	33	33	1,4
10. atış	13	27,5	4,92	37	38	37,5	1,7

Tablo 7.7’de 30mm çapında dolu ve 9mm kalınlığında örtü ile yapılan deney verileri görülmektedir.

Tablo 7.7 30mm çapında dolu ve 9mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar

	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Dolu Tanesi Hızı (m/sn)	Hesaplanan Çarpma Enerjisi (Joule)	Hasarın X Ekseninde Ölçülen Çapı D _x (mm)	Hasarın Y Ekseninde Ölçülen Çapı D _y (mm)	Hasarın Ölçülen Ortalama Çapı D _{ort} (mm)	Ölçülen Hasarın Derinliği z (mm)
1. atış	13	28,3	5,21	37	38	37,5	1,6
2. atış	13	25,2	4,13	32	32	32	1,3
3. atış	13	27,5	4,92	37	36	36,5	1,5
4. atış	13	26,5	4,56	33	34	33,5	1,4
5. atış	13	27,5	4,92	36	36	36	1,5
6. atış	13	30	5,85	38	38	38	1,7
7. atış	13	28,3	5,21	37	37	37	1,6
8. atış	13	29	5,47	39	38	38,5	1,7
9. atış	13	27,8	5,02	37	36	36,5	1,6
10. atış	13	29	5,47	39	39	39	1,7

Tablo 7.8’de 30mm çapında dolu ve 11mm kalınlığında örtü ile yapılan deney verileri görülmektedir.

Tablo 7.8 30mm çapında dolu ve 11mm kalınlığında örtü ile bulunan sonuçlar

	Dolu Tanesi Kütlesi (g)	Dolu Tanesi Hızı (m/sn)	Hesaplanan Çarpma Enerjisi (Joule)	Hasarın X Ekseninde Ölçülen Çapı D _x (mm)	Hasarın Y Ekseninde Ölçülen Çapı D _y (mm)	Hasarın Ölçülen Ortalama Çapı D _{ort} (mm)	Ölçülen Hasarın Derinliği z (mm)
1. atış	13	26,9	4,70	32	32	32	1,3
2. atış	13	26,7	4,63	31	31	31	1,3
3. atış	13	25,2	4,13	30	31	30,5	1,2
4. atış	13	25,1	4,10	31	30	30,5	1,2
5. atış	13	26,6	4,60	32	31	31,5	1,3
6. atış	13	26,6	4,60	32	32	32	1,3
7. atış	13	29	5,47	36	36	36	1,5
8. atış	13	24,3	3,84	28	29	28,5	1,1
9. atış	13	26,3	4,50	31	32	31,5	1,3
10. atış	13	25,1	4,10	30	30	30	1,2

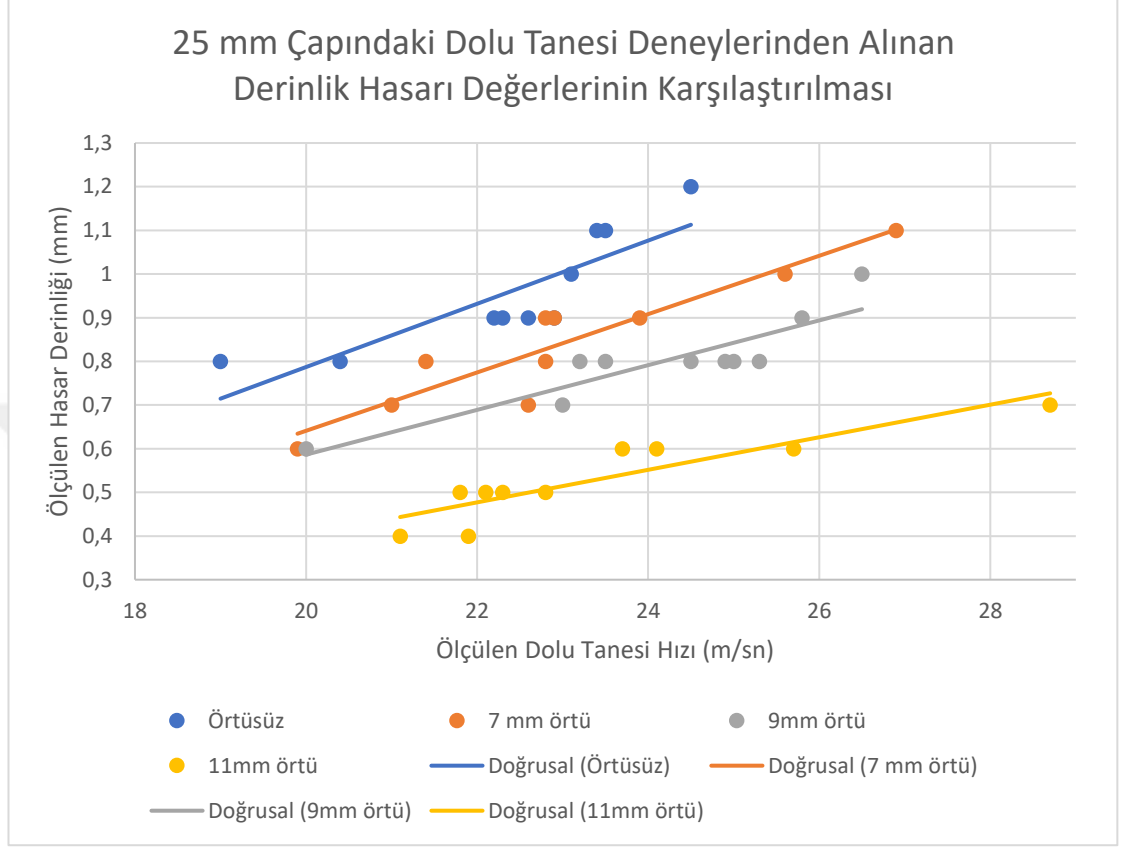
Tablo 7.5, Tablo 7.6, Tablo 7.7 ve Tablo 7.8 incelendiğinde deney cihazının 30mm çapındaki dolu taneleri için Bölüm 5.1.2’de belirlenmiş olan hız ve enerji değerlerine uygun atışlar yaptığı görülmektedir.

30mm çapındaki dolu tanesi deneylerinde araç sacı numunesinin 5cm çapına kadar hasar aldığı görülmektedir. Bölüm 3.6’da araçlara doludan gelen hasar çapının 3cm’den 5cm’ye kadar olması durumunda araca ağır hasarlı raporu verildiği ve ilgili afette orantısal olarak %100’ünün 5cm’nin altında raporlanmış olduğu görülmektedir. Araç üstü koruyucu kumaşların belli büyüklükteki dolu tanesi çaplarını karşılıyor olması yeterli görülmüştür. Bu sebeple extrem durumları kenara bırakıp günlük kullanım ele alındığında araç üstü koruyucu kumaşların 30mm çapındaki dolu tanesine kadar dayanıklı olması ve test prosedürünün 30mm çapına kadar yapılması bu çalışma için yeterli bulunmuştur. 5cm çapının üzerindeki göçük çalışmaları farklı bir tez konusudur ve cihazın 45mm çapındaki dolu tanesiyle çalışabilme özelliği kullanılabilir. Bu çalışma 45mm çapındaki dolu tanesi için kumaş performansını incelemeyi kapsamamaktadır.

7.4.3 Bulunan Değerlerin Karşılaştırılması

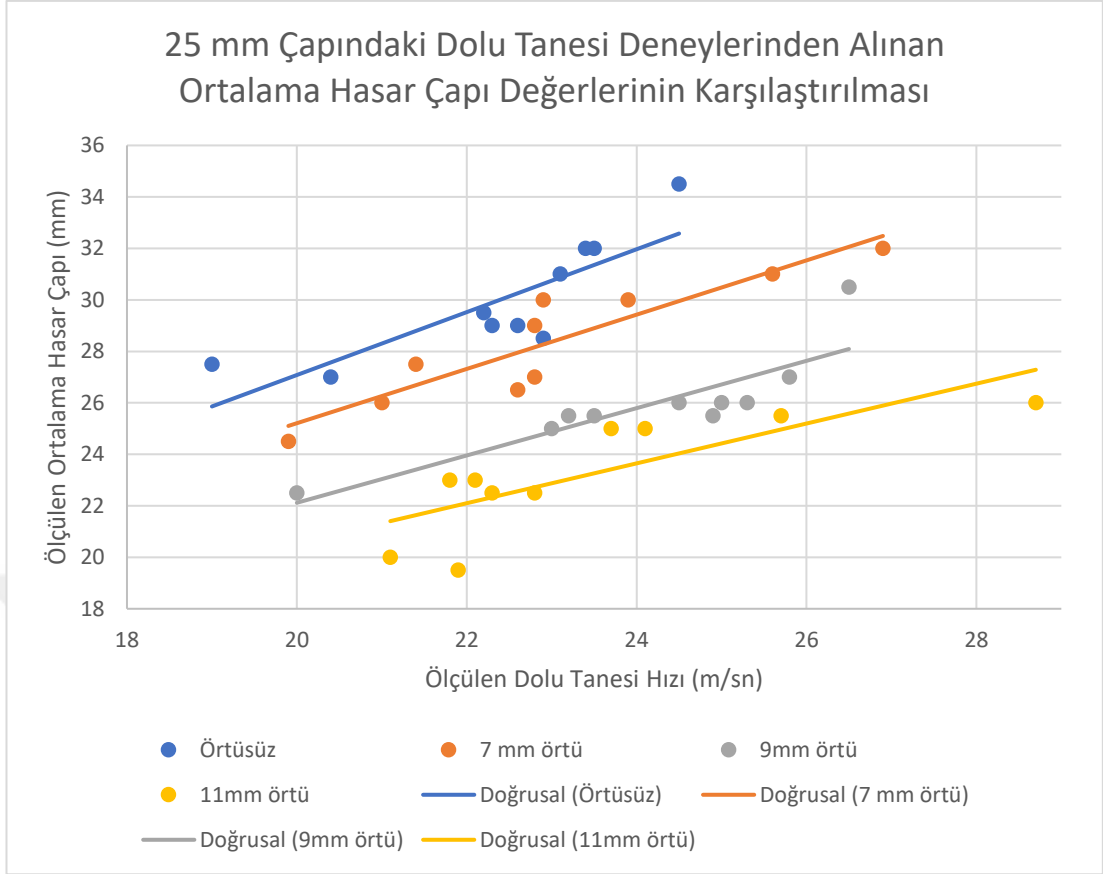
Dolu taneleri için ortalama bir enerji değeri ve hızı hesaplanabilir olsa da doğada tanenin çarpma hızı; şekil bozukluklarına, havanın yoğunluğuna, tanenin ağırlığına, düşme yüksekliğine vb. birçok etmene göre değişmektedir. Ancak dolu tanesinin çapına göre görüldüğü belli bir hız aralığı vardır. Bu hız aralığına bölüm 5.1.2’de yer verilmiştir. Deneylerde kullanılan yapay dolu tanesi hız değerleri doğada görülen hız aralığında kalmaktadır. Değişken olan hız değeri yapay dolu tanesinin çarpma enerjisini de etkilemektedir, hız arttıkça dolu tanesinin çarpma enerjisi de artmaktadır. Artan enerji ile araç sacına gelen hasarın da arttığı deney sonuçlarında görülmektedir. Farklı hız ve enerjilere sahip deney verilerinin karşılaştırılması için en uygun yöntem, dolu tanesinin benzer hız ve enerjideyken örtülü ve örtüsüz araç sacı hasar miktarının karşılaştırılmasıdır. Aynı çaptaki dolu tanesiyle yapılan deney verileri tek bir grafikte toplanıp hasar miktarı ortalaması çizgisel olarak kullanıldığında kumaş performansları karşılaştırılabilir olmaktadır.

25mm çapındaki dolu taneleri ile yapılan tüm deneysel çalışmaların derinlik hasarı bir grafikte toplandığında şekil 7.7’de görülen grafik elde edilmektedir.



şekil 7.7 25 mm çapındaki dolu tanesi deneylerinden alınan derinlik hasarı değerlerinin karşılaştırılması grafiği

25mm çapındaki dolu taneleri ile yapılan tüm deneysel çalışmaların ortalama hasar çapı miktarı bir grafikte toplandığında şekil 7.8’de görülen grafik elde edilmektedir.

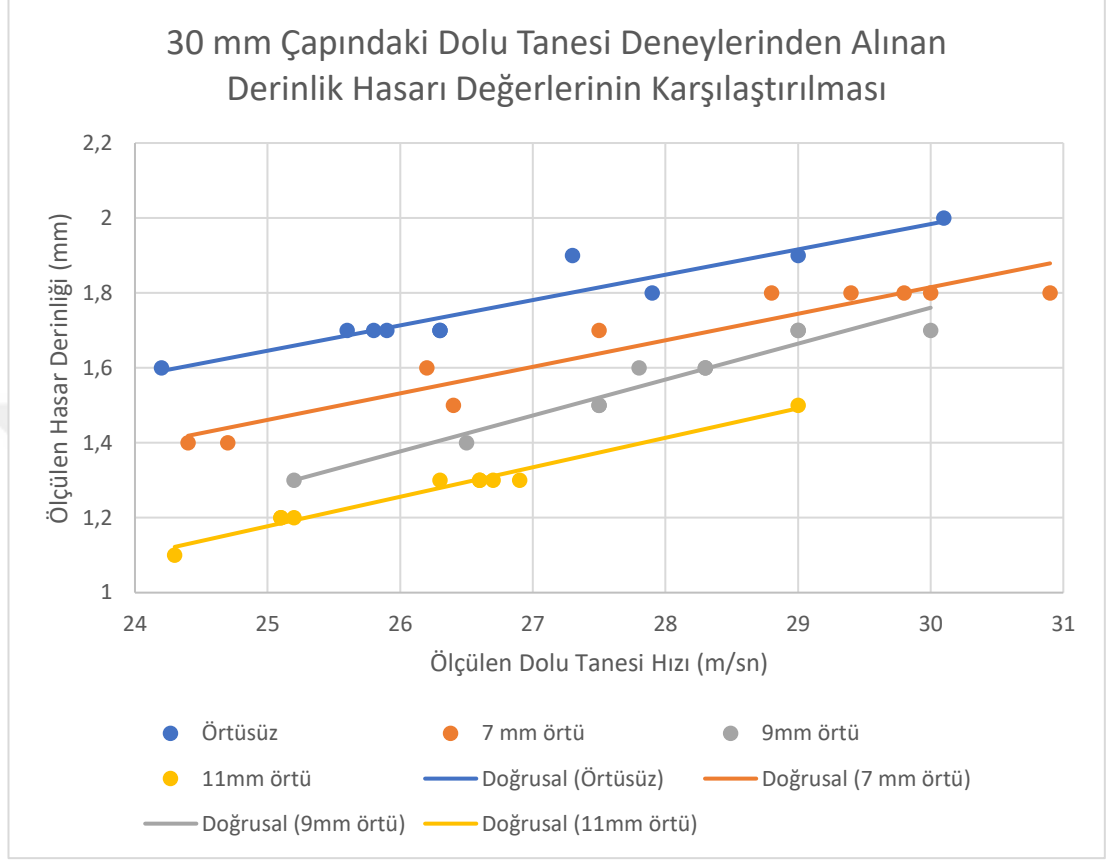


Şekil 7.8 25 mm çapındaki dolu tanesi deneylerinden alınan ortalama hasar çapı değerlerinin karşılaştırılması grafiği

Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 yorumlandığında;

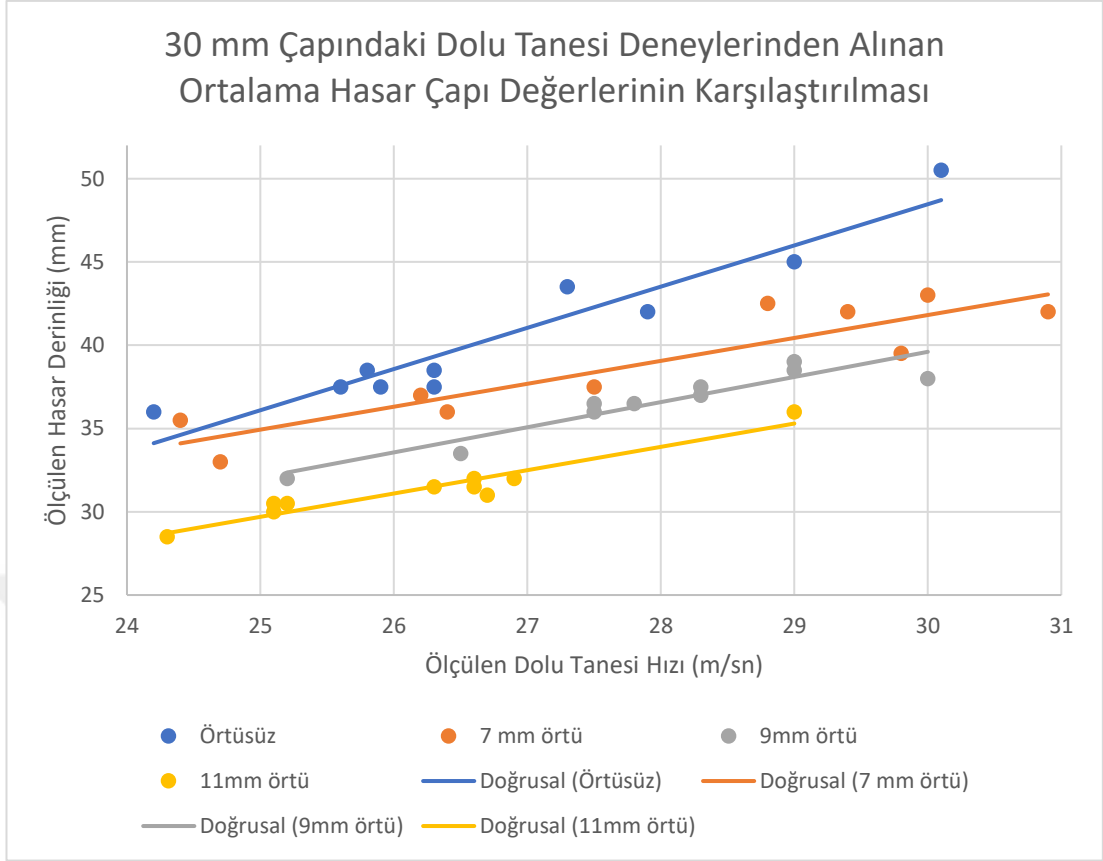
- Dolu tanesi benzer hıza yani benzer çarpma enerjisine sahipken sandviç tekstil serilmiş araç sacı numunelerinde çıplak bırakılan numunelere göre daha az hasar görmüştür.
- Dolu tanesi benzer hıza yani benzer çarpma enerjisine sahipken kullanılan sandviç tekstil malzeme türünün kalınlığı arttıkça koruyuculuğu artmaktadır.
- Dolu tanesi hızı arttıkça hasar miktarı derinlik ve çap açısından artmaktadır.
- Deney numunesi olarak kullanılan sandviç tekstil malzemelerden 25mm çapındaki dolu tanesine karşı tamamen koruyuculuk sağlayan kumaşa rastlanılmamıştır.

30mm çapındaki dolu taneleri ile yapılan tüm deneysel çalışmaların derinlik hasarı bir grafikte toplandığında şekil 7.9’da görülen grafik elde edilmektedir.



şekil 7.9 30 mm çapındaki dolu tanesi deneylerinden alınan derinlik hasarı değerlerinin karşılaştırılması grafiği

30mm çapındaki dolu taneleri ile yapılan tüm deneysel çalışmaların ortalama hasar çapı miktarı bir grafikte toplandığında şekil 7.10’da görülen grafik elde edilmektedir.



Şekil 7.10 30 mm çapındaki dolu tanesi deneylerinden alınan ortalama hasar çapı değerlerinin karşılaştırılması grafiği

Şekil 7.9 ve Şekil 7.10 yorumlandığında;

- Dolu tanesi benzer hıza yani benzer çarpma enerjisine sahipken sandviç tekstil serilmiş araç sacı numunelerinde çıplak bırakılan numunelere göre daha az hasar görmüştür.
- Dolu tanesi benzer hıza yani benzer çarpma enerjisine sahipken kullanılan sandviç tekstil malzeme türünün kalınlığı arttıkça koruyuculuğu artmaktadır.
- Dolu tanesi hızı arttıkça hasar miktarı derinlik ve çap açısından artmaktadır.
- Deney numunesi olarak kullanılan sandviç tekstil malzemelerden 30mm çapındaki dolu tanesine karşı tamamen koruyuculuk sağlayan kumaşa rastlanılmamıştır.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1 Sonuçlar

Araçların en çok hasar aldığı doğal afetlerden biri dolu yağışlarıdır. Dolu yağışlarını önlemek eldeki teknolojiyle mümkün olmasa da bu yağışlardan otomobilleri korumak mümkündür. Araçları korumak için hazırlanmak istenen ekipmanlardan birisi de sandviç tekstil ürünüdür. Tez içinde bu ürünlerin hangisinin en iyi performansa sahip olduğunu test edebilmek için dolu yağışını simüle eden bir test düzeneği hazırlanmıştır. Hazırlanan test düzeneğinde deney yapabilmek için yapay dolu tanesi üretimi yapılmıştır.

Özel üretilen PVA eklenmiş dolu tanesinin sadece su ile hazırlanan dolu tanesine göre çok daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Su ile hazırlanan yapay dolu tanelerinin yüksek çarpma enerjisine dayanamayıp paramparça olduğu görülürken PVA eklenmiş dolu tanelerinin bu çarpma enerjisine dayanarak çoğunlukla sağlam kaldığı görülmüştür. Çarpma enerjisine dayanarak sağlam kalabilen dolu taneleri sayesinde deneyler tamamlanabilmiştir.

Test düzeneği 25mm, 30mm ve 45mm çaplarındaki dolu taneleri ile denenmiş doğadaki etkilerine benzer etkiler gösterebildiği görülmüştür. Doğada görülen yağışlarda bu çaplara sahip dolu tanelerinin sahip olduğu hızları cihazın sağlayabildiği testlerle kanıtlanmıştır. Cihaza eklenmiş olan regülatör sayesinde farklı hava basınçları sağlanabilmiş ve doğada farklı hız aralıklarında bulunan 25, 30 ve 45mm çapındaki dolu tanelerinin hızları tek bir cihaz ile sağlanabilmiştir.

Deneyler 25mm ve 30mm çaplarındaki yapay dolu taneleri ile farklı kalınlıktaki özel kumaşlar üzerinde gerçek otomobil sacı ile denenmiş, sonuçları kaydedilmiştir. PET malzeme yapısına sahip 7, 9 ve 11 mm kalınlığındaki sandviç tekstil kumaşların her biriyle ayrı ayrı 25mm çapındaki dolu tanesi kullanılarak 10'ar adet, 30mm

apındaki dolu tanesi kullanarak 10'ar adet deney yapılmıştır. Bunların yanında 25mm ve 30mm çapındaki dolu taneleri kullanarak 10'ar adet daha örtüsüz araç sacı ile deneyler yapılmış ve çıkan sonuçlara göre hangi kumaşın örtüsüz haline göre ne kadar koruyuculuk sağladığı görülmüştür. rtsz olan sac numunesi diğer tüm örtülü numunelere kıyasla aynı çaplardaki dolu tanesinden en çok hasar görmüştür. Deneylerde kullanılan kumaşların hepsinin koruyuculuk performansı gösterdiği görülmüştür. En iyi koruyuculuk performansı gösterenin en kalın olan kumaş olan 11mm kalınlığındaki kumaş olduğu görülmüştür. Deneylerde kullanılan benzer yapıya sahip farklı kalınlıklarda olan kumaşların kumaş kalınlığı arttığa koruyuculuk performansının arttığı görülmektedir. Deneylerde kullanılan kumaşların hiçbirinin 25mm ve üzerindeki yağışlarda %100 koruyuculuk sağlayamadığı, tamamında deney sonrası araç sacı üzerinde hasarın olduğu görülmüştür. Bu sebeple deneylerde kullanılan kumaşların dolu yağışlarına karşı geliştirilmesi gerektiği veya farklı kumaşlar denenerek en uygun kumaşın deneyler yapılarak araştırılmaya devam edilmesi gerektiği söylenilebilir.

Dolu tanesinin hızının arttığa enerjisinin de arttığı ve bu sayede araç sacına verdiği hasarın miktarının arttığı ölçümlerle kanıtlanmıştır. Yapılan deneylerde; 25mm çapa sahip bir dolu tanesinin şekillendirilmemiş bir araç sacına 1,2mm derinliğinde ve ortalama 34,5mm çapında oyuğa benzer şekilde hasar verebildiği, 30mm çapa sahip bir dolu tanesinin şekillendirilmemiş bir araç sacına 2mm derinliğinde ve ortalama 50,5mm çapında dairesel, oyuğa benzer şekilde hasar verebildiği görülmüştür.

8.2 Gelecekteki alışmalar İçin neriler

- Deneyler 25mm, 30mm çapındaki yapay dolu taneleri ile uygulanmıştır. Kumaşın koruyuculuk özelliğinin daha da detaylandırılabilmesi için farklı çaplardaki dolu taneleri ile çalışmalar gelecekte yapılabilir.
- Tez sadece 3 çeşit kumaşla sınırlandırılarak hazırlanmıştır. Farklı tip kumaşlar üzerinde de çalışmalar yapmak araç koruyucusu olmaya uygun kumaşı seçerken daha nitelikli sonuçlar doğuracaktır.

- Araç sacı numunesi şekillendirilmemiş ham haldeyken deney çalışmaları yapılmıştır. Gerçek bir araç kaportası üzerinde çalışmalar yapmak kumaş koruyuculuk performansı üzerine daha detaylı sonuçlar verebilir.
- Daha detaylı koruma performansı sonucu için boyalı araç sacı üzerinde deneyler yapıp sonuçlara boya kalınlığının değişim miktarına dair bir bölüm eklenebilir.



KAYNAKLAR

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2010). Standard test method for hail impact resistance of aerospace transparent enclosures.

Appleby-Thomas, G. J., Hazell, P. J., ve Dahini, G. (2011). On the response of two commercially-important CFRP structures to multiple ice impacts. *Composite Structures*, 93(10), 2619-2627.

Approvals, F. M. (2005). Specification test standard for impact resistance testing of rigid roofing materials by impacting with freezer ice balls (FM 4473). *FM Approvals, West Gloucester, RI*, 10.

Armakan, D. M., ve Roye, A. (2009). A study on the compression behavior of spacer fabrics designed for concrete applications. *Fibers and Polymers*, 10(1), 116-123.

Asayesh, A., Ehsanpour, S., ve Latifi, M. (2019). Prototyping and analyzing physical properties of Weft knitted spacer fabrics as a substitute for wound dressings. *The Journal of The Textile Institute*.

Askari, A., Nelson, K., Weckner, O., Xu, J., ve Silling, S. (2011). Hail impact characteristics of a hybrid material by advanced analysis techniques and testing. *Journal of Aerospace Engineering*, 24(2), 210-217.

Auer, A. H. (1972). Distribution of graupel and hail with size. *Monthly Weather Review*, 100(5), 325-328.

Baltex. (2022, Temmuz 10). *3XD Spacer the 3D Spacer Fabric*.
<https://www.baltex.co.uk/spacerfabrics/>

Bennett, P. J., Staebler, J., ve Stoll, S. C. (2015). Hail Impact Testing of Masonite Shingles. In *Forensic Engineering 2015* (pp. 242-253).

Ceylan, A. (2007). *Meteoroloji karakterli bir afet: Türkiye’de dolu yağışları ve zararları* [Doktora Tezi]. Ankara Üniversitesi.

Chang, Y., ve Ma, P. (2019). Energy absorption and Poisson's ratio of warp-knitted spacer fabrics under uniaxial tension. *Textile Research Journal*, 89(6), 903-913.

Chen, F., Hu, H., ve Liu, Y. (2015). Development of weft-knitted spacer fabrics with negative stiffness effect in a special range of compression displacement. *Textile Research Journal*, 85(16), 1720-1731.

Cnn Türk. (06 Ağustos 2017). *İstanbul'da dolunun faturası 1 milyar TL'yi buldu* <https://web.archive.org/web/20170807044233/https://www.cnnturk.com/otomobil/istanbulda-dolunun-faturasi-1-milyar-tlyi-buldu>

Demirören Haber Ajansı. (30 Eylül 2020). *Dolu nedeniyle hasar alan araçların sahipleri oto sanayilerine akın etti.* <https://www.haberler.com/ekonomi/dolu-nedeniyle-hasar-alan-araclarin-sahipleri-oto-13636342-haberi/>

Devereaux, C. (2012). Protective vehicle cover. [Patent]. Patent No: US 8,146,984 B2. *United States*.

Douglas, J., S. (2012). Protective and decorative ornament for a vehicle. [Patent]. Patent No: US 8,216,650 B2. *United States*.

Flüeler, P., Stucki, M., Guastala, F., ve Egli, T. (2008, May). Hail impact resistance of building materials testing, evaluation and classification. In *11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components ISTANBUL. Turkey: Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.*

Hunt, G., R. (2009). Automobile hail auto, pick-up, suv, and rv cover to help prevent damage vehicles during hail storms. [Patent]. Patent No: US 2009/0108624 A1. *United States.*

Kısa, V. (2018). *Tarım Sigortalarında Dolu Riskinin Kümelenmesi ve Toplam Hasar Dağılımının Hızlı Fourier Dönüşümü ile Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi.

Liu, C., Deng, X., Liu, J., Peng, T., Yang, S., ve Zheng, Z. (2020). Dynamic response of saddle membrane structure under hail impact. *Engineering Structures*, 214, 110597.

Liu, Y., ve Hu, H. (2011). Compression property and air permeability of weft-knitted spacer fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 102(4), 366-372.

Liu, Y., ve Hu, H. (2015). Compressive mechanics of warp-knitted spacer fabrics. Part II: a dynamic model. *Textile Research Journal*, 85(19), 2020-2029.

McNaughton, I. I., ve Chisman, S. W. (1940). *A study of hail impact at high speed on light alloy plates*. Naval Air Warfare Center Aircraft Div Trenton NJ.

Mehmet, U. Z., YILMAZ, G., ve BİRCAN, T. (2017). Hasarı gerçekçi şekilde simüle eden dolu yapımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(2), 411-423.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2022, Temmuz 09). *Dolu*.
<https://www.mgm.gov.tr/arastirma/dogal-afetler.aspx?s=dolu>

Miller, D. W. (1980). *Simulated hail test facility* (No. SAND79-1114). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).

Mumcu, İ. (2004). *Tarımsal üretimde tarım sigortalarının yeri ve önemi*. [Yüksek Lisans Tezi]. Trakya Üniversitesi.

Perera, S., Lam, N., Pathirana, M., Zhang, L., Ruan, D., ve Gad, E. (2018). Probabilistic modelling of forces of hail. *Natural hazards*, 91(1), 133-153.

Rhymer, J. D. (2012). *Force criterion prediction of damage for carbon/epoxy composite panels impacted by high velocity ice*. University of California

Sızar, M. D. (2022). *Suni dolu yapımı ve çelik paneller üzerinde çarpma etkisinin araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi]. Adnan Menderes Üniversitesi.

Tanrıöver, Ş. T. (2016). *Climatologies of severe convective storms in Turkey, their environments, and their impacts*. [Doktora Tezi]. Istanbul Technical University.

Tellez, R. (2008). Inflatable apparatus for covering a vehicle. [Patent]. Patent No: US 7,360,820 B2. *United States*.

Tippmann, J. D. (2011). *Development of a strain rate sensitive ice material model for hail ice impact simulation*. University of California

Türk Dil Kurumu (TDK). *Dolu*. Güncel Türkçe sözlük. 9 Temmuz 2022.
sozluk.gov.tr?kelime=dolu

Uz, M. E. (2019). Examining Dent Formation Caused by Hailstone Impact. *Shock and Vibration*, 2019. <https://www.hindawi.com/journals/sv/2019/6175206/>

Wang, J. (2014). Vehicle hail protective cover. [Patent]. Patent No: US
2014/0312647 A1. *United States*.

Wang, Z., Hu, H., ve Xiao, X. (2014). Deformation behaviors of three-dimensional auxetic spacer fabrics. *Textile research journal*, 84(13), 1361-1372.

Zhao, J. T., Wang, J. A., Zhao, D. S., Yin, Y. Y., ve Ma, J. (2011, November). The risk assessment of urban hail damage on automobiles in China. In *Proceedings of International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)* (pp. 444-450). IEEE.