



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BARET ÜRETİMİNDE KULLANILAN CAM FİBER MALZEMEDE
İSTİFLEME AÇISININ DARBE DAYANIMINA ETKİSİNİN İŞ
SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Hakan KARAKAYA

**Ocak-2025
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BARET ÜRETİMİNDE KULLANILAN CAM FİBER MALZEMEDE
İSTİFLEME AÇISININ DARBE DAYANIMINA ETKİSİNİN İŞ
SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Hakan KARAKAYA

**Danışman
Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK**

Diğer Jüri Yeleri

Doç. Dr. Yahya TAŞGIN

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

**Ocak-2025
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Hakan KARAKAYA tarafından hazırlanan “Baret Üretiminde Kullanılan Cam Fiber Malzemede İstifleme Açısının Darbe Dayanımına Etkisinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İncelenmesi” adlı tez çalışması 16/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Danışman

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Üye

Doç. Dr. Yahya TAŞGIN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Hakan KARAKAYA
Tarih: 16.01.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BARET ÜRETİMİNDE KULLANILAN CAM FİBER MALZEMEDE İSTİFLEME AÇISININ DARBE DAYANIMINA ETKİSİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Hakan KARAKAYA

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2025, 51 Sayfa

İş Sağlığı ve Güvenliği alanında sağlık ve güvenlik riskine karşı kişisel koruyucu donanımlar kullanılmaktadır. Koruyucu başlıklar, eldiven, maske, kulaklık, gözlük vb. aletler bunlardan bazılarıdır. İnsanların başını, yüksekten düşen cisimlere veya oluşabilecek kazalarda meydana gelebilecek darbelere karşı koruyan baret ve kask gibi ekipmanlar, en yaygın kullanılan kişisel koruyucu donanımlar arasındadır.

Baret ve kasklar genellikle PE, ABS, YYPE veya sertleştirilmiş fiberglas malzemeden yapılmaktadır. Bu çalışmada ise cam fiber malzeme kullanılarak farklı istifleme açılarında ve diziliminde üretilen malzemenin darbe dayanımı direnci ve baret olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Farklı ölçülerde üretilen numuneler için ağırlık düşürme testi ve Charpy darbe deneyi uygulanmıştır. 20 J ve 40 J için yapılan ağırlık düşürme testlerinde maksimum kuvvet, emilen enerji ve maksimum yer değiştirme değerleri belirlenerek, zamana bağlı grafikler çizilmiş ve detaylı analizler sunulmuştur. Ayrıca darbe düşürme deneyi sonrasında numunelerin ön ve arka yüzündeki alanlar hesaplanarak deformasyon dirençleri belirlenmiştir. Bunlara ilaveten Charpy darbe deneyi ile numunelerin yatay ve dikey olması durumunda darbe sönümleme kapasiteleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak istifleme açıları ve dizilimlerinin, malzemenin elastik ve plastik deformasyon bölgeleri, tepe kuvvetleri ve kırılma davranışları ile enerji tutma kapasiteleri üzerinde etkin olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cam Fiber, Darbe Dayanımı, Endüstriyel Baretler, İstifleme Açısı, İş Sağlığı ve Güvenliği, Kompozit Malzemeler.

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF STACKING ANGLE ON IMPACT RESISTANCE IN GLASS FIBER MATERIALS USED IN SAFETY HELMET PRODUCTION IN TERMS OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY

Hakan KARAKAYA

Batman University Graduate Education Institute

Department of Occupation Health and Safety

Advisor: Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2025, 51 Pages

In the field of Occupational Health and Safety, personal protective equipment is utilized to mitigate health and safety risks. Protective helmets, gloves, masks, earplugs, goggles, and similar tools are among the common personal protective equipment. Helmets and hard hats, which protect the head from falling objects or impacts in potential accidents, are some of the most widely used personal protective equipment.

Hard hats and helmets are typically made from materials such as PE, ABS, HDPE, or hardened fiberglass. In this study, however, the impact resistance and usability of materials produced with glass fiber at different stacking angles and configurations as hard hats were investigated. Drop weight tests and Charpy impact tests were performed on samples produced in various dimensions. During the drop weight tests conducted at 20 J and 40 J, maximum force, absorbed energy, and maximum displacement values were determined. Time-dependent graphs were plotted, and detailed analyses were provided. Additionally, after the drop weight tests, the front and back surface areas of the samples were measured to determine deformation resistance. Furthermore, the Charpy impact test was employed to evaluate the impact-damping capacity of the samples in both horizontal and vertical orientations.

As a result, it was found that stacking angles and configurations significantly influence the elastic and plastic deformation regions, peak forces, fracture behaviors, and energy absorption capacities of the material.

Keywords: Glass Fiber, Impact Resistance, Industrial Helmets, Stacking Angle, Occupational Health and Safety, Composite Materials.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, baret üretiminde kullanılan cam fiber malzemede istifleme açısının darbe dayanımına etkisinin iş sağlığı ve güvenliği açısından incelemesi amaçlanmaktadır. Günümüz endüstriyel ortamlarında, iş sağlığı ve güvenliği, işçilerin korunması ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi açısından büyük bir önem taşımaktadır. Baretler, işçilerin başlarını olası darbe ve çarpma tehlikelerine karşı koruyan en kritik kişisel koruyucu donanımlardan biridir.

Cam fiber malzemesi, baret üretiminde yaygın olarak kullanılan ve baretin genel koruyuculuğunu belirleyen başlıca faktörlerden biri olan dayanıklılık ve darbe direnci açısından kritik öneme sahiptir. Cam fiber malzeme kullanılarak üretilen baretlerin darbe dayanımının artırılması, daha güvenli ve dayanıklı baretlerin üretilmesine katkıda bulunmak için gereklidir. Bu bağlamda, cam fiber malzemelerin farklı istifleme açıları altında nasıl davrandığını ve bu davranışların darbe dayanımını nasıl etkilediğini kapsamlı bir şekilde analiz etmek amacıyla bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamız, iş güvenliği standartlarını geliştirmek ve baret üretiminde yenilikçi yaklaşımlar sunmak adına önemli bir katkı sağlamayı amaçlanmaktadır. Tezin hazırlanması sürecinde, değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan danışman hocam Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK başta olmak üzere, araştırma sırasında desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Serkan BATI'ya teşekkür ederim. Ayrıca, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkıda bulunan aileme ve arkadaşlarıma sonsuz minnettarlığımı sunarım.

Bu tezin, iş sağlığı ve güvenliği alanında çalışanlar için değerli bir kaynak olmasını ve baret üretimi konusunda gelecekte yapılacak daha ileri araştırmalara ilham vermesini temenni ediyorum.

Hakan KARAKAYA
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi	4
1.2. Baretler ve Kasklar	5
1.2.1. Baret ve kask yapımında kullanılan malzemeler	7
1.2.2. Baret ve kaskların kullanım alanları	7
1.2.3. Endüstriyel baretlerin yapısı	8
1.2.3.1. Baretlerde havalandırma tasarımı ve uygunluk	9
1.2.3.2. Baretin malzeme ve tasarım güvenliği.....	10
1.2.3.3. Baretlerin sıcaklık dayanımına göre seçimi	10
1.2.3.4. Baretlerin elektriksel iletkenliğe göre seçimi	10
1.2.4. Baretlerin bakım ve kullanım talimatları	10
1.2.5. Baret modelleri	11
1.2.6. Baret ve kask standartları.....	12
1.2.6.1. Baş koruyucu donanımlar ve standartları	13
1.2.6.2. Baş koruyucuların üzerinde bulunması gereken bilgiler	15
1.2.6.3. Baret renk anlamları.....	16
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	27
3.2. Üretimde Tercih Edilen İstifleme Açıları	28
3.3. Kompozit Malzemelerin Üretimi	31
3.4. Ağırlık Düşürme Deneyinin Yapılışı	32
3.5. Charpy Darbe Deneyinin Yapılışı.....	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Ağırlık Düşürme Deneyi Bulguları.....	35
4.2. Charpy Darbe Deneyi Bulguları	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
5.1. Sonuçlar	46

5.2 Öneriler	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Baret ve kask için kullanılan malzemeler ve özellikleri	7
Tablo 3.1. Fiber malzemelerin istifleme açlarına bağlı dizilimi	30
Tablo 4.1. Ağırlık düşürme deneyi sonuçları.....	35
Tablo 4.2. Ağırlık düşürme deneyi sonrası numuneler üzerinde oluşan yüzey alanı	41
Tablo 4.3. Ön ve arka deformasyon yükseklikleri	43



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Baretin kısımları	9
Şekil 1.2. Baret modelleri	12
Şekil 1.3. Baret üretim bilgisi görseli	16
Şekil 1.4. Elektriksel yalıtım piktogramı	16
Şekil 1.5. Baret renkleri	17
Şekil 3.1. Cam fiber malzeme	27
Şekil 3.2. Epoksi set (ARC 152 reçine ve W 152 sertleştirici)	28
Şekil 3.3. Farklı açılarda kesilen cam fiber malzeme	29
Şekil 3.4. İstifleme düzeninin sembolik gösterimi	30
Şekil 3.5. El yatırma yöntemi ile kompozit üretimi	31
Şekil 3.6. Ağırlık düşürme deneyi için hazırlanan numuneler	32
Şekil 3.7. Ağırlık düşürme deney düzeneği.....	33
Şekil 3.8. Charpy darbe deneyi için hazırlanan numuneler	33
Şekil 3.9. Charpy darbe deneyi deney düzeneği.....	34
Şekil 3.10. Charpy darbe deneyi için numunelerin bağlanma şekilleri	34
Şekil 4.1. 20 J energy-zaman grafiği	36
Şekil 4.2. 20 J için kuvvet-zaman grafiği	37
Şekil 4.3. 20 J için kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	37
Şekil 4.4. 40 J için enerji-zaman grafiği	38
Şekil 4.5. 40 J için kuvvet-zaman grafiği	39
Şekil 4.6. 40 J için kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	40
Şekil 4.7. Numune yüzeylerinde oluşan deformasyon görüntüleri	42
Şekil 4.8. Numune ön ve arkasında oluşan deformasyonun ölçümü.....	43
Şekil 4.9. Numunelerin yatay ve dikey olması durumunda darbe enerjisi değişimi	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E_A	: Emilen Enerji (J)
F_{mak}	: Maksimum Kuvvet (N)
Y_{mak}	: Maksimum Yer Değiştirme (mm)

Kısaltmalar

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
CFT	: Cam Fiber Takviyeli
D	: Dizilim
ILO	: Uluslararası Çalışma Örgütü
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KFT	: Karbon Fiber Takviyeli
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PU	: Poliüretan
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
T	: Tabaka
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

1. GİRİŞ

Dördüncü Sanayi Devrimi'nin iş sağlığı ve güvenliği (İSG) üzerindeki etkisinin anlaşılması için yapılan araştırmalar, iş dünyasının ve toplumun bu alandaki bilgi birikimini artırmak için önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmalar, işyerlerindeki güvenlik standartlarının iyileştirilmesine ve işçilerin sağlığının korunmasına yönelik daha etkili stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Dördüncü Sanayi Devrimi, işçilerin sağlık ve güvenliğinin yeni ekonomik ve kurumsal ortama uyum sağlamasını gerektirmektedir. Bu stratejik ve organizasyonel uyum süreci, istenmeyen olayları önceden tahmin etmek ve önleyici karar almayı kolaylaştırmak için temel bir araç olarak İSG alanında araştırma, geliştirme ve yenilikçiliği gerektirir. Dördüncü Sanayi Devrimi'nin İSG alanındaki etkisi üzerine yapılan akademik çalışmalar, bu alanda yeni çözümler geliştirmek için araştırma ve geliştirmenin (Ar-Ge'nin) önemini vurgulamaktadır. İSG önlemlerinin işçilerin sağlığını korumak ve iş kazalarını önlemek için daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, İSG faaliyetleri, işyerlerindeki güvenlik standartlarını artırmak ve iş kazalarını azaltmak için önemli bir role sahiptir (Torrecilla-García ve ark., 2021).

İSG yönetimine dair çalışmalar, geçmiş dönemlerde belirli konulara odaklanarak kümelenme eğilimi göstermiştir. Örneğin, politika ve uygulama, bireysel özellikler ve sosyal ilişkiler, yaralanma ve kaza, yönetim kontrolü ve endüstriyel ilişkilere yönelik araştırmalar yapılmıştır. Ancak, İSG alanında uzmanlık artmış ve bu da gerçek dünya problemlerine pratik çözümler sunmayı amaçlayan öğrenci ve uygulayıcılar arasında daha pragmatik bir odaklanma doğurmuştur (Zanko ve Dawson, 2012).

İSG, endüstriyel güvenlik, sağlık hizmetleri ve çevre koruma gibi alanlarda güvenlik ve risk yönetimiyle ilgili olan yaralanma, hastalık, ölüm veya çevreye, mülke ve ekipmana zarar verme potansiyeli olan herhangi bir olgu tehlike olarak görülür (Gul ve Ak, 2018). Günümüzde, tehlike en çok endüstriyel kazalar ve bisiklet sürme ile ilgili olarak karşımıza çıkmakta olup, düşme, tökezleme ve çarpma gibi etmenlerden kaynaklanmaktadır ve ciddi sosyal ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Kim ve ark., 2019).

Endüstriyel alanda düşen cisimlere karşı birincil koruma aracı baretlerdir. Endüstriyel alanlarda, işçilerin kafa yaralanmalarına karşı kişisel koruyucu ekipman olarak kullandığı baretler, düşen nesnelerin neden olduğu ciddi hatta ölümcül yaralanmaları önleme açısından kritik bir rol oynamaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü tarafından yayınlanan bir araştırmaya göre, her yıl yaklaşık 48.000 işçi iş kazalarında yaşamını yitirmekte olup, bu kazaların en yaygın nedeni düşen cisimlerdir (Muthukumar ve ark., 2022).

Diğer taraftan rekreasyon, egzersiz, işe gidip gelme ve çevre dostu aktiviteler için kullanılan bisiklet çok popüler bir ulaşım aracıdır ve iki milyardan fazla bisikletin kullanıldığı ve kullanımının teşvik edildiği belirtilmiştir (Bhudolia ve ark., 2021; Leng ve ark., 2022). Bisiklet kullanırken bildirilen ölümlerin ve kalıcı sakatlıkların yarısı, kazalar sırasında meydana gelen ciddi kafa yaralanmalarından kaynaklanmaktadır (Bhudolia ve ark., 2021; Gohel ve ark., 2021). Ayrıca, beyin sarsıntısı ve kafatası kırıkları gibi travmatik kafa yaralanmaları da önemli sorunlar arasında yer almaktadır (Bhudolia ve ark., 2021; Gohel ve ark., 2021). Kafa travması, acil servislerdeki tedavilerin üçte birine ve ölümlerin dörtte üçüne sebebiyet verdiği için en fazla endişe duyulan tipik sorundur. Özellikle “sessiz salgın” olarak bilinen travmatik beyin hasarı, insanı düşünme, duygu, duyum vb. açısından gecikmiş bir şekilde etkileyebilmektedir. Bu durum hastaların yaşam kalitesi kaybına da neden olduğu gibi tedavi maliyetlerinin de artmasına neden olmaktadır (Leng ve ark., 2022).

Baret veya kask gibi koruyucu ekipman kullanımı, kaza sırasında yaralanmaları ve ölüm oranlarını önlemek ve azaltmak için kritik ve belirleyici bir rol oynamaktadır (Bhudolia ve ark., 2021; Gohel ve ark., 2021). Bu nedenle endüstriyel alanlarda kullanılan baretler, düşen nesnelerin neden olduğu zararlara karşı çalışanları korumak için kullanılırken, bisiklet sürerken takılan kasklar ise düşme sonucu başa gelebilecek darbeleri azaltmak ve önlemek için kullanılan ana koruma kaynakları olarak hizmet ederler (Dhinakaran ve ark., 2020).

Endüstriyel alanda kullanılan koruyucu ekipmanlar ve rekreasyon, egzersiz, işe gidip gelme ve çevre dostu aktiviteler için kullanılan bisiklet kasklarının dış kabuğu polietilen (PE), polikarbonat (PC), polipropilen (PP), poliüretan (PU), akrilonitril bütadien stiren (ABS) gibi polimer malzemelerden üretilirler. Üretilen bu malzemelerin şokları emme kapasiteleri iyidir, göreceli olarak yüksek bir ısı direncine sahiptirler ve kısmen ağırdırlar (Kim ve ark., 2019; Gohel ve ark., 2021). Artan boyut ve ağırlık, kullanıcının baş ve boynuna zarar verme tehlikesini artırır ve kask takmayı son derece

rahatsız hale getirir (Gaur ve ark., 2023). Endüstriyel güvenlik baretlerinin kullanımı sırasında ortaya çıkan termal rahatsızlık ve ağırlık gibi çeşitli zorlukların ortadan kaldırılması ve darbeye bağlı enerjinin maksimum düzeyde emilmesi ve kullanıcının kafasına aktarılan kuvvetin en aza indirmesi için yeni tasarımlar, fonksiyonel veya doğal kompozit malzeme kullanımı üzerine sürekli olarak gelişmeler yaşanmış ve basit üretim yöntemleriyle hafif, performanslı ve güvenlik açısından yeni baret malzemelerin geliştirilmesine yönelik çabalar aktif bir şekilde yürütülmektedir (Gohel ve ark., 2021; Shankar ve ark., 2021; Muthukumar ve ark., 2022). Bazı araştırmacılar, baret veya kask malzeme kalitesini artırmak ve şok emme yeteneklerini geliştirmek için polimerler, doğal lifler ve kompozit malzemeler gibi ileri teknoloji malzemelerini kullanarak çalışmaktadırlar (Dhinakaran ve ark., 2020).

Polimer kompozit malzemeler; düşük ağırlık, yüksek mukavemet, iyi ısı direnci, estetik ve ergonomik özelliklerinden dolayı polimer malzemelerden daha üstündür (Kim ve ark., 2019; Ragupathi ve ark., 2023). Bu yüzden baret veya kaskın sert dış kabuğunda cam fiber takviyeli (CFT) ve karbon fiber takviyeli (KFT) kompozit gibi fiberle güçlendirilmiş polimer kompozitler daha iyi koruma için ABS, PU ve PC gibi geleneksel termoplastik kabuklara alternatif olarak kullanılmaktadırlar. İleri düzey baret veya kasklarda ise genellikle Kevlar ve hibrit fiberler gibi diğer lif türleri kullanılarak üretilen polimer kompozitler tercih edilmektedir. Böylece koruyucu ekipman hem daha hafif olmakta hem de daha sağlam hale gelerek dışarıdan gelen darbe enerjisini düşürmekte ve kafa yaralanmalarını azaltmaktadır (Kim ve ark., 2019; Bhudolia ve ark., 2021; Gohel ve ark., 2021; Ragupathi ve ark., 2023). Ancak sentetik fiber takviyeli kompozitler kullanılarak üretilen baret veya kaskların maliyeti yüksektir (Bhudolia ve ark., 2021). Bunlar arasında cam fiber daha ekonomiktir.

Cam fiber, özellikle silikadan (SiO_2) oluşan yapay bir elyaf türüdür ve yüksek mukavemeti, sertliği, ısıya ve kimyasallara karşı direnci ve kararlılık gibi özellikleri ile tanınmaktadır (Karthick ve ark., 2023). Sınırsız tedarikte bulunan ham maddelerden kolayca üretilebilirler. Düşük maliyeti, yüksek çekme mukavemeti, yüksek darbe direnci ve iyi kimyasal kararlılığı nedeniyle çok çeşitli ve özel amaçlı ürünlerin imalatında kullanılmaktadır (Wallenberger, 2001; Sheikh-Ahmad, 2009). Diğer fiber takviyeli kompozitlerde olduğu gibi CFT kompozitlerde de kompoziti oluşturan fazların (matris fazı ve takviye fazı) her birinin kendine özgü fiziksel görünümü ve kimyasal yapısı vardır. Bir matris fazının temel amacı, takviyenin bağımsız ve sabit bir konumda kalmasını sağlamak ve takviyeyi dış ortamdan korumaktır. Buna karşılık, takviye fazının temel

amacı ise yük taşıyan bileşenler olarak hizmet etmeleridir (Kanok ve ark., 2023). CFT kompozit baretlerde fiber kırılması modu ile emilen enerji, termoplastik baretlerdeki burulma veya plastik deformasyon tarafından emilen enerjiden önemli ölçüde daha iyidir. Bir başka önemli avantajlarından biri ise sertlikleridir. Sertlik, genellikle koruyucu kaskın dinamik davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kompozit kabuğun deformasyonu, termoplastik kabuğun deformasyonundan daha az olduğundan, bir darbe durumunda daha yüksek darbe kuvvetlerine dayanabilirler (Bhudolia ve ark., 2021).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

İSG alanında kullanılan baretler, vücudun baş kısmını korumak amacıyla geliştirilmiş bir koruyucu ekipmandır. Bu giysi, çalışan güvenliği açısından son derece kritik bir role sahiptir ve kask modeli prensiplerine dayanmaktadır. Baretler, başın çeşitli risklere karşı korunmasını sağlar, özellikle de başa yönelik darbeler, yukarıdan düşen objeler, düşmelerden kaynaklanan olası baş yaralanmaları gibi durumlarda etkili bir koruma sağlar. Ayrıca, baretler, yağmur, soğuk hava ve elektrik çarpmaları gibi çeşitli çevresel etkenlere karşı da koruma özellikleri sunmaktadır. Bu özellikleriyle baretler, işyerlerinde çalışanların güvenliğini arttırmak ve potansiyel tehlikelere karşı koruma sağlamak için önemli bir rol oynamaktadır (Anonim, 2023a).

Modern çağda, baretler genellikle ABS ve PE gibi polimer malzemelerden üretilbildiği gibi, kullanım amacına bağlı olarak zırh çeliği, kevlar ve cam fiber gibi malzemelerden de üretilbilmektedir. Bu çeşitlilik, baretlerin malzeme özellikleri ve dayanıklılığı açısından farklı gereksinimlere uygun olarak tasarlanabilmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle, iş güvenliği standartlarını karşılamak ve potansiyel baş yaralanmalarını önlemek amacıyla baretlerin kesinlikle kullanılması gerekmektedir (Anonim, 2023a).

02.07.2013 tarihli ve 28695 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik”, baş koruyucularının kullanımını düzenleyen önemli bir düzenlemeyi içermektedir. Bu yönetmeliğin 8. maddesi ve Kişisel Koruyucu Donanım Listesi başlıklı 2 numaralı ekin 1 numaralı maddesi, işverenlerin, işyerlerinde çalışanların güvenliğini sağlamak amacıyla gerektiğinde temin edecekleri baş koruyucularına geniş bir şekilde yer vermektedir. Söz konusu madde ve ek, işverenlere belirli durumlarda çalışanların başlarını korumak için uygun baş koruyucularını sağlama yükümlülüğünü getirmekte ve aynı zamanda belirli

standartlara uygunluğunu da içermektedir. Bu düzenleme, İSG standartlarına uygun olarak baş koruyucu kullanımının teşvik edilmesi ve işyerlerindeki potansiyel risklerin azaltılması amacıyla önemli bir adımı temsil etmektedir (Anonim, 2023b).

Bu bilgiler ışığında, baretlerin iş sağlığı ve güvenliğinde kritik bir rol oynadığı ve kullanım alanına bağlı olarak belirli şartları karşılaması gerektiği açıkça görülmektedir. Bu bağlamda baret veya kask yapımında farklı fiberler ve matris malzemeleri kullanılarak üretimler yapılmış ve darbe dayanımları ve enerji emme özellikleri incelenmiştir. Baret veya kask üretiminde cam fiberlere ilaveten cam fiberlerle birlikte doğal fiberlerin birlikte kullanımı üzerine çalışmaların yoğunlaştığı, ancak yapılan çalışmalarda istifleme açısının darbe dayanımına etkisi üzerinde eksikliklerin olduğu görülmüştür. Bunlara ilaveten ülkemizde baret üretiminde kullanılan malzemelerin İSG açısından değerlendirmesine dair, mekanik, kimyasal, fiziksel ve termal özellikleri içeren herhangi bir akademik tez çalışmasına rastlanmamıştır. Bu bağlamda, bu tez çalışmasının amacı, baret üretiminde kullanılan cam fiber malzemesinde istifleme açısının darbelere karşı olan etkilerini belirlemektir.

1.2. Baretler ve Kasklar

İşyerlerindeki risklerin tespit edilmesi ve bu risklerin kontrol altına alınması, etkili iş sağlığı ve güvenliği politikaları ile prosedürlerinin uygulanmasını gerektirir. İşverenler, çalışanların güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamında bulunmalarını sağlamak amacıyla gerekli tedbirleri almakla yükümlüdür. Bu çerçevede, kişisel koruyucu donanımın (KKD) kullanımı, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının önemli bir bileşeni olarak teşvik edilmelidir. KKD, çalışanları iş ortamındaki potansiyel tehlikelerden korumak amacıyla tasarlanmış ekipmanları ifade eder. Bu ekipmanlar, baş, göz, kulak, solunum yolu ve cilt gibi hassas bölgelerin korunmasını sağlayarak iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesinde kritik bir rol oynar. Örneğin, koruyucu başlıklar, güvenlik gözlükleri, kulaklıklar, solunum maskeleri ve eldivenler, çalışanların karşılaşılabileceği fiziksel, kimyasal veya biyolojik risklere karşı koruma sağlayan temel KKD örnekleridir. KKD kullanımının etkinliği, bu ekipmanların doğru seçimi, düzenli bakımı ve uygun şekilde kullanılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, işverenler ve çalışanlar arasında farkındalık oluşturularak KKD kullanımının işyerindeki güvenlik kültürünün bir parçası haline getirilmesi hedeflenmelidir (Anonim, 2024a).

Endüstriyel faaliyetlerin yoğun olarak gerçekleştirildiği inşaat, madencilik, metalurji ve orman çalışma alanlarında, çalışanların baş yaralanmalarına maruz kalma riski oldukça yüksektir. Bu nedenle, olası iş kazaları sonucu meydana gelebilecek baş bölgesi yaralanmalarını önlemek veya bu yaralanmaların etkilerini minimize etmek amacıyla baş koruyucu donanımların kullanılması önem arz etmektedir. Söz konusu donanımların, ilgili standartlara uygun olması, yapılan işin niteliğine, çalışma ortamına ve mevzuata uygun şekilde seçilmesi elzemdir. Bu bağlamda işaretleme, üretim tarihi, depolama ve kullanım koşulları gibi çeşitli parametreler dikkate alınmalıdır (Anonim, 2024b).

Baş koruyucu donanımlar, iş sahasındaki farklı risk faktörlerine göre çeşitlendirilmektedir. Bunlar;

- **Endüstriyel baretler:** Madenler, inşaat sahaları ve diğer endüstriyel alanlarda kullanılır.
- **Kepler ve boneler:** Saçlı deriyi korumak amacıyla kepler, boneler ve saç fileleri tercih edilir. Ancak darbe başlığı olarak bilinen kepler, sabit sert cisimlere çarpma sonucu oluşabilecek yaralanmalara karşı koruma sağlamak için tasarlanmıştır. Baretlerin sunduğu koruma seviyesini sağlayamadıklarından, baret yerine kullanılmamaktadır. Bu başlıklar, TS EN 812 standardına uygun olmalıdır.
- **Koruyucu başlıklar:** Kumaştan veya su geçirmez malzemelerden üretilmiş başlıklar, gemici başlıkları ve benzerleri bu gruba dahildir (Anonim, 2024b).

Baretler ve kasklar baş koruması sağlayan benzer ekipmanlardır. Baret genellikle daha hafif ve daha esnek bir baş koruması sağlarken, kask daha güçlü bir koruma sunmaktadır. Kasklar genellikle darbelere karşı dirençli kabuklarla donatılmıştır ve iç kısmı ise genellikle yumuşak ve şok emici malzemelerle desteklenmiştir. Bu yapı, başın herhangi bir darbeyi emerek kullanıcının ciddi yaralanmalarını önler (Gaur ve ark., 2023).

Baretler ve kasklar; sivil hayatta eğlence ve rekreasyon amaçlı etkinliklerde, spor alanlarında (tırmanma, paten kayma, buz pateni vb.), riskli iş alanlarında (inşaat sektörü, isyan kontrolü gibi), motosiklet ve bisiklet sürerken sıklıkla kullanılan önemli güvenlik ekipmanlarıdır. Kullanıcının başını darbe, düşme veya çarpma gibi potansiyel tehlikelerden korumak için tasarlanmıştır. Bu nedenle, özellikle spor ve riskli iş alanlarında kullanılan bu ekipmanlar, darbeye karşı dayanıklı yapılarıyla dikkat çekerler (Gaur ve ark., 2023).

1.2.1. Baret ve kask yapımında kullanılan malzemeler

Baret ve kask üretiminde kullanılan en yaygın malzemeler ABS, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), PC ve poliamiddir. Bu malzemelerle üretilen güvenlik baretleri mükemmel darbe direnci, yüksek dayanıklılık gösterir ve enjeksiyonlu kalıplama ile üretimi kolaydır (Dhinakaran ve ark., 2020). Tablo 1.1’de baret yapımında kullanılan malzemeler ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Baret ve kask için kullanılan malzemeler ve özellikleri (Dhinakaran ve ark., 2020)

Malzeme	İsmi		Özellikleri
Plastik	Akrilonitril Bütadien Stiren		İyi Darbe dayanımı
	Polikarbonat		Yüksek çekme mukavemeti
	Yüksek yoğunluklu polietilen		İyi şok emme kapasitesi
	Poliamid 4,6		Boyutsal kararlılık
Kompozit	Matrise Göre	Polimer Matrisli	İyi darbe dayanımı
		Metal Matrisli	İyi sıkıştırma mukavemeti
		Seramik Matrisli	Hafif
	Takviye Elemanına Göre	Cam Fiber Takviyeli	Yüksek mukavemet/ağırlık oranı
		Karbon Fiber	Kolayca temin edilebilir
		Takviyeli	İyi çekme mukavemeti
Fiber	Doğal Fiberler	Kevlar Fiber	İyi çekme mukavemeti
		Takviyeli	Tasarım esnekliği
		İpek Fiber	Mükemmel Darbe Dayanımı
		Jüt Fiber	Çok hafif
	İnsan Yapımı (Sentetik) Fiberler	Kenevir Fiber	Tasarım esnekliği
		Keten Fiber	Ucuza temin edilebilir
		Karbon Fiber	İnanılmaz şok emme kapasitesi
		Cam Fiber	Yüksek sertlik
	Polimer Fiber	Son derece dayanıklı	
	Ryan		

1.2.2. Baret ve kaskların kullanım alanları

1990’lı yıllardan itibaren baret ve kask teknolojisi önemli ölçüde gelişmiş olup, çoğu yüksek dayanıklılığa sahip malzemelerden üretilmektedir. Genel olarak, baretler ve kasklar günümüzde farklı endüstrilerde ve aktivitelerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, baret ve kaskların tasarımı ve malzemeleri sürekli olarak geliştirilmekte ve kullanıcıların güvenliğini artırmak için yeni özellikler eklenmektedir. Bu, baret ve kask öneminin ve yaygınlığının artmasına katkıda bulunmuştur, zira baret ve kasklar sadece başın korunması için değil, aynı zamanda genel güvenlik kültürünün bir parçası olarak da kabul edilmektedir.

Baret ve kasklar, farklı kullanım amaçlarına yönelik çeşitli tarzlarda tasarlanırlar. Tasarımlar, pratik hususlar göz önünde bulundurularak belirlenir. Örneğin, bisikletçilerin kullandığı bir kaskın ana hedefleri arasında aerodinamik performansı artırmak ve etkili bir şekilde havalandırmayı sağlamak bulunur. Bu özellikler, kullanıcının konforunu ve performansını artırmak için tasarlanmıştır ve kullanıcının kafasını, bisiklet sürerken olası darbelerle karşı korumaktır. Bu darbeler genellikle başın yere çarpma sonucu oluşan etkililerdir. Öte yandan, dağcılar için tasarlanmış bir kaskın ana amacı, düşük atalet ve koruma kapasitesinden ödün vermeden kompakt olmasıdır. Bu, dağcının hareket serbestliğini engellemeden başın güvenliğini sağlamak için önemlidir. Diğer yandan, kaya tırmanışı için tasarlanmış bir kask, sadece şiddetli darbelerden değil, aynı zamanda yukarıdan düşen küçük kayalardan veya tırmanma ekipmanları gibi unsurlardan kaynaklanabilecek her türlü potansiyel tehlikeden koruma sağlamalıdır (Gaur ve ark., 2023).

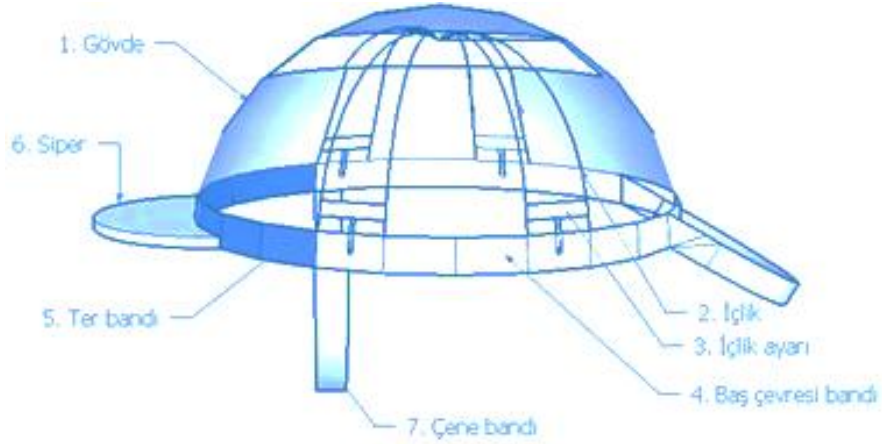
Askeri kullanımda, baretler özellikle hafif plastik ve kompozit malzemelerden üretilir. Bu malzemeler, askeri personelin hareketliliğini ve konforunu sağlarken aynı zamanda etkili koruma sağlar. Modern askeri baretler genellikle balistik koruma sağlamak için tasarlanmıştır, bu da ateşli silahlar veya şarapnel gibi yüksek hızlı nesnelere karşı ekstra koruma sağlar (Gaur ve ark., 2023).

Genel olarak, baret ve kask tasarımı, belirli bir aktivitenin gereksinimlerine ve kullanıcının ihtiyaçlarına göre şekillenir. Her bir türü, kullanım amacına ve fonksiyonu doğrultusunda özel olarak tasarlanmıştır ve kullanıcının güvenliğini en üst düzeye çıkarmak için çeşitli özelliklerle donatılmıştır. Bu, baret veya kaskların etkili ve güvenilir bir koruma sağlamasını sağlar ve kullanıcıların güvenliğini maksimum düzeyde sağlamak için önemli bir faktördür.

1.2.3. Endüstriyel baretlerin yapısı

Endüstriyel baretin temel yapısal bileşenleri, işlevselliği ve ergonomisi açısından belirli bölümlere ayrılmıştır. Bu bölümler; darbe ve yük taşıyıcı rolü üstlenen gövde, başın baret içerisinde sabitlenmesini sağlayan içlik, baş çevresine uygun şekilde ayarlanabilen içlik ayarı, kullanıcı konforunu artıran baş çevresi bandı ve ter bandı, görsel ve fiziksel koruma sunan siper ve baretin güvenli şekilde başta kalmasını sağlayan çene bandından oluşur (Şekil 1.1). Bu yapı elemanlarının her biri, hem kullanıcı güvenliğini artırmak hem de uzun süreli kullanımlarda konfor sağlamak amacıyla özenle

tasarlanmıştır. Endüstriyel baretler, iş ortamındaki risklerin türüne ve seviyesine uygun olarak seçilmeli, düzenli bakım ve kontrolleri yapılarak etkin bir şekilde kullanılmalıdır.



Şekil 1.1. Baretin kısımları (Anonim, 2024b)

Gövde: genellikle PE, ABS, YYPE veya sertleştirilmiş fiberglas malzemeden yapılır. **İçlik ve ayar mekanizması:** Kullanıcı konforunu ve baş korumasını optimize eder. **Siper ve çene bandı:** Baretin stabilitesini ve darbe dayanımını artırır.

TS EN 397+A1 standardı, baretlerin sahip olması gereken zorunlu ve opsiyonel özellikleri tanımlar. Zorunlu testler; çene bandı direnci, darbeye ve delinmeye dayanım ile alev dayanımı gibi parametreleri kapsar. Opsiyonel özellikler ise elektriksel yığılma, yanıl deformasyon, ekstrem sıcaklık dayanımı ve ergimiş metal dayanımı gibi özellikleri içerir.

Opsiyonel testlere uygun baretler, zorlu çalışma ortamlarında tercih edilmelidir. Bu baretlerin özellikleri şunları kapsar:

- Aşırı sıcaklık ve soğuklara dayanıklılık (-20°C, -30°C, +150°C),
- Ergimiş metallerle temas durumunda delinmemeye veya tutuşmama,
- Elektriksel yalıtım yeteneği (maksimum 1,2 mA kaçak akım sınırı),
- Yanıl deformasyona dayanıklılık.

Bu tip baretlerin üzerinde, ek özelliklere dair testlerin yapıldığını ve standartlara uygunluğunu gösteren işaretlemelerin bulunması gereklidir (Anonim, 2024b).

1.2.3.1. Baretlerde havalandırma tasarımı ve uygunluk

Bazı baretler, konforu artırmak amacıyla havalandırma deliklerine sahiptir. Ancak, bu delikler her çalışma ortamına uygun olmayabilir. Örneğin, havalandırmanın

istenmediği ortamlarda deliksiz baretler tercih edilmelidir. Havalandırma tasarımı, taze havanın baretin alt kenarından girmesini ve üstteki deliklerden çıkmasını sağlayacak şekilde optimize edilmelidir (Anonim, 2024b).

1.2.3.2. Baretin malzeme ve tasarım güvenliği

Baretin malzemesi, cilt tahrişine veya sağlığa zararlı etkiler yaratacak maddeler içermemelidir. Keskin kenarlar, pürüzlülükler veya zarar verici çıkıntılar bulunmamalıdır. Ayarlama ve montaj mekanizmaları, kolay ve güvenilir bir şekilde çalışmalıdır (Anonim, 2024b).

1.2.3.3. Baretlerin sıcaklık dayanımına göre seçimi

Normal endüstriyel baretler, -10°C ile $+50^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda kullanıma uygundur. Daha düşük (-20°C , -30°C) veya yüksek ($+150^{\circ}\text{C}$) sıcaklık ortamlarında, bu değere dayanıklı oldukları belirtilmiş baretler tercih edilmelidir. Döküm veya demir-çelik endüstrisi gibi çok yüksek sıcaklıkların bulunduğu alanlarda, üzerinde $+150^{\circ}\text{C}$ ibaresi bulunan özel baretler kullanılmalıdır (Anonim, 2024b).

1.2.3.4. Baretlerin elektriksel iletkenliğe göre seçimi

Alçak gerilim tehlikelerine karşı koruma sağlayan baretlerde “440 VAC” ibaresi bulunmalıdır. Yüksek elektriksel dayanım gerektiren çalışma ortamları için EN 50365 standardına uygun elektriksel olarak yalıtımlı baretler tercih edilmelidir (Anonim, 2024b).

1.2.4. Baretlerin bakım ve kullanım talimatları

Baretlerin ömrünü uzatmak ve performansını korumak için doğru bakım uygulamaları gereklidir. Bunlar;

- Baretin içlik kısmı, bakteri oluşumunu engellemek amacıyla 30 gün aralıklarla temizlenmelidir.

- Baret, orijinal hali korunarak kullanılmalı; boyama, delik açma veya etiket yapıştırma gibi değişikliklerden kaçınılmalıdır.
- İş kazalarından veya elektrik çarpmalarından sonra deforme olmuş baretler mutlaka yenisiyle değiştirilmelidir.
- Baret, doğrudan güneşe maruz bırakılmamalı ve serin bir ortamda muhafaza edilmelidir.
- Paketinden açıldıktan sonra en geç üç yıl içerisinde kullanılmalıdır.

Baret seçimi yapılırken, çalışma ortamının gereklilikleri ve ilgili standartlar dikkate alınmalı; hem mecburi hem de opsiyonel özellikler gözetilerek en uygun baret tercih edilmelidir. Bu, hem kullanıcının güvenliğini hem de konforunu en üst seviyede sağlayacaktır (Anonim, 2024b).

1.2.5. Baret modelleri

İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında baretler, baş korumasının yanı sıra farklı koruyucu ekipmanların entegrasyonu ile çok işlevli hale getirilebilir. Özellikle yüksek düzeyde gürültüye maruz kalınan iş ortamlarında, baretlere monte edilebilen kulak koruyucular, çalışanların işitme sağlığını korumak için etkili bir çözüm sunar. Bunun yanı sıra, farklı iş kollarındaki spesifik gereksinimlere uygun olarak tasarlanmış çok işlevli baret modelleri bulunmaktadır (Şekil1.2).

Kendinden baş koruma ekipmanına entegre edilmiş gözlük veya yüz koruyucu özelliklere sahip baret modelleri, göz ve yüz bölgesini korumak için tasarlanmıştır. Bu modeller, özellikle sıçrama riski taşıyan kimyasal maddelerle veya uçuşan parçacıklarla çalışılan ortamlarda yaygın olarak tercih edilir. Ayrıca, entegre kulak koruyuculu baret modelleri, hem baş hem de kulak korumasını bir arada sağlayarak çok yönlü bir güvenlik çözümü sunar.

Bazı iş kollarında, özellikle düşük aydınlatmalı veya karanlık alanlarda çalışanlar için baretlere monte edilmiş lamba sistemleri büyük önem taşır. Bu tür modeller, baretin üst orta kısmına monte edilen bir lambadan oluşur ve kullanıcının çevresini aydınlatarak hem görüş hem de çalışma güvenliğini artırır. Baretlere entegre edilen bu ek özellikler, çalışanların güvenliğini daha kapsamlı bir şekilde sağlamak amacıyla iş güvenliği ekipmanlarının modüler ve uyarlanabilir yapısını ortaya koymaktadır (Anonim, 2024c).



Şekil 1.2. Baret modelleri (Anonim, 2024d)

1.2.6. Baret ve kask standartları

Her yıl dünya genelinde yaklaşık 270 milyon iş kazası meydana gelmekte, bu kazalar sonucu her gün ortalama 5 bin işçi yaşamını yitirmekte ve yılda toplamda 2 milyon işçi hayatını kaybetmektedir. Ayrıca, 160 milyon işçinin meslek hastalıklarına yakalandığı Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerince ortaya konulmuştur. Bu durum, iş güvenliğinin sağlanması ve iş kazalarının önlenmesi konusunda ciddi adımlar atılması gerektiğini açıkça göstermektedir.

İş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesinde, KKD'nin etkin kullanımı hayati bir rol oynamaktadır. Ancak, bu ekipmanların yalnızca kullanımının teşvik edilmesi yeterli değildir; kullanılan ekipmanların belirli standartlara uygunluğu da düzenli olarak denetlenmelidir. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından belirlenen standartlar, kişisel koruyucu ekipmanların güvenilirliğini ve etkinliğini sağlamak

amacıyla hazırlanmıştır. Bu standartlar, ekipmanların üretiminden kullanımına kadar her aşamada kaliteyi güvence altına almayı hedefler.

KKD'lerin standartlara uygunluğu, işçilerin bireysel güvenliklerini sağlamalarının yanı sıra iş yerinde genel güvenlik kültürünün oluşturulması açısından da kritik bir öneme sahiptir. Standartlara uygun olmayan ekipmanların kullanımı, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemede yetersiz kalmakta ve bu durum, işçi sağlığı üzerinde geri dönülemez sonuçlar doğurabilmektedir.

Dolayısıyla, iş yerlerinde KKD kullanımının etkin şekilde denetlenmesi, ekipmanların TSE tarafından belirlenen standartlara uygunluğunun periyodik olarak kontrol edilmesi ve işverenler ile çalışanların bu konuda bilinçlendirilmesi gerekmektedir. İş güvenliği kültürünün yaygınlaştırılması, yalnızca bireysel düzeyde değil, toplumsal düzeyde de güvenli çalışma ortamlarının tesis edilmesine katkı sağlayacaktır. Unutulmamalıdır ki, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesinde bireysel sorumluluk kadar ekipmanların kalitesinin de önemli bir rol oynadığı gerçeği göz ardı edilmemelidir. Bu bağlamda, KKD'lerin standartlara uygunluğu, iş sağlığı ve güvenliği politikalarının sürdürülebilir bir şekilde uygulanmasında temel bir unsur olarak değerlendirilmelidir (Anonim, 2024e).

1.2.6.1. Baş koruyucu donanımlar ve standartları

Baş koruyucular, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında, çalışanların başını üstten veya yandan gelebilecek darbelere ve diğer tehlikelere karşı korumak amacıyla kullanılan temel kişisel koruyucu donanımlardır. İş kazalarının önlenmesi ve çalışanların güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynayan baş koruyucular, farklı risk faktörlerine karşı tasarlanmış çeşitli türleri ile dikkat çekmektedir.

Endüstriyel emniyet baretleri, çalışanların başını düşen cisimler, ergimiş metal sıçramaları veya elektrik çarpması gibi ciddi tehlikelerden korumak amacıyla geliştirilmiş kişisel koruyucu donanımlardır. Bu baretler, iş yerinde meydana gelebilecek fiziksel ve elektriksel risklerin etkilerini minimize ederek ciddi yaralanmaların önüne geçmeyi hedefler. Baretler, dayanıklı ve hafif malzemelerden üretilir; bu sayede hem koruyucu özellikleri artırılır hem de uzun süreli kullanımlarda çalışanların konforu sağlanır.

Sanayi ortamlarında kullanılan darbe başlıkları, çalışanların başını, sabit haldeki sert cisimlere çarpma sonucu oluşabilecek darbelere karşı korumak amacıyla

tasarlanmıştır. Ancak, bu başlıkların koruma kapasitesi yalnızca çarpma etkileri ile sınırlıdır; düşen, fırlayan cisimlere veya hareketli ya da asılı yüklerin çarpmasına karşı koruma sağlamazlar. Dolayısıyla, darbe başlıkları, endüstriyel emniyet baretleri ile karıştırılmamalı ve her iki donanımın kullanım alanları net bir şekilde ayrılmalıdır. Baretlerin sağladığı çok yönlü koruma, yüksek riskli çalışma ortamlarında vazgeçilmez bir unsur olmayı sürdürmektedir (Anonim, 2024f).

Baretler, çalışanları baş bölgesine yönelik darbe, delinme, elektrik çarpması ve diğer risklere karşı koruyan hayati öneme sahip kişisel koruyucu donanımlardır. Çeşitli sektörlerde karşılaşılan farklı tehlikeler doğrultusunda baretler, ilgili uluslararası standartlara uygun olarak tasarlanmakta ve test edilmektedir. Bu standartlar, baretlerin kullanım amacına uygunluğunu ve güvenilirliğini sağlamaktadır. Aşağıda, farklı standartların kapsamaları ve gereklilikleri özetlenmiştir.

EN 14052 + A1:2003: Yüksek performanslı endüstriyel baretler için geçerli olan bu standart, baretlerin yanıl darbelere karşı koruma sağlaması gerektiğini belirler. Standart, baretin kabuğunun toplamda 150 joule darbe enerjisine dayanmasını şart koşar. Bu enerjinin 100 joule'ü tepe kısmına, 50 joule'ü ise yan kısımlarına uygulanır. Ayrıca, delme testi sırasında sivri uçlu bir şakül, 2,5 metre yükseklikten tepe noktasına düşürüldüğünde 25 joule enerji, yan kısma 2 metre yükseklikten düşürüldüğünde ise 20 joule enerji oluşturmaktadır.

EN 397:2013: Endüstriyel emniyet baretleri için uzun yıllardır kullanılan bu standart, yalnızca baretin tepe kısmına uygulanan testleri kapsar. Tepe noktasına uygulanan 49 joule darbe enerjisi, 50 mm çaplı alan içerisinde test edilir. Delme testi ise 1 metre yükseklikten gerçekleştirilir. Ancak, bu standartta yanıl darbe testleri bulunmamaktadır.

EN 50365:2002: Alçak gerilim tesislerinde kullanılacak elektriksel olarak yalıtımlı baretlerin uygunluğunu belirleyen bu standart, baretlerin 10.000 voltluk test voltajına dayanmasını gerektirir. EN 397:2013 ve EN 812:2012 standartlarında yer alan opsiyonel elektrik direnç testlerinin üzerinde bir koruma seviyesi sunar. Bu baretler, 1000 Vac (dalgalı akım) ve 1500 Vdc (doğru akım) gerilim seviyelerinde güvenli bir şekilde kullanılabilir.

EN 12492:2012: Dağcı kaskları için hazırlanan bu standart, darbe testlerine odaklanmıştır. Testler sırasında, biri yarım küre, diğeri düz olmak üzere 5 kg ağırlığındaki iki farklı şakül kullanılır. Yarım küre şakül 2 metre yükseklikten, düz şakül ise 500 mm yükseklikten kaskın ön, arka ve yan kısımlarına uygulanır. Kask, testlerde maksimum 10

kN kuvvetin altında kalmalıdır. Ayrıca, 1 metre yükseklikten 3 kg sivri uçlu bir şakül ile gerçekleştirilen delme testinde, kask ve içyapısı arasında bir çöküntü oluşmamalıdır.

EN 812:2012: Sanayi ortamlarında darbelere karşı kullanılan darbe başlıkları için geçerli olan bu standart, 5 kg ağırlığındaki çelik bir şakülün 250 mm yükseklikten 12 joule enerji ile dört kez başlığa uygulanmasını gerektirir. Bu başlıklar, başın sabit cisimlere çarpmasına veya sürtmelere karşı koruma sağlarken, düşen cisimlere karşı koruma sağlamadığı için baret yerine kullanılamaz.

EN 443:2009: Binalarda ve yapılarda yangınla mücadele sırasında itfaiyecilerin kullanacağı başlıklar için minimum gereklilikleri belirler. Bu standart, başın üst kısmını çarpma, nüfuziyet, ısı ve alev etkilerine karşı koruma amacı taşır.

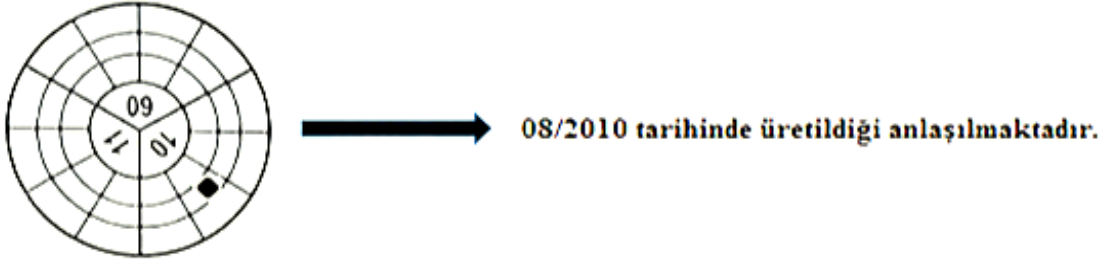
EN 14458:2004: Acil servis çalışanları ve itfaiyeciler için tasarlanmış siperliklerin gerekliliklerini belirler. Bu siperlikler, yangın söndürme ve kurtarma görevlerinde solunum, duman ve gaz/buhar dışındaki çeşitli tehlikelere karşı koruma sağlar. EN 443 veya EN 14052'ye uygun başlıklarla birlikte kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Anonim, 2024e).

1.2.6.2. Baş koruyucuların üzerinde bulunması gereken bilgiler

Baş koruyucuların üzerinde bulunması gereken bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ CE işareti
- ✓ Standart numarası
- ✓ İmalatçının adı veya logosu
- ✓ Ürünün marka ve model bilgisi
- ✓ Üretim yılı ve üç aylık dönemi
- ✓ Baş koruyucunun beden bilgisi (ölçüsü)
- ✓ Baş koruyucunun tipi
- ✓ Baretler için gövde malzemesi cinsi (Anonim, 2024f).

Baretin hangi tarihte üretildiği ile ilgili bilgi aşağıdaki görseldeki (Şekil 1.3) verilebilir (Anonim, 2024f).



Şekil 1.3. Baret üretim bilgisi görseli

TS EN 50365 standardı uyarınca alçak gerilim tesislerinde kullanılmak üzere elektriksel açıdan yalıtımlı baretlerin üstünde alttaki şekilde piktogram (Şekil 1.4) simgesi yer alır (Anonim, 2024f).



Şekil 1.4. Elektriksel yalıtım piktogramı

1.2.6.3. Baret renk anlamları

Genel kullanım amaçlı iş güvenliği baretleri, belirli teknik standartlara uygun olarak üretilmeli ve kullanılmalıdır. Bu bağlamda, EN 397 standardı, endüstriyel güvenlik baretleri için temel gereklilikleri belirler. Bu standart, baretlerin darbe dayanıklılığı, delinme direnci, yanıcı maddelere karşı dayanıklılık ve diğer kritik güvenlik özellikleri açısından uygunluğunu garanti eder. EN 397 standardına uygun baretler, iş sağlığı ve güvenliği açısından güvenilirlik ve kalite standartlarını sağlamaktadır.

Baret renkleri, hem yönetsel hem de operasyonel amaçlar doğrultusunda işyerindeki personelin görev ve sorumluluklarını görsel olarak ayırt etmeye olanak tanır. Bu sistem, iş sahasında hızlı tanımlama ve iletişimi kolaylaştırarak güvenlik uygulamalarını destekler. Genel olarak baretlerde kullanılan bazı renkler Şekil 1.5'te verildiği gibidir.



Şekil 1.5. Baret renkleri (Anonim, 2024c)

Baret renklerinin ifade ettikleri anlamlar şu şekilde tanımlanabilir:

Beyaz Baret: Üst düzey yönetim, mühendisler, danışmanlar ve ziyaretçiler için kullanılır. Liderlik ve sorumluluk sahibi personeli temsil eder.

Sarı Baret: Genellikle saha çalışanları, işçiler ve taşeronlar tarafından kullanılır. Temel saha operasyonlarını yürüten personeli tanımlar.

Mavi Baret: Teknik ekip, elektrikçiler, tesisatçılar ve genel bakım personeli tarafından kullanılır. Uzmanlık gerektiren teknik işlerde çalışanları temsil eder.

Kırmızı Baret: İş güvenliği uzmanları ve yangın güvenliği ekipleri tarafından kullanılır. Acil durum ve güvenlik konularında yetkilendirilmiş personeli ifade eder.

Yeşil Baret: İlk yardım görevlileri veya çevre sağlığı ve güvenliği sorumlularını simgeler. Çevresel risklerin yönetimi ve sağlık desteği sunan personel için tercih edilir.

Turuncu Baret: Genellikle yol işçileri, ağır makine operatörleri veya inşaat makineleriyle çalışan personel tarafından kullanılır. Hareketli ekipman alanlarında çalışanları tanımlar.

Gri Baret: Çoğunlukla sahayı ziyaret eden misafirler için ayrılmıştır ve güvenlik tedbirlerinin uygulanmasını teşvik eder.

Bu renk kodlama sistemi, işyerindeki operasyonel düzenin artırılmasına, personel arasında etkili iletişimin sağlanmasına ve acil durumlarda hızlı hareket edilmesine katkıda bulunur. Standartların doğru bir şekilde uygulanması, güvenli bir çalışma ortamı oluşturmanın önemli bir parçasıdır (Anonim, 2024c).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Son yıllarda baret üretimi ile ilgili yapılan literatür çalışmalarının çoğunda ekonomik olmalarının yanı sıra iyi bir darbe direncine sahip bir baret üretimi için cam fibere ilaveten yenilenebilir doğal kaynaklı fiberlerin kullanıldığı görülmüştür. Yapılan literatür çalışmalarına altta ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Cam fiber takviyeli (CFT) kompozitler çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bu kapsamda, kullanım yelpazesi geniş olan CFT kompozitlerde, farklı fiber ve nano malzeme kullanımının mekanik özellikler üzerine etkilerini içeren çalışmalar yapılmıştır. Thwe ve Liao (2002), bambu fiber, Ramesh ve ark. (2013) sisal ve jüt fiber, Arthanarieswaran ve ark. (2014) muz ve sisal fiber, Haris ve ark. (2021), boyuna bazalt/dokuma cam fiber ilavesinin, Goh ve ark. (2018) eklemeli olarak üretilen karbon fiber ve cam fiber takviyeli termoplastiklerin, Topkaya ve ark (2020) grafen nano partikül takviyesinin cam fiber takviyesinin mekanik özellikler üzerine etkilerini araştırmışlardır. Boobalan ve ark. (2024), dolgu malzemeleri olarak çok duvarlı karbon nanotüpleri ve silikon dioksiti, elyaf olarak Bazalt/E-camı ve matris olarak sertleştiricili epoksiyi kullanarak nanokompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri nano kompozitlerde farklı oranlarda dolgu malzemesi kullanmışlardır. Nano malzeme ve matris malzemesi toplamını %40'ta sabit tutarak farklı kalıplama sıcaklığı ve basıncında hibrit nanokompozitler üretmişlerdir. Kompozit üretimlerini istatistiksel yöntemlerden Taguchi L16 ortogonal deney tasarımına göre gerçekleştirmişler ve işlem parametrelerinin nanokompozitlerin çekme mukavemeti ve erozif aşınması üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Çekme mukavemetini etkileyen en önemli faktörün kalıplama sıcaklığı olduğunu, bunu dolgu yüzdesi, epoksi matris içeriği ve sıkıştırma basıncı izlediğini belirtmişlerdir. Erozif aşınma üzerine ise en önemli etkiyi dolgu maddesi yüzdesi gösterdiğini, bunu epoksi matrisi içeriği, kalıplama sıcaklığı ve sıkıştırma basıncı izlediğini ifade etmişlerdir. Reis ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada; CFT kompozitler, alkali ve asidik çözeltilerin yanı sıra damıtılmış suya maruz bırakılmıştır. Kompozitlerinin çözeltide kalma süresinin, çözelti sıcaklığı ve çözelti konsantrasyonu gibi değişkenlere bağlı olarak çekme ve darbe dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, çözelti cinsinden ziyade, özellikle çözeltide

kalma süresi ve çözelti sıcaklığının mekanik özellikler üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ifade edilmiştir. Karthick ve ark. (2023), muz elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin eğilme ve su emme davranışı üzerine cam fiber hibridizasyonunun etkisi başlıklı çalışmalarında, beş farklı kompozit üretmişlerdir. El yatırma yöntemi ile ürettikleri kompozitlerde matris malzemesi olarak kullandıkları epoksiyi ağırlıkça %60'ta sabit tutmuşlar ve muz elyaf takviyeli epoksi kompozitlere ağırlıkça %0'dan %20'ye kadar cam fiber eklemişlerdir. Cam fiberin ağırlık yüzdesindeki artışın kompozitlerin eğilme davranışını ve su direncini artırdığını belirtmişlerdir.

CFT kompozit baret veya kasklarla ilgili yapılan çalışmalarda ise eğilme ve sertlik testleri (Kumar ve ark., 2014), cam fiberle birlikte kullanılan doğal fiberin çekme, eğilme ve darbe testleri (Rafiquzzaman ve ark., 2017) ve sonlu elemanlar analizlerini içeren çalışmalar yapılmıştır (Thomas ve ark., 2017; Vaidyaa ve ark., 2020). Ancak bu konu ile ilgili ayrıntılı literatür çalışmaları aşağıda verilmiştir.

Ravi ve ark. (2002), sentetik fiberlerle üretilen baretlere alternatif olarak doğal fiberlerle üretilen baretlerin kullanılabilirliğini değerlendirmek için el yatırma yöntemiyle hibrit kenevir-muz doğal elyaflardan baret üretmişler ve E-cam elyafla ürettikleri baretlerle kıyaslamışlardır. Kıyaslamalarını ağırlık düşürme darbe testine göre yapmışlar ve kompozit baretler üzerinde oluşan hasar dayanımına bağlı olarak değerlendirmişlerdir. Testlerden elde ettikleri sonuçlar ışığında, doğal elyafların iyi darbe direncine ve dayanıklılığa sahip olduğunu ve baret imalat endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan sentetik elyaflara alternatif olduğunu belirtmişlerdir.

Marissen ve ark. (2010), üç boyutlu bir eğrilik gösteren tam ölçekli balistik korumalı kask kabuklarının üretimi için yüksek mukavemetli polietilen elyaf prepreglerinin sürünerek şekillendirilmesi tekniğini araştırmışlardır. Sürünme oluşumu sırasında çok yüksek lif çekme gerilmeleri meydana geldiğine ve bu yüksek sürünme gerilmelerinin kontrol edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sürünme oluşumu sırasında homojen bir sıcaklık dağılımının oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bu tür etkenlerin kontrolünün sürünerek şekillendirilen kasklarda kırışıklık olmamasına ve süpersonik mermilere karşı mükemmel koruma sağlamasına katkı sağladığını ifade etmişlerdir.

Ning ve ark. (2017), uzun karbon fiber takviyeli polifenilen sülfid kompoziti nispeten yumuşak bir balistik kabuğun sertleştirilmesi için yüksek sertliğe sahip bir kask iskeletinin prototipini oluşturmak için kullanmışlardır. Kask iskeletine ekstra sağlamlık oluşturmak ve balistik kabuk ile kolayca takılmayı kolaylaştırmak amacıyla çevresi

boyunca bir çerçeveye sahip olacak şekilde farklı modellerde tasarlanmışlar ve prototiplerini üretmişlerdir. Kask iskeletinin performansını değerlendirmek için statik analiz yaparak modelledikleri kask iskeletlerinin rijitliklerini karşılaştırmışlardır. Kasnaklı kask iskeletinin kasnaksız kask iskeletiyle karşılaştırıldığında mükemmel sertleşme kapasitesi gösterdiğini, balistik kabuğa eklenen kask iskelet kütlesinin toplam ağırlığın %20'sini oluşturduğunu ve rijitliği %67 oranında arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Bajpai ve ark. (2018), endüstriyel baret için hibrit cam/jüt takviyeli epoksi kompozitin geliştirilmesi ve karakterizasyonu üzerine odaklandıkları çalışmalarında, toplam fiber katman sayısını dörtte sabit tutmuşlar, katmandaki fiber cinsini ve ağırlık yüzdesini değiştirmişlerdir. Bu kapsamda el yatırma yöntemi ile beş farklı kompozit üretmişlerdir. Bir katman cam ve üç katman jüt takviyeli epoksi hibrit kompozitin 100,78 MPa ile maksimum bükülme mukavemetine, üç katman cam ve bir katman jüt takviyeli epoksi hibrit kompozitin ise 72,24 J/m ile maksimum darbe dayanımına ulaştığını gözlemlemişlerdir. Maksimum darbe dayanımına sahip üç katman cam ve bir katman jüt takviyeli epoksi hibrit kompozitin mevcut endüstriyel baret malzemesinin yerine kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Bharath ve ark. (2018), biyo-kompozit baret imalatı ve mekanik karakterizasyonu içeren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, mevcut baret üretim metodolojisinde daha iyi mekanik özelliklere sahip olan ve fiberler ile matris arasındaki uyumluluğu arttırmak için kullanılan malzemelerde bir iyileştirme yapmayı amaçlamışlardır. Bu bağlamda, epoksi reçine matrisini ve jüt, sisal, hindistan cevizi, areka ve muz gibi lifleri uygun oranlarda kullanarak el yatırma yöntemi ile biyo-kompozit baret üretmişlerdir. Üretilen biyo-kompozitlerin darbe, bükülme ve ağırlık düşürme darbe testlerini gerçekleştirmişlerdir. Biyo-kompozitlerde kullanılan doğal lif hacim oranının daha da optimize edilmesiyle bu liflerin baret için potansiyel bir uygulama olabileceğini ifade etmişlerdir.

Kim ve ark. (2019), endüstriyel baretlerin güvenlik performansını artırmak amacıyla, epoksi reçine matrisi kullanarak p-aramid/karbon fiber takviyeli hibrit kompozit üretmişlerdir. Sıkıştırma kalıplama yöntemiyle ürettikleri bu kompoziti, karbon fiber takviyeli kompozit, aramid fiber takviyeli kompozit ve ABS plastik ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalarını darbe dayanımı, çekme dayanımı ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklere ve termogravimetrik analiz yoluyla ısı direnci gibi termal özelliğe göre yapmışlardır. Baret stabilitesinin belirlenmesinde önemli bir faktör olan darbe testi analizi sonuçlarına göre aramid/karbon fiber takviyeli hibrit kompozitin

darbe enerjisi emiliminin aramid fiber takviyeli kompozitinkinden üstün olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca karbon fiber, aramid/karbon fiber ve aramid fiber takviyeli kompozitlerin darbe enerjisi emilimlerinin ABS plastiğe göre sırasıyla 6,3, 6,1 ve 5,2 kat daha yüksek olduğunu analiz etmişlerdir. Hem karbon fiber takviyeli kompozitin hem de aramid/karbon fiber takviyeli kompozitin diğer numunelerle karşılaştırıldığında daha iyi bir ısı direnci gösterdiğini belirtmişlerdir. Buna ilaveten darbe yükü, eğilme mukavemeti ve termogravimetrik analiz açısından karbon fiber takviyeli kompozitin aramid/karbon fiber takviyeli hibrit kompozitten üstün olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak aramid/karbon fiber takviyeli hibrit kompozitin karbon fiber takviyeli kompozitten daha iyi darbe enerjisi emilimi, çekme mukavemeti ve tabakalar arası kayma mukavemetine sahip olduğunu ve ABS plastik ile karşılaştırıldığında ölçülen tüm numunelerde mükemmel mekanik ve ısı direnci özellikleri sergilediğini ifade etmişlerdir.

Singh ve ark. (2020), baret ve spor malzemeleri uygulamaları için hindistan cevizi lifi ve dokuma karbon fiber takviyeli epoksi bazlı hibrit kompozitler üreterek, ürettikleri kompozitlerin mekanik (gerilme, basınç, bükülme ve darbe dayanımı) ve termal (termogravimetrik analiz) özellikleri incelemişlerdir. Vakum destekli el yatırma/vakumlu torbalama yöntemi ile ürettikleri hibrit kompozitlerde, işlem görmüş hindistan cevizi lif oranını üç farklı yüzdelik oranda belirlemişler ve en düşük orandaki belirledikleri işlem görmüş hindistan cevizi lifli hibrit kompozitleri işlem görmemiş hindistan cevizi lifli hibrit kompozit ile kıyaslamışlardır. Yüzeylerdeki fiber/matris bağlanmasının özelliklerini taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz etmişlerdir. İşlem görmüş fiberler ile üretilen hibrit kompozitlerin, işlem görmemiş fiberlerle karşılaştırıldığında iyi bir matris bağlanması ve daha az fiber çekilmesi sergilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca hibrit kompozitin mekanik yükleme altında tek fiber takviyeli kompozite göre daha sağlam özelliklere sahip olduğunu sonucuna varmışlardır.

Bhudolia ve ark. (2021), yeni tamamen termoplastik ve hibrit kompozit bisiklet kaskı kabuklarının geliştirilmiş darbe enerjisi emilimi ve arıza özellikleri başlıklı çalışmalarında, daha güvenli, hafif ve yüksek enerji emici özelliklere sahip termoplastik (polipropilen elyaflar ve akrilik Elium reçinesi) malzemeler ile hibrit kompozit kasklar (polipropilen/karbon hibrit ve Elium reçinesi) geliştirmeyi amaçlamışlardır. Geliştirdikleri kaskların arıza ve enerji emme mekanizmaları incelemişler ve yaygın olarak kullanılan polikarbonat kasklar ve epoksi reçineyle üretilen kompozit kabuklarla karşılaştırmışlardır. Tamamen termoplastik ve hibrit kompozit kabuklarda emilen enerjinin %65, buna karşın polikarbonat kabuklarda emilen enerjinin maksimum %13

olduğunu gözlemlemişlerdir. Kompozit kabukların kullanılması, doğrudan insan kafasına bağlanan ve gelişmiş güvenlik sağlayan köpüğe minimum enerji aktarımına yol açtığını ifade etmişlerdir. Sünek davranış nedeniyle termoplastik kompozit kabukta açık bir şekilde deformasyon gözlemlerlerken, epoksi bazlı kompozit kabukta önemli çatlaklar içeren yıkıcı bir arıza oluştuğunu vurgulamışlardır. Kafa travması kriterleri göz önüne alındığında, polikarbonat kaskların düz örs çarptığında en yüksek ölüm oranını (%6) gösterdiğini, tamamen termoplastik ve hibrit kompozit kabuğun kullanılmasının polikarbonat kaskların kritik ve ölümcül yaralanma olasılığını sırasıyla yaklaşık %40 ve %60 oranında azalttığını belirtmişlerdir.

Gohel ve ark. (2021), yeni dokuma Karbon/Elium termoplastik kompozit kaskların özelliklerine yönelik detaylı bir çalışma sunmak için ürettikleri kaskları düz, bordür taşı ve yarım küre örsler üzerinde endüstriyel güvenlik sertifikasyon kriterlerine göre test etmişler ve darbe testlerine dayalı olarak analizlerini yapmışlardır. Karbon/Elium termoplastik kompozit kaskların Karbon/Epoksi kompozit kasklara göre daha esnek davranış sergileyerek daha az yıkıcı hasar gösterdiğini belirtmişlerdir. Karbon/Epoksi kompozit kaskların daha düşük enerji emilimi gösterdiğini ve bu kasklarda doğrudan insan kafasına bağlanan köpüğün iç tarafında daha fazla çatlak oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Üretilen Karbon/Elium kompozit kaskların kritik ve ölümcül yaralanma oranlarını sırasıyla %16.7 ve %3 düşürdüğünü ifade etmişlerdir.

Rajesh ve ark. (2021), hibrit cam ve sisal fiber takviyeli epoksi kompozitlerde, fiber ve matris içeriğindeki değişikliğin çekme ve sertlik gibi mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. %60 matris ve %40 fiberden oluşan kompozitlerde iyi özellikler elde edildiğini belirtmişlerdir. Bu kompozitlerin otomotiv iç ve dış parçaları, valiz, baret ve abajurların yapısal dayanıklılık ihtiyaçlarını karşılayacak özellikte olduğunu ifade etmişlerdir.

Raji ve ark. (2021), hibrit kompozit bisiklet emniyet kaskının imalatı ve mekanik karakterizasyonu başlıklı çalışmalarında, %60 polyester, %10 cam elyaf ve %30 hindistan cevizi elyafından oluşan polimer ızgara kompoziti el yatırma yöntemi ile üretmişler ve ürettikleri kompozitin çekme dayanımı, darbe dayanımı ve sertlik gibi mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Hindistan cevizi ve polyester reçineli cam elyaf kompozit kaskın sertliğinin yüksek, ancak nihai çekme mukavemetinin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Elde ettikleri ortalama darbe dayanım değerinin 5.5944 kJ/m^2 olduğunu belirtmişlerdir.

Santhosh ve ark. (2021), cam elyaf kullanan kaskın tasarımı, üretimi ve darbe mukavemetinin yanı sıra sıkıştırma mukavemetinin iyileştirilmesi için bir dizi çalışma yapmışlardır. Öncelikle minimum aşınmaya sebebiyet vererek kask ağırlığının azaltılması ve dayanıklılığın arttırılmasını sağlayabileceği varsayımı ile kaskın üretildiği kalıbın yapımında yüksek enerjiyi emen malzemeler kullanmışlardır. Daha sonra cam elyafı ve alüminyum köpükler kullanarak el yatırma yöntemi ile kask üretmişlerdir. Cam elyaf kaskın imal edilme sürecinde, cam elyaf üzerine %96 epoksi reçine, %3 ince alüminyum köpük parçacıkları ve %1 sertleştirici uygulamışlardır. Ürettikleri kompozit kask ağırlıklarının mevcut metal köpük kask ile geleneksel ABS kaskına göre %30 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Test numunesinin kopma yükünün 8.2 kN, nihai çekme mukavemetinin 101 N/mm², uzama yüzdesinin ise %5.4 olarak kaydedildiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca basınç dayanımının 2.7 kN/mm² olduğunu ve basma gerilmesi altında test numunesinin kesit alanının çöktüğünü, yani darbeden sonra yerel olarak düzleştiğini vurgulayarak, metal köpük kabuklu kaskların başarılı kullanımı için daha yüksek darbe hızlarında daha ileri çalışmalara ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir.

Shankar ve ark. (2021), ABS, PC, Polistiren, ABS + PC ve Epoksi E-Cam gibi beş farklı malzemeden mevcut kask verilerine benzer ölçülerde kask modellemişlerdir. Modelledikleri kaskların ANSYS ticari yazılımıyla toplam deformasyon, gerinim enerjisi ve eşdeğer stres gibi statik ve dinamik koşullardaki davranışlarını değerlendirerek, en iyi malzemenin seçilmesini amaçlamışlardır. Polistiren malzemenin hem statik hem de dinamik koşullara maruz kaldığında Epoxy E-Glass malzemesine göre daha yüksek deformasyon ve gerinim enerjisi, diğer malzemelere göre ise daha düşük deformasyon gösterdiğini belirtmişlerdir. ABS ve PC malzemelerinin diğer malzemelerle karşılaştırıldığında aşağı yukarı aynı deformasyonu ürettiklerini ve bu da yüksek gerinim enerjisiyle sonuçlandığını ifade etmişlerdir.

Leng ve ark. (2022), bisiklet kaskı tasarımları ve gelecekteki araştırmalar için kasklarda kullanılan malzeme ve kaskların yapısal mekanik yönlerinden incelenmesini içeren bir derleme çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında, bisiklet kasklarının tarihçesini ve yaygın olarak kullanılan test standartlarını ele almışlardır. Polistiren köpük astarlı bisiklet kaskları gibi mevcut kaskların tasarımını ve enerji emilimindeki iyileşmelerini gözden geçirmişlerdir. İyileştirme yöntemleri arasında malzemenin, farklı yoğunluklardaki kademeli katman uygulamalarının ve biyo-ilhamlı yapıların kasklarda önemli bir etkiye sahip olduklarını gözlemlemişlerdir. Gelecekteki kask tasarımlarına yönelik yapılacak çalışmalar için farklı darbe konumları ve açıları da dahil olmak üzere

daha kapsamlı testlerin yapılması gerektiğini ve bu durumun hangi tür anti-rotasyonel tasarımın en iyi şekilde çalıştığına karar vermede yardımcı olabileceğini ifade etmişlerdir. İnce duvar yapıları, hücresel yapılar ve yardımcı yapılar gibi toplam kütleyi azaltabilecek spesifik yapılar kullanılarak tasarımların gerçekleştirilebileceği ve üretimde 3D baskının kullanılması konuları hakkında önerilerde bulunmuşlardır.

Muthukumar ve ark. (2022), doğal elyaf bazlı endüstriyel baret imalatı başlıklı çalışmalarında, cam elyafı, jüt elyafı ve muz elyafı (mat/doğranmış) gibi farklı malzemeleri epoksi reçine ile birleştirip kompozit bir baret oluşturmayı ve baretin mukavemetini arttırmayı amaçlamışlardır. Bu doğrultuda farklı istifleme sıralarına sahip üç katmanlı (cam elyafı + doğranmış muz elyafı + mat muz elyafı) ve beş katmanlı (cam elyafı+ cam elyafı+ doğranmış muz elyafı + mat jüt elyafı + cam elyafı) iki farklı kompozit baret üretmişlerdir. El yatırma yöntemiyle ürettikleri baretlerin şok emme direnci, delinme direnci, yanma direnci, elektrik direnci ve su emme açısından testlerini gerçekleştirmişlerdir. Şok emme testi sırasında kafa formundan baretin tabanına iletilen maksimum kuvvetin 393 kgf olduğunu ve bu değerın izin verilen 510 kgf sınırından daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Üç katmanlı baretin soğuk durumunda gözlemlenen nüfuz derinliğinin maksimum 10 mm derinliği gösterdiğini ve belirtilen sınır dahilinde olduğunu, jüt elyafının yüksek emme özellikleri nedeniyle beş katmanlı baretin ıslak durumda 3 mm'lik bir nüfuz derinliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yanmazlık ve elektriksel dayanıklılık testi sonuçlarına bağlı olarak üretilen baretlerde herhangi bir yanma ve elektrik kaçağının bulunmadığını ifade etmişlerdir. Su emme çalışma sonuçlarında ise her iki baretin de %2'den daha az su emdiğini gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlar doğrultusunda ürettikleri kompozit baretlerin her ikisinin de daha hafif ve daha çevre dostu olan IS 2925 gerekliliklerini karşıladığını ve geleneksel endüstriyel baretlerinin yerini almaya uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Gaur ve ark. (2023), naylon 4-6 endüstriyel baretin statik ve darbe analizi başlıklı çalışmalarında, SolidWorks programında bir baret tasarlamışlar ve ANSYS ticari yazılımıyla baretin farklı konumlarına yük uygulanmasını gösteren çeşitli durumlar için baretin statik ve darbe analizini gerçekleştirmişlerdir. Barete çarpma yüklemesi sırasında, yandan çarpma ile karşılaştırıldığında arkadan çarpma durumunda deformasyonun daha fazla, ancak arkadan çarpma durumunda maksimum kesme geriliminin yandan çarpma sırasında üretilen maksimum kesme geriliminden büyüklük olarak çok daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. 8-10 mm'lik bir dolgunun deformasyon oluşumunu azaltacağını ve gerilim dalgalarının sönümlenmesine katkı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Kanok ve ark. (2023), sentetik elyafların mekanik mukavemetlerinin yüksek olmasına rağmen üretim maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı uygulama alanlarının son derece sınırlı olduğunu vurgulamışlardır. Bu bağlamda hem özelliklerini koruyan hem de geliştirilmiş mekanik özellikleri koruyan hibrit kompozitler üretmenin uygulanabilirliğini belirlemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında muz ve cam elyafların matris olarak epoksi reçine ile etkisini hibrit kompozitler oluşturarak incelemişlerdir. Muz elyafının NaOH ile işlenmesinin yanı sıra, işlem görmüş ve işlem görmemiş muz elyaflarını saf epoksi reçine ve cam elyafı ile birlikte hazırlayarak kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerde, ağırlıkça hacme göre lif yüzdelerini sırasıyla %20, %30 ve %40 olarak belirlemişlerdir. Belirledikleri lif yüzdelerinde, %50 oranında muz elyafı ve %50 oranında cam elyafı kullanmışlardır. NaOH ile işlem görmüş muz elyafı hibrit kompozitlerin işlem görmemiş muz elyafı hibrit kompozitlerden daha iyi sonuçlar verdiğini ve ağırlıkça %40 fiberli kompozitlerden en iyi sonuçların elde edildiğini belirtmişlerdir. Ağırlıkça %40 işlenmiş ve işlenmemiş fiberli hibrit kompozitlerin gerilme mukavemetlerini sırasıyla 57.8 MPa ve 41.8 MPa, eğilme mukavemetlerini sırasıyla 117.54 MPa ve 99.08 MPa, darbe enerjilerini ise sırasıyla 8 J ve 5 J olarak elde etmişlerdir. Ayrıca, test sonuçlardan yola çıkarak bu hibrit kompozitlerin, ev eşyalarında, saklama kutularında, koruyucu çatılarda, bank yapımında ve ayrıca çevre dostu ve dayanıklı baretler yaparak endüstride birçok geleneksel malzemeye alternatif olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Bin Ashraf ve ark. (2024), hibridizasyon kavramını kullanarak yeni kompozitler üretmeye yönelik bir çalışma yaparak, hangisinin düşük hızlı darbe yüklemesi altında daha iyi mukavemet ve performansa sahip olduğunu analiz etmişlerdir. Bu kapsamda, bazalt (B) ve keten (K) liflerinin birleşiminden oluşan kompozitlerin dairesel yamalarını 3 mm kalınlığındaki Al 2024-T3 alüminyum levha ile yapıştırmışlardır. Asimetrik [B5K3B], simetrik [BKB2KB2KB] ve sandviç [B3K3B3] olmak üzere üç farklı konfigürasyonu vakum destekli torbalama işlemi kullanılarak üretmişler ve onların ağırlık düşürme darbe testi ile darbe performanslarını incelemişlerdir. Bazalt/keten kompozitinin asimetrik konfigürasyonunun diğer ikisine kıyasla daha iyi darbe direncine ve dayanıklılığa sahip olduğu ve otomobillerin yapısal bileşenlerinde ve savunma sanayinde kullanımının daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Hiremath ve ark. (2024), doğal elyaf takviyeli polimerik kompozitlerin termal bozulması ve yangın geciktirici davranışı üzerine derleme bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Dolgu malzemelerinin, fiber cinsi ve yönelimlerinin kompozitlerin

yapısal yönleri üzerinde önemli etkiye sahip olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca yangına dayanıklı doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin oluşturulması için uygun alev geciktirici bileşenlerin seçilmesi ve kompozit üretiminde kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Yapılan çalışmalar; araştırmacıların araçlara, tekniklere ve uygulamalara odaklanarak İSG açısından oldukça önemli olan baret veya kaskların verimliliğini arttırmak ve maliyetini düşürmek için pratik çözümler sunduğunu ve sentetik fiberlerle birlikte çevre dostu ve yenilenebilir doğal fiberlerin baret yapımında kullanılabileceğini göstermiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Baret üretiminde kullanılan cam fiber malzemede istifleme açısının darbe dayanımına etkisinin iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmesi için gerekli malzemeler, üretimde tercih edilen istifleme açıları, kompozit malzeme üretimi ve darbe dayanım deneylerinin yapılmasına ait bilgiler alt başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, ısıya ve kimyasallara dayanıklılık, iyi korozyon direnci, mükemmel elektriksel izolasyon, esneklik, ekonomiklik gibi nedenlerden dolayı üretim için dokuma cam fiber malzeme tercih edilmiştir. Temin edilen dokuma cam fiber malzemenin görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Cam fiber malzeme

Şekil 3.1’de verilen dokuma cam fiber, 200 g/m² alansal ağırlığa sahip olup, 127 cm genişliğinde ve 20 m uzunluğundadır.

Takviye elemanı olarak kullanılan dokuma cam fiber malzemenin kompozit ürün haline getirilmesi için matris malzemesi olarak epoksi set temin edilmiştir. Temin edilen epoksi set, ARC 152 reçine ve W 152 sertleştiriciden oluşmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Epoksi set (ARC 152 reçine ve W 152 sertleştirici)

3.2. Üretimde Tercih Edilen İstifleme Açıları

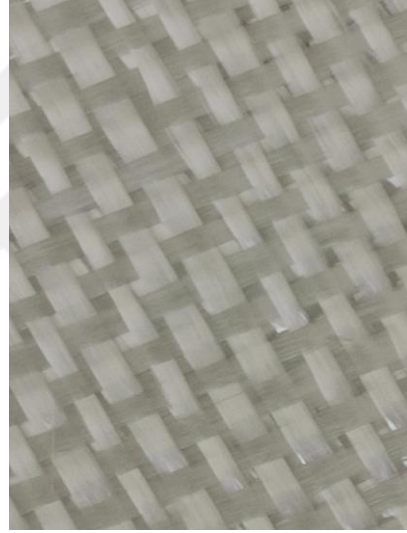
Cam fiber malzemelerin baret üretiminde kullanılmasıdaki önemli rol, bu malzemelerin sahip olduğu üstün özelliklerden kaynaklanmaktadır. Örneğin, yüksek mukavemet özelliği, baretlerin darbe ve çarpma anlarında sağlam kalmasını sağlar. Bununla birlikte, düşük yoğunluk, kullanıcıların konforunu artırır ve uzun süreli kullanıma uygun hale getirir. Isıya ve kimyasallara dayanıklılık, baretlerin çeşitli endüstriyel ortamlarda güvenle kullanılabilmesini sağlar. İyi korozyon direnci, malzemenin uzun ömürlü olmasını sağlayarak bakım maliyetlerini azaltırken, mükemmel elektriksel izolasyon, elektriksel tehlikelerden koruma sağlar. Esneklik özelliği, darbe anında enerjiyi emerek kullanıcının başını etkin bir şekilde korur. Burada önemli olan husus fiberlerin yükleri yapı içerisinde iyi transfer etmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak baretlerin sağladığı koruma düzeyini artırarak iş güvenliği standartlarını iyileştirmek amacıyla, farklı istifleme açılarının etkileri araştırılabilir. Çünkü farklı istifleme açıları yüklerin dağılımında önemli bir rol oynar. Bu nedenle temin edilen cam fiberler, oryantasyon açıları $0/90^\circ$, $30/60^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ olacak şekilde $33 \text{ cm} \times 33 \text{ cm}$ boyutlarında kesilmiştir. Kesilen fiberlerin görüntüleri Şekil 3.3'te verilmiştir.



a) 0/90°



b) 30/60°



c) ±45°



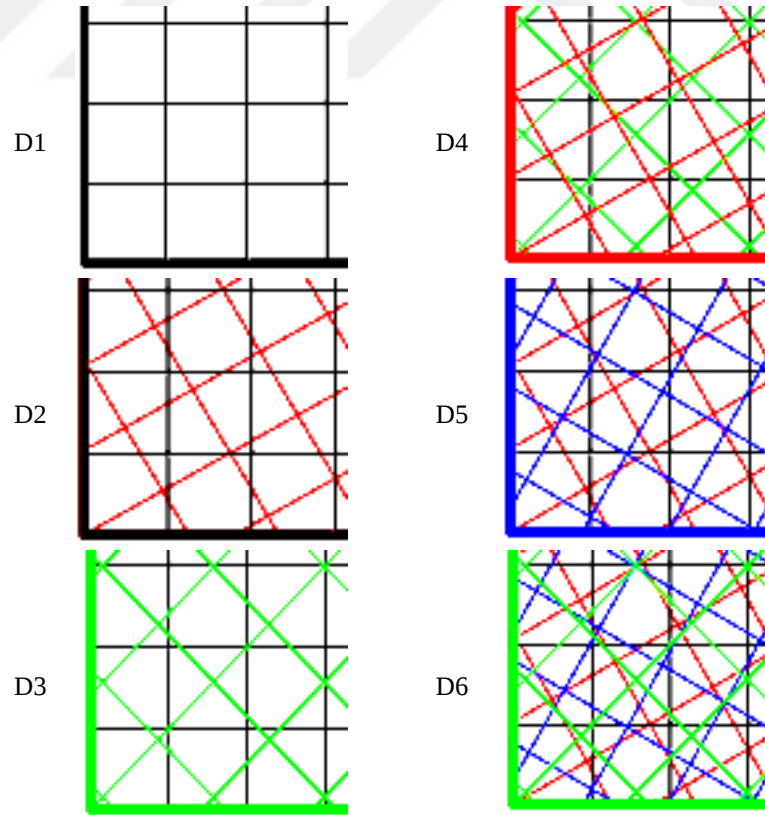
Şekil 3.3. Farklı açılarda kesilen cam fiber malzeme

Üç farklı oryantasyon açısında kesilen cam fiberler, çeşitli kombinasyonlarda üst üste yerleştirildiğinde, farklı istifleme açıları elde edilebilir. Bu açılar 30°, 45°, 60° ve 90° olarak belirlenmiştir. Cam fiberler, farklı istifleme açılarındaki simetrik olarak 10 tabaka halinde üst üste yerleştirilmiş ve toplamda 6 farklı istifleme dizilimi oluşturulmuştur. İstifleme dizilimlerine ilişkin ayrıntılı bilgiler Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Fiber malzemelerin istifleme açılarına bağlı dizilimi

Numune No	Dizilim (D)	Tabaka (T)									
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
1	D1	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
2	D2	90°	30°	90°	30°	90°	90°	30°	90°	30°	90°
3	D3	90°	45°	90°	45°	90°	90°	45°	90°	45°	90°
4	D4	90°	30°	45°	90°	90°	90°	90°	45°	30°	90°
5	D5	90°	30°	60°	90°	90°	90°	90°	60°	30°	90°
6	D6	90°	30°	45°	60°	90°	90°	60°	45°	30°	90°

Tablo 3.1’de sunulan dizilimlere bağlı olarak, fiberlerin Şekil 3.4’te sembolik olarak gösterildiği şekilde istiflenmesi gerçekleştirilmiştir.

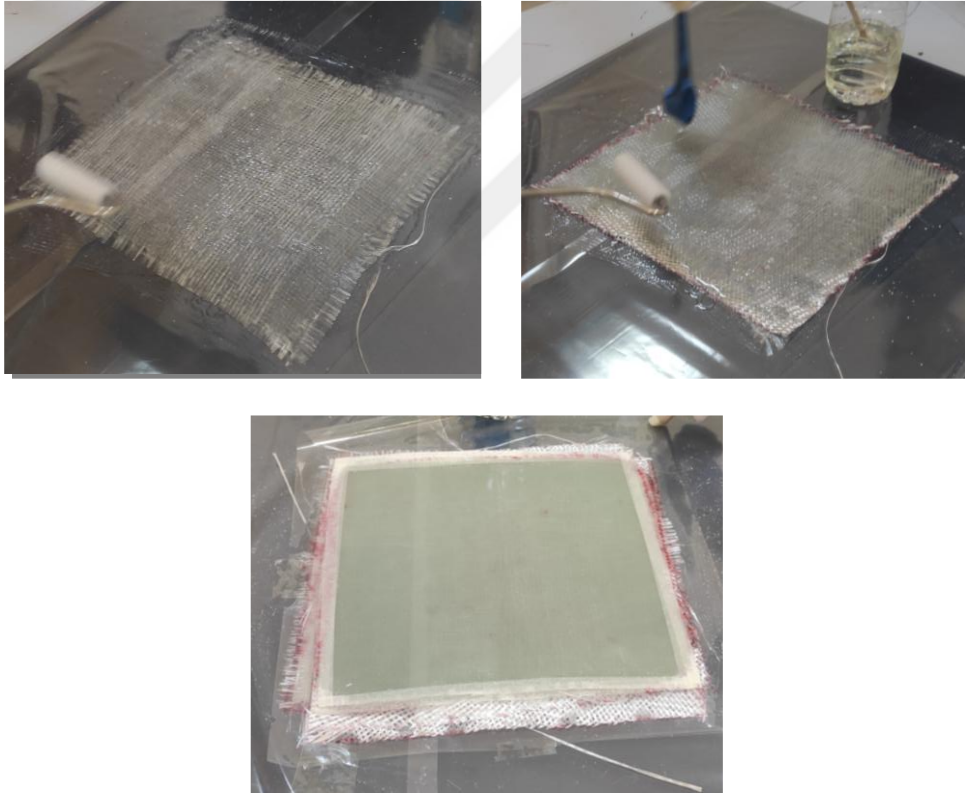


Şekil 3.4. İstifleme düzeninin sembolik gösterimi

3.3. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Farklı istifleme açılarında simetrik olarak 10 tabaka halinde üst üste yerleştirilmiş ve toplamda 6 farklı istifleme dizilimi oluşturulmuş cam fiberler, hassas terazide tartılmıştır. Tartılan cam fiberlerin kompozit yapı içerisinde toplam ağırlığının %60 olması için polimer matris malzemesi de hassas terazide tartılmış ve kompozit yapı içerisinde toplam ağırlığının %40 olması sağlanmıştır. Bu işlem için matris malzemesindeki reçine ve sertleştirici oranları etiketinde belirlenen değerlerde (4:1) karıştırılmıştır.

Hazır hale getirilen cam fiber dizimler ve matris malzemeleri, el yatırma yöntemi ile istiflenerek kompozit haline getirilmiştir. El yatırma yöntemi ile yapılan işlemlere ait birtakım görüntüler Şekil 3.5'te verilmiştir



Şekil 3.5. El yatırma yöntemi ile kompozit üretimi

El yatırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen üretim sürecinde, cam bir zemin üzerine yapışmayı önlemek amacıyla şeffaf bir naylon serilmiştir. Naylonun üzerine epoksi matris malzemesi eklenmiş ve bu epoksi, naylon üzerinde düzgünce yaydırılmıştır. Epoksinin naylon üzerinde yaydırılmış olan kısmına bir tabaka cam fiber yerleştirilmiş

ve hareketli bir rulo ile cam fiberin epoksi ile ıslanması sağlanmıştır. Üzerine tekrar epoksi yaydırılmış ve Tablo 3.1’de belirtilen tabaka dizilimlerindeki açılara bağlı olarak cam fiberler yerleştirilmiştir. Bu işlem, toplam 10 tabaka elde edilene kadar tekrarlanmış ve her bir katmana eşit miktarda epoksi uygulanmıştır. Tabakalama işlemi tamamlandıktan sonra, en üst tabakanın üzerine de naylon yerleştirilmiş ve ağır bir silindir kullanılarak üretim esnasında oluşabilecek hava boşluklarının giderilmesi sağlanmıştır. Son olarak, üretilen malzemenin üzerine 25 kg ağırlığında bir malzeme konularak kütleme işlemine bırakılmıştır. Kütleme işlemi için belirlenen süre 48 saattir.

3.4. Ağırlık Düşürme Deneyinin Yapılışı

Altı farklı istifleme açısında üretilen kompozit malzemelere ağırlık düşürme testi uygulanabilmesi amacıyla, her bir numuneden 100 mm × 100 mm boyutlarında 3’er adet deney numunesi kesilmiştir. Kesilen bu deney numunelerinin görüntüsü Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Ağırlık düşürme deneyi için hazırlanan numuneler

Ağırlık düşürme deneyleri, Instron/Ceast 9350 cihazda gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz 0,59-757 J aralığında deneyler yapabilmektedir. Ağırlık düşürme deneyinin yapıldığı test cihazının görüntüsü Şekil 3.7’de verilmiştir.

Ağırlık düşürme deneyleri; 20 J ve 40 J darbe enerjisine sahip 12.7 mm çapında yarı küresel geometriye sahip vurucu ve 40 mm destek çapında yapılmıştır. Tutucu ağırlığı 4.3 kg olup 6 kg ek yük olmak üzere toplamda 10.3 kg yük uygulanmıştır.



Şekil 3.7. Ağırlık düşürme deney düzeneği

3.5. Charpy Darbe Deneyinin Yapılışı

Charpy darbe deneyi için altı farklı istifleme açısında üretilen kompozit malzemelere test uygulanabilmesi amacıyla, her bir numuneden 10 mm × 50 mm boyutlarında 6 adet deney numunesi kesilmiştir. Kesilen bu deney numunelerinin görüntüsü Şekil 3.8’de verilmiştir.



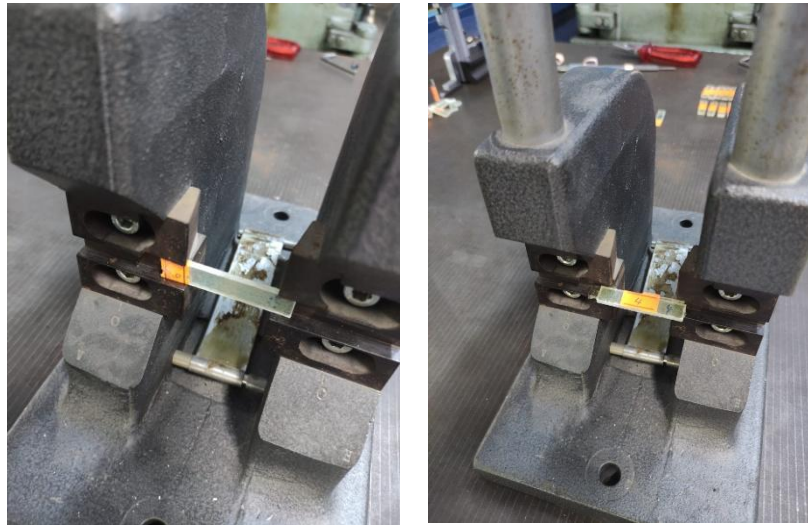
Şekil 3.8. Charpy darbe deneyi için hazırlanan numuneler

Charpy darbe deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü Mekanik Laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler için Impact Tester MT 3016 test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 0.1-15 j aralığında kapasiteye sahiptir. Deney cihazının görüntüsü Şekil 3.9’ da verilmiştir.



Şekil 3.9. Charpy darbe deneyi deney düzeneği

Her bir grup için hazırlanan 6 adet numune test cihazında 3 adet yatay, 3 adet dikey olmak üzere teste tabi tutulmuştur. Numunelerin cihaza bağlanma şekillerinin görüntüsü Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Charpy darbe deneyi için numunelerin bağlanma şekilleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Cam fiber malzemede istifleme açısının darbe dayanımına etkisinin iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmesi için ağırlık düşürme deneyi ve Charpy darbe deneyi yapılmıştır. Elde edilen bulgular bu bölümde grafik ve tablo halinde sunulmaktadır.

4.1. Ağırlık Düşürme Deneyi Bulguları

Deneylerden elde edilen veriler ışığında enerji-zaman, kuvvet-zaman, kuvvet-yer değiştirme grafikleri çizilerek veriler ayrıntılı olarak tartışılmıştır. 20 J ve 40 J olarak yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de verilmiştir.

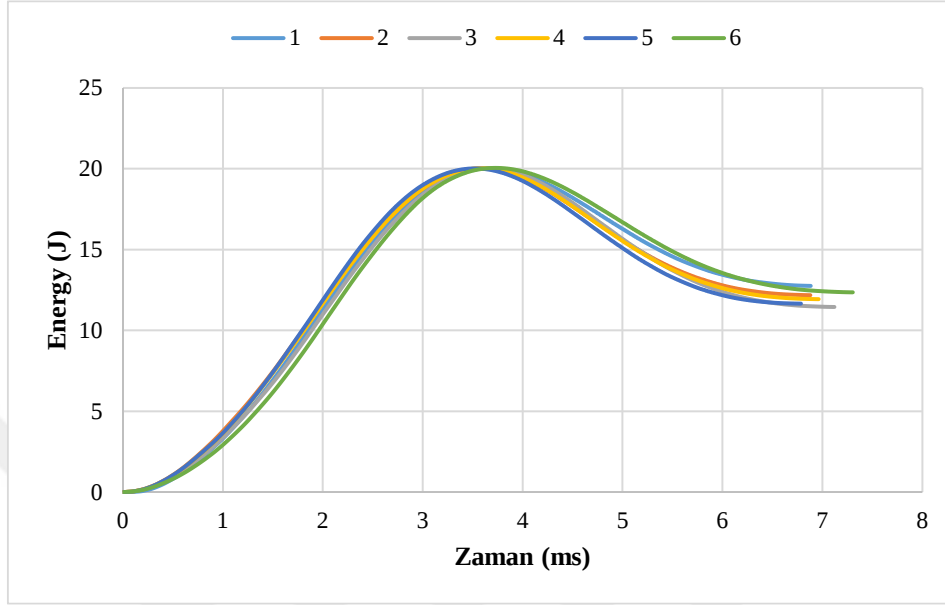
Tablo 4.1. Ağırlık düşürme deneyi sonuçları

Numune No	20 J			40 J		
	F_{mak} (N)	E_A (J)	Y_{mak} (mm)	F_{mak} (N)	E_A (J)	Y_{mak} (mm)
1	8681,13	12,75	4,44	11817,20	34,02	6,31
2	9011,63	12,18	4,46	11281,06	35,11	6,68
3	9048,35	11,45	4,62	11986,13	36,01	6,80
4	8908,81	11,93	4,47	10407,07	35,68	7,34
5	9026,32	11,66	4,40	10737,57	35,26	6,91
6	9048,35	12,35	4,73	10282,22	36,68	7,66

Tablo 4.1’de yer alan F_{mak} maksimum kuvveti (N), E_A emilen enerjiyi (J), Y_{mak} ise maksimum yer değiştirmeyi (mm) ifade etmektedir. Tabloda verilen sonuçlar incelendiğinde, malzemenin homojen bir yapıya sahip olduğu ve mekanik özellikler açısından sonuçların tutarlı ve anlamlı olduğu söylenebilir. Ancak enerji miktarına bağlı olarak kuvvet, emilen enerji ve yer değiştirme değişmiştir. Bu durum, malzemenin enerji emilimi ve deformasyon kapasitesinde kayda değer bir değişime sebep olmaktadır. Bu bilgiler malzemenin değişken yük ve enerji altındaki davranışını anlamak açısından önem arz etmektedir.

20 J enerji için ağırlık düşürme testinde, altı farklı dizilimde üretilen numunelerin enerji emme kapasitelerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Burada

enerji seviyesinin düşmesi malzemenin delinmediğine ve bir kısım enerjinin emildiğine işaret ederken enerji seviyesinin düşmemesi ise penetrasyon ve perforasyonun olduğunu gösterir.

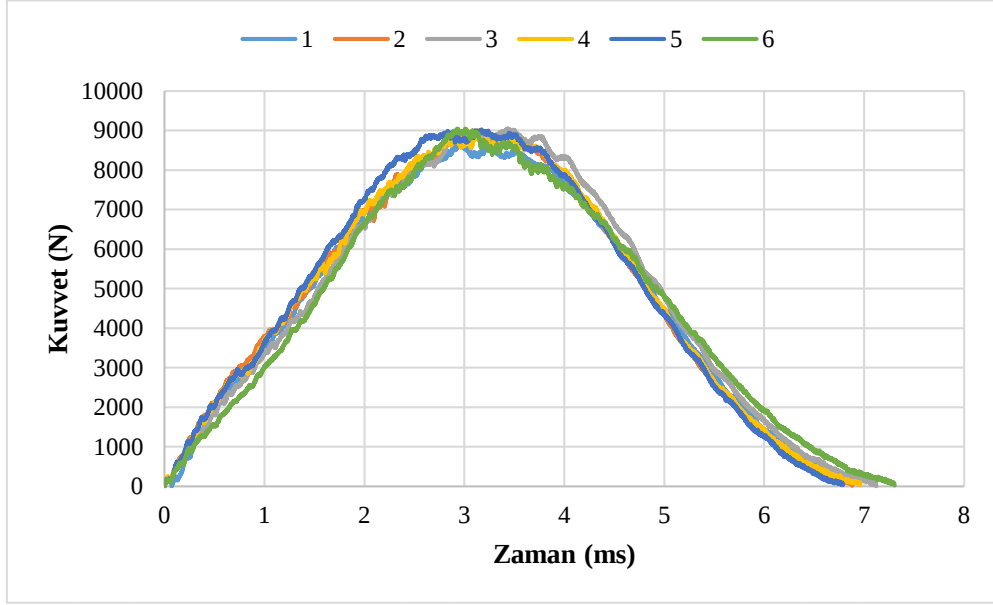


Şekil 4.1. 20 J energy-zaman grafiği

Şekil 4.1'deki enerji zaman grafiği incelendiğinde numuneler benzer davranışlar gösteriyor gibi görülmekte belirli farklar oluşmuştur. En yüksek enerji emilimi 1 ve 6 nolu numunelerde gerçekleşmiş olup, sırasıyla 12.75 joule ve 12.35 joule şeklinde olmuştur. En düşük enerji emilimi 11.45 joule ile 3 nolu numunede gerçekleşmiştir. 1 nolu referans numuneyle kıyaslandığında yaklaşık %10.18 lik bir enerji emilimi kaybı söz konusudur. Farklı yönelim açılarına sahip numunelerin darbe davranışları beklenildiği üzere farklı olmuştur.

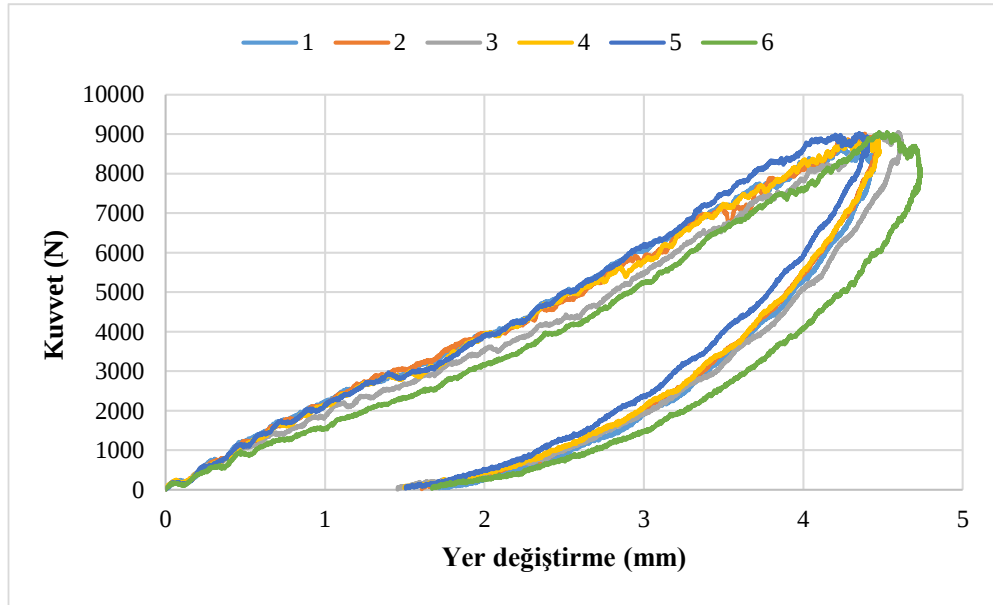
20 J enerji için ağırlık düşürme testinde, farklı istifleme açısına sahip altı farklı numunede zamana bağlı olarak kuvvet değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.

Şekil 4.2'deki eğriler incelendiğinde, tüm numuneler benzer davranış göstermiş kuvvet başlangıçta artarak 3-4 milisaniye civarında maksimum değere ulaşmış daha sonra numuneden sekerek düşüş göstermeye başlamıştır. En yüksek tepki kuvveti 3 ve 6 nolu numunelerde 9048.35 N ile gerçekleşmiştir. 2, 4 ve 5 nolu numunelerde de yaklaşık 9000 N tepki kuvveti görülürken 1 nolu numunede tepki kuvveti 8681.13 N ile en düşük olmuştur.



Şekil 4.2. 20 J için kuvvet-zaman grafiği

20 J enerji için ağırlık düşürme testinde, farklı istifleme açısına sahip altı numunenin kuvvet-yer değişime eğrileri Şekil 4.3'te verilmiştir. Kuvvet-yer değişime eğrisinde açık eğri malzemede penetrasyon ve perforasyon gerçekleştiğini gösterirken kapalı eğri malzemede penetrasyon ve perforasyon olmadığına işarettir.

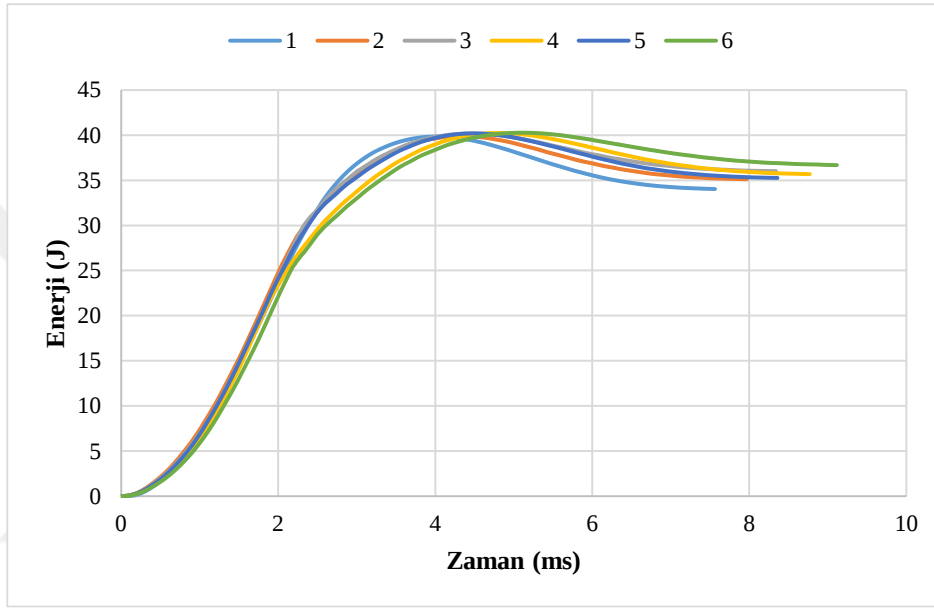


Şekil 4.3. 20 J için kuvvet-yer değişime grafiği

Şekil 4.3'teki tüm numunelerde genel olarak benzer bir eğri oluşmuştur. Eğriler incelendiğinde kuvvetin yer değişime ile birlikte arttığı, belli bir noktaya ulaştıktan

sonra ise düşmeye başladığı görülmüştür. En fazla yer değiştirme 4.73 mm ile 6 nolu numunede gerçekleşirken, en düşük yer değiştirme 4.40 mm ile 5 nolu numunede gerçekleşmiştir. 1, 2, ve 4 nolu numunelerde yaklaşık olarak 4.45 mm civarında yer değiştirme görülürken 3 nolu numunede 4.62 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir.

40 J enerji için ağırlık düşürme testinde, altı farklı istifleme açılarında üretilen numunelerin enerji emme kapasitelerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir.



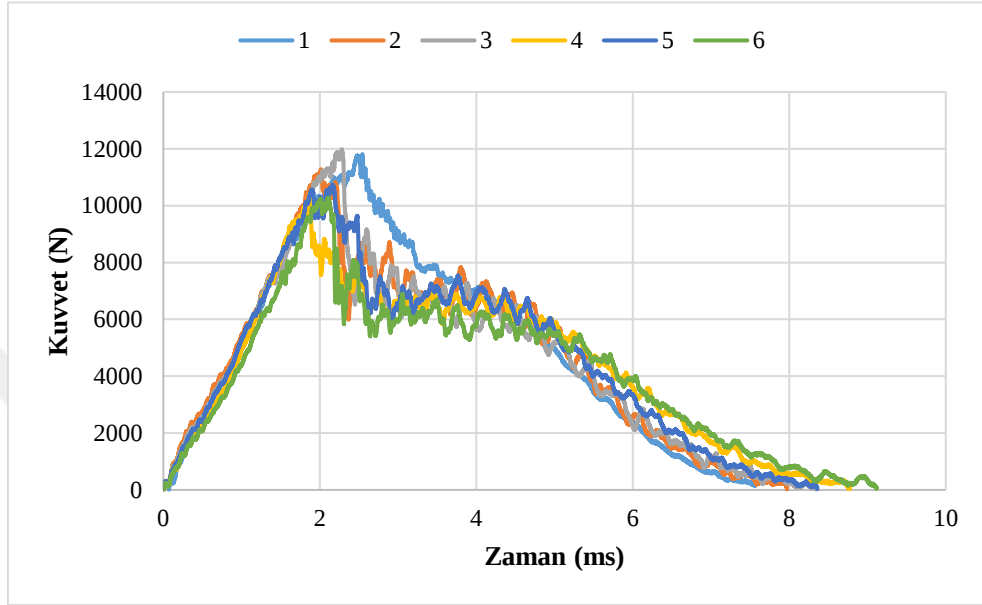
Şekil 4.4. 40 J için enerji-zaman grafiği

Şekil 4.4'teki her bir eğri, ilgili numunenin yükleme sürecindeki enerji birikimini ve enerji dağılımını ifade etmektedir. Eğriler ilk başta 2 ms zaman adımına kadar birbirine benzer değişim göstermektedir. Bu, numunelerin yapısal olarak homojen olduğunu ve enerji emilimi yönüyle tutarlı olduğunu belirtmektedir. 2–4.5 ms zaman aralığında ise hızlı bir enerji artışıyla birlikte malzemenin plastik deformasyon bölgesinde olduğu ve dinamik yükler altında enerji emilim kapasitesini artırdığı anlaşılmaktadır. 4.5 ms zaman adımından sonra eğri emilen enerji seviyesine inmektedir ve yatay bir seyir izlemektedir. Bu durum malzemenin artık daha fazla enerji ememediği ve bu noktadan sonra deformasyonunun bittiği şeklinde açıklanabilir.

Numunelerin maksimum enerji değerleri arasında referans numune olan 1 nolu numuneye göre yaklaşık %3-8 arasında değişen farklılıklar bulunmaktadır. En yüksek

enerji emilimi 36.68 J ile 6 nolu numunede gerçekleşirken, en düşük emilim 34.02 J ile 1 nolu numunede olmuştur.

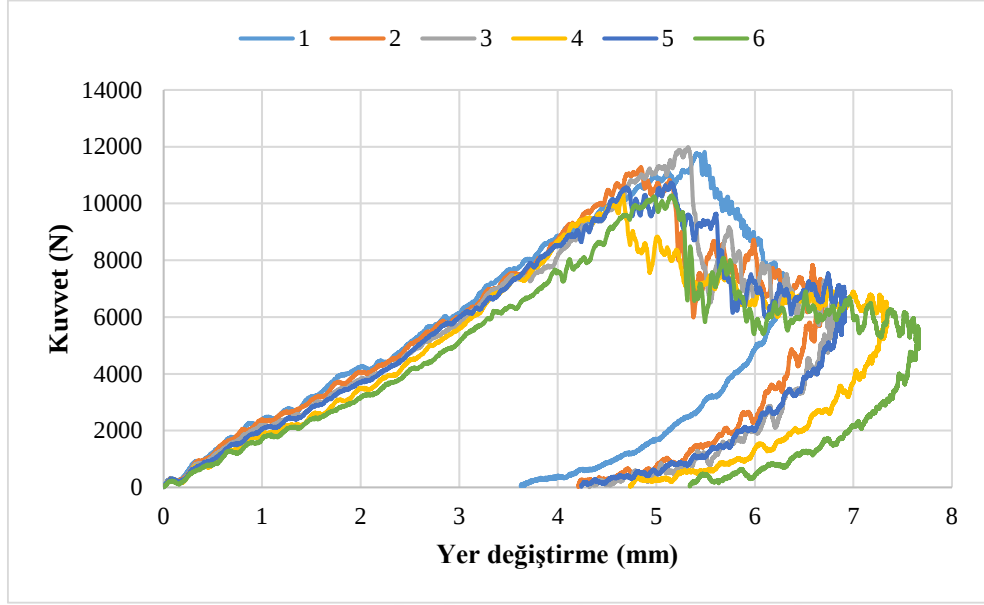
40 J enerji için ağırlık düşürme testinde, farklı istifleme açısına sahip altı numunede zamana bağlı olarak kuvvet değişimi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. 40 J için kuvvet-zaman grafiği

Şekil 4.5 incelendiğinde; tüm numunelerin benzer bir davranış gösterdiği söylenebilir, ancak maksimum tepki kuvvetlerinde belirgin farklar bulunmaktadır. En yüksek tepki kuvvetleri 11986.13 N ve 11817.20 N ile sırasıyla 3 ve 1 nolu numunelerde gözlemlenirken, en düşük tepki kuvveti 10282.22 N ile 6 nolu numunede görülmüştür. Tüm numunelerde 2 ms civarında maksimum kuvvete ulaşıldıktan sonra ani düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebi fiberlerin deformasyona dayanamayarak kopması olarak açıklanabilir. Daha sonrasında kuvvet bir süre dalgalanma göstererek sabit kalmış, yaklaşık 4 ms'den sonra yavaş bir şekilde düşerek yaklaşık 8 ms'de sıfıra ulaşmıştır. Kuvvette meydana gelen dalgalanmaların sebebi fiberlerin kopması ve matris çatlaklarından dolayıdır.

40 J enerji için ağırlık düşürme testinde, farklı istifleme açısına sahip altı numunenin kuvvet-yer değişime eğrileri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. 40 J için kuvvet-yer değiştirme grafiği

Şekil 4.6'da kuvvet-yer değiştirme grafiği incelendiğinde maksimum yer değiştirme değerlerinde istifleme açılarından dolayı ciddi farklar olduğu görülmektedir. En düşük yer değiştirme miktarı 6.31 mm ile 1 nolu numunede gerçekleşirken en fazla yer değiştirme 7.66 mm ile en karmaşık istiflemeye sahip olan 6 nolu numunede gerçekleşmiştir.

20 J ve 40 J olarak yapılan ağırlık düşürme deneyleri sonucunda, numunelerin ön ve arka yüzeylerde oluşan deformasyon yüzey alanları ölçülmüş olup, elde edilen değerler ve ortalamaları Tablo 4.2'de verilmiştir.

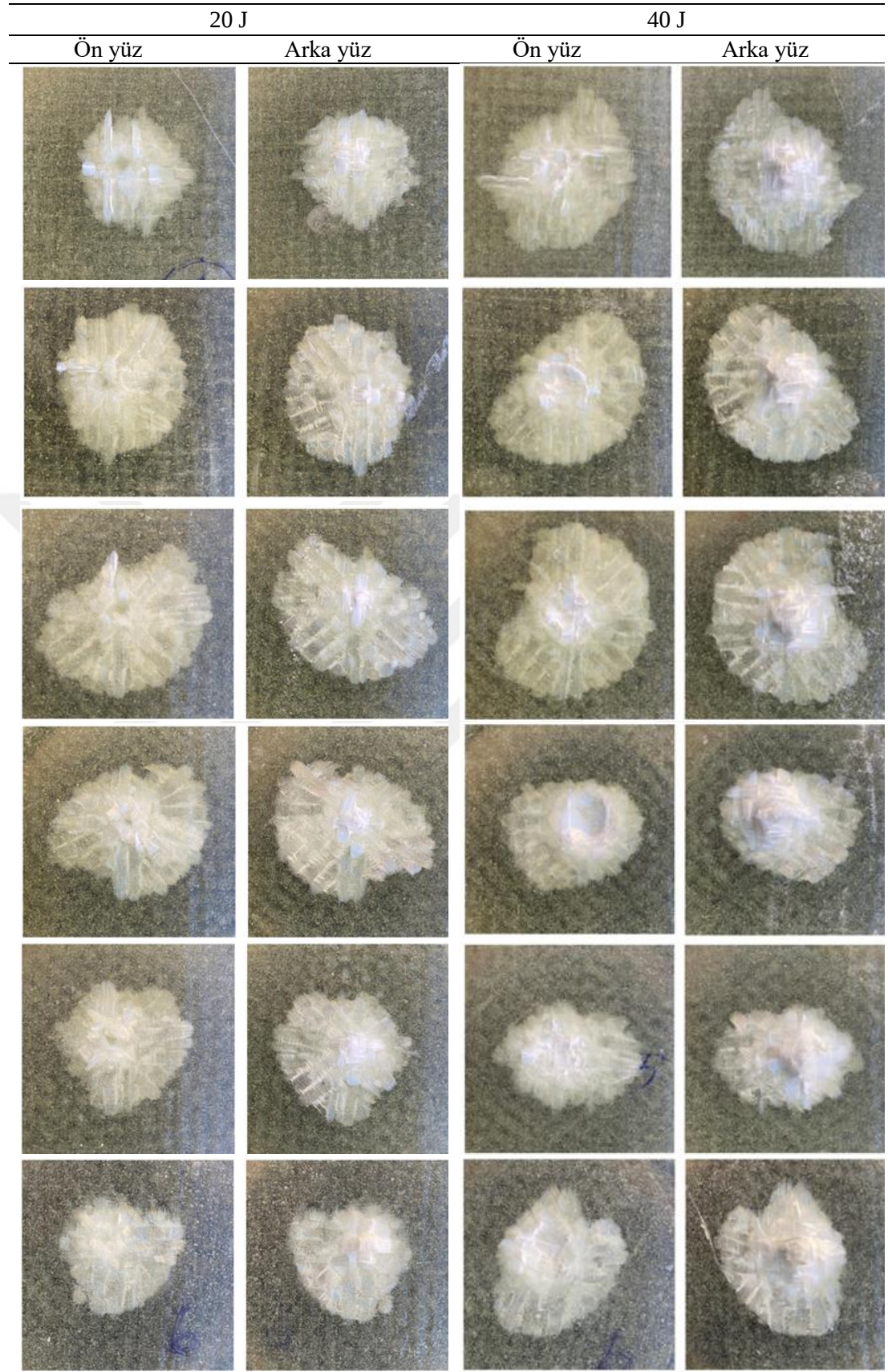
Deformasyon alanı, bir malzemenin darbeye karşı davranışını anlamak için kritik öneme sahiptir. Darbe testlerinde, deformasyonun genellikle fiberler doğrultusunda yayılması ve darbe yönüne ters tarafta minimum deformasyon oluşması istenir. Bunun temel nedeni, özellikle balistik testlerde, yüksek arka yüzey deformasyonunun belirli bir seviyeyi aştığında koruyucu işlevini yitirerek insan vücudunda künt travmalara yol açabilmesidir.

Tablo 4.2. Ağırlık düşürme deneyi sonrası numuneler üzerinde oluşan yüzey alanı

	20J			40J		
	Ön (mm ²)	Arka (mm ²)	Ortalama(mm ²)	Ön (mm ²)	Arka (mm ²)	Ortalama(mm ²)
1	504.1	507.82	505.96	849.2	852.7	850.95
2	798.238	805.63	801.934	929.7	938.8	934.25
3	872.8	956.326	914.563	1067.3	1098	1082.65
4	839.817	866.723	853.27	644.6	647.8	646.2
5	671.788	676.049	673.9185	573.7	577.5	575.6
6	590.534	592.207	591.3705	757	774.2	765.6

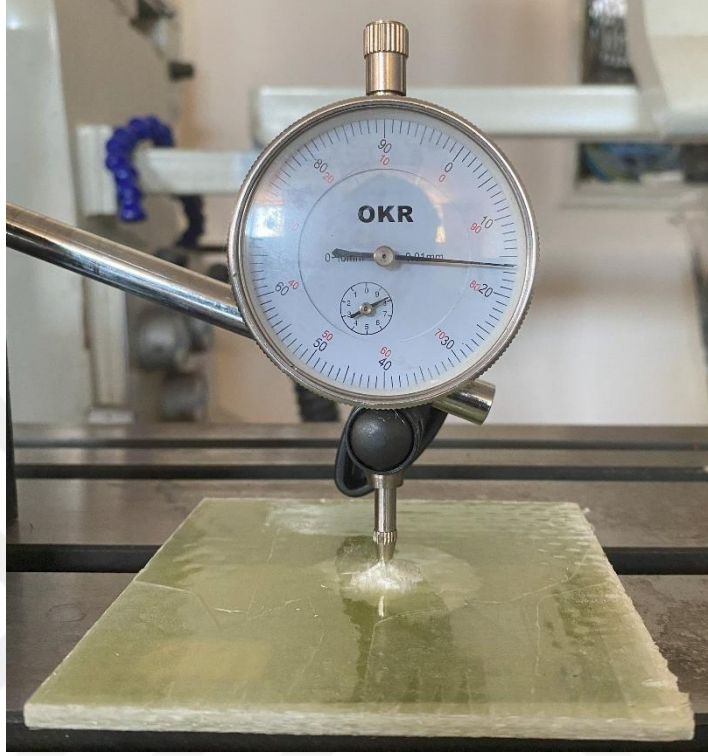
Tablo 4.2'deki veriler incelendiğinde 20 J darbe enerjisinde en düşük ortalama darbe deformasyon alanının 505.96 mm² ile 1 nolu referans numunesinde, en yüksek deformasyon alanı ise 914.56 mm² ile 3 nolu numunede gerçekleştiği saptanmıştır. 40 J darbe enerjisinde ise en yüksek ortalama darbe deformasyon alanı 1082.65 mm² ile yine 3 nolu numunede gözlemlenirken, en düşük deformasyon alanı 575.6 mm² ile 5 nolu numunede gerçekleşmiştir. Aralarında çok fark olmamakla birlikte arka deformasyon alanları ön deformasyon alanlarından yüksek olmuştur.

Şekil 4.7' de numunelerde meydana gelen deformasyon alanları net bir şekilde görülmektedir. 1 nolu numunenin ön yüzeyinde darbenin geldiği noktadaki birincil fiberlerde yatay ve dikey doğrultuda deformasyonlar net bir şekilde görülmektedir. 2,3,4 ve 5 nolu numunelerde de yine benzer şekilde yatay ve dikey doğrultunun yanı sıra 30° ,45° ve 60° fiber doğrultularında da deformasyon çizgileri net bir şekilde görülmektedir. 6 nolu numunede ise numunenin karmaşık yapısı belirgin bir doğrultuda fiber deformasyonu oluşmasını engellemiştir.



Şekil 4.7. Numune yüzeylerinde oluşan deformasyon görüntüleri

Darbe sonrası ön ve arka yüzeyler incelendiğinde ön yüzeyde çukur meydana gelirken arka yüzeyde tepe oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 4.8’de çukur ve tepe ölçümü için uygulanan yöntem görülmektedir.



Şekil 4.8. Numune ön ve arkasında oluşan deformasyonun ölçümü

Yapılan ölçümler sonrasında elde ölçülen ön ve arka deformasyon yükseklikleri Tablo 4.3’de görülmektedir.

Tablo 4.3. Ön ve arka deformasyon yükseklikleri

Numune No	20J		40J	
	Ön (mm)	Arka (mm)	Ön (mm)	Arka (mm)
1	0.21	0.68	0.64	3.11
2	0.03	0.39	0.98	3.05
3	0.20	0.69	0.69	3.14
4	0.29	0.51	1.98	3.75
5	0.28	0.48	0.49	3.85
6	0.13	1.22	1.30	4.31

Sonuçlar incelendiğinde 20 J darbe enerjisinde en küçük ön ve arka deformasyonun 2 nolu numunede gerçekleştiği görülmektedir. En büyük ön deformasyon 4 ve 5 nolu numunelerde olurken, en büyük arka deformasyon ise 1.22 mm ile 6 nolu numunede olmuştur.

40 J darbe enerjisinde en küçük ön deformasyon derinliği 0.49 mm ile 5 nolu numunede olurken en büyük ön deformasyon 1.98 mm ile 4 nolu numunede olmuştur. Arka deformasyon yüksekliği değerlerine bakıldığında en düşük deformasyonlar 3.11, 3.05 ve 3.14 mm ile sırasıyla 1, 2 ve 3 nolu numunelerde gözlemlenirken, en büyük deformasyon yüksekliği 4.31 mm ile 6 nolu numunede gözlemlenmiştir. 4 ve 5 nolu numunelerde ise sırasıyla 3.75 ve 3.85 mm deformasyon yüksekliği ölçülmüştür.

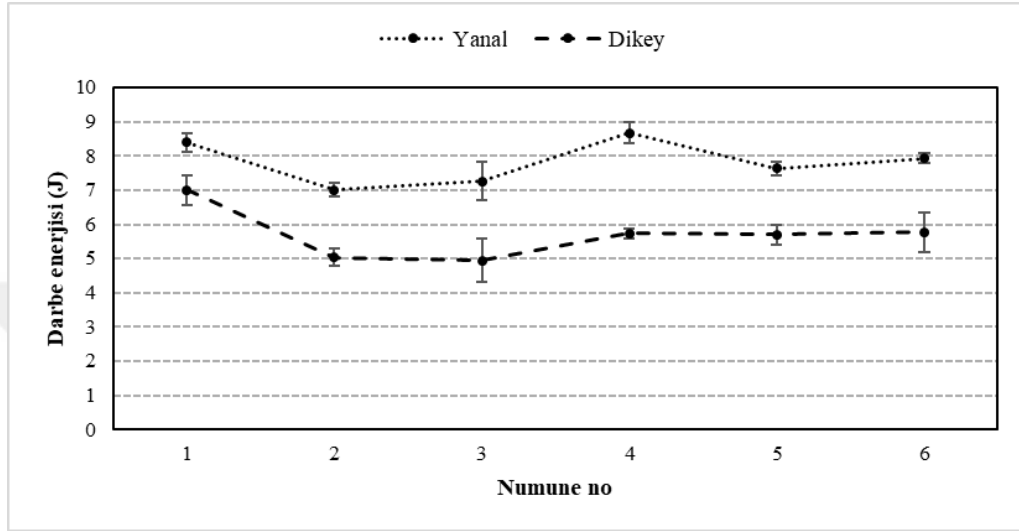
Darbe sonuçlarını yorumlamak sadece enerji emilimi, kuvvet ya da deformasyon alanı ile sınırlı değildir. Bunların bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekir. Daha önceden de bahsettiğimiz gibi düşük hızlı ya da yüksek hızlı darbe testlerinde beklenti enerjinin iyi bir şekilde sönmülmesi, deformasyonun ise fiber doğrultusunda yayılmasıdır. Ancak darbeye maruz kalan bir malzemede arka yüz deformasyon yüksekliğinin yüksek olması istenmeyen bir durumdur. Bir malzeme her ne kadar darbeye direnç gösterip perforasyona uğramasa da bu malzemenin insan sağlığı için yeterli darbe direnci gösterip göstermediği arka yüzeyde meydana gelen deformasyon yüksekliğine bağlıdır.

Sonuçlar istifleme açısının ağırlık düşürme testinde numunelerin farklı tepkiler göstermelerini sağlamıştır. Özellikle nispeten yüksek sayılabilecek 40 J darbe enerjisini tüm numunelerin başarılı bir şekilde sönmüledikleri ve perforasyona uğramadıkları görülmektedir. Ancak 4, 5 ve özellikle 6 nolu numunelerde meydana gelen arka yüzey deformasyon yükseklikleri bu numunelerin darbe testlerinde başarılı olmadıklarının bir göstergesidir. Bu numuneler darbenin fiber doğrultusunda yayılmasını sağlayamamış ve deformasyon alanları düşük, arka yüzey deformasyonları ise yüksek olmuştur.

Karmaşık fiber doğrultularının darbe esnasında kilitleme mekanizmasına sebep olarak darbe enerjisinin daha dar bir alana yayılmasına sebep olduğu ve dolayısıyla arka yüzey deformasyonunu artırarak daha kötü bir darbe direnci gösterdiklerini söylemek mümkündür.

4.2. Charpy Darbe Deneyi Bulguları

Şekil 4.9’da, numunelere yanal ve dikey doğrultuda Charpy darbe test cihazında yapılan deneylerden elde edilen darbe enerjisi verilerinin numuneye bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 4.9. Numunelerin yatay ve dikey olması durumunda darbe enerjisi değişimi

Şekil 4.9’daki veriler irdelendiğinde, yanal darbe enerjisi değerlerinin dikey darbe enerjisine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler numunelerin yanal yönde darbe dayanımının daha iyi olduğunu ve emilim kapasitesinin bu yönde daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Yanal darbe düzlem içi yani fiber doğrultusunda iken dikey darbe ise düzlem dışı doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, numunelerin darbe enerjileri arasındaki fark numunelerin istiflenme açısı ile doğrudan ilişkilidir. Numunelerin ayrı ayrı darbe enerjileri değerlendirilirse; 1 ve 4 nolu numuneler her iki darbe yönünde de diğer numunelerden daha yüksek direnç göstermişlerdir. Dikey doğrultuda emilen en yüksek enerji yaklaşık 7 J ile 1 nolu numunede gerçekleşirken 2 ve 3 nolu numuneler yaklaşık 5 J ile en düşük enerji emilimi göstermişlerdir. 4, 5 ve 6 nolu numuneler ise yaklaşık 5.7 J civarında enerji emilimi gerçekleştirmişlerdir.

Yanal doğrultuda ise en yüksek enerji emilimi 8.4 ve 8.66 J ile sırasıyla 1 ve 4 nolu numunelerde görülürken en düşük enerji emilimi ise 7 ve 7.27 J ile sırasıyla 2 ve 3 nolu numunelerde gerçekleşmiştir. Charpy darbe testi sonuçları hem yanal hem de dikey doğrultuda birbirleriyle tutarlı sonuçlar vermiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma İSG esasları çerçevesinde kişisel koruyucu donanım olarak kullanılan baret ve kasklarla ilgilidir. Cam fiber kullanılarak üretilen kompozitlerin farklı kumaş istifleme açılarında dizilmesinin baret ve kask yapımında uygulanabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel veriler analiz edilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Darbe testlerinde farklı istifleme açılarının etkileri net bir şekilde görülürken enerji emilimi için en başarılı numunenin 6 nolu numune olduğu görülmüştür. En düşük enerji emilimi 20 J darbe enerjisinde 3 nolu numune olurken 40 J darbe enerjisinde 1 nolu numune olmuştur.

Kuvvet-yer değiştirme eğrileri, tüm numunelerin darbe sırasında önce kuvvet artışı, ardından bir zirve noktası ve sonrasında azalma yaşadığını göstermiştir. Bu, malzemenin enerji soğurma mekanizmasını yansıtmaktadır. Maksimum yer değiştirme değerleri, istifleme konfigürasyonlarına bağlı olarak değişiklik göstermiş, 6 nolu numune her iki enerji seviyesinde de en yüksek yer değiştirmeyi sergilemiştir.

Ön ve arka yüzeylerdeki deformasyon alanları, istifleme konfigürasyonlarına bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Numune 6, her iki enerji seviyesinde de en büyük arka yüzey deformasyon yüksekliğine sahip olmuş, bu da darbe kuvvetlerini lif yönleri boyunca etkili bir şekilde dağıtamadığını göstermiştir. Bu sonuç, lif yöneliminin istenmeyen arka yüzey deformasyonlarını azaltmadaki önemini vurgulamaktadır.

Tüm numuneler, 40 J gibi yüksek enerji seviyelerinde bile perforasyonu engelleyebilmiştir. Ancak, 4, 5 ve özellikle 6 nolu numunelerin arka yüzey deformasyon yükseklikleri, koruyucu malzemeler için diğer numunelerle kıyaslandığında çok yüksek olmuştur. Bu bulgular, karmaşık istifleme açılarının yüksek enerji soğurma kapasitesine rağmen kuvvet dağılımını etkili bir şekilde gerçekleştiremeyerek optimal darbe dayanımı performansına ulaşamayabileceğini göstermektedir.

Yanal ve dikey Charpy darbe testlerinde 4, 5 ve 6 nolu numuneler 2 ve 3 nolu numunelere oranla daha başarılı olsalar da 1 nolu numunenin daha başarılı bir darbe direnci gösterdiği görülmüştür.

5.2. Öneriler

Tek eksenli rijitlik gerektiren uygulamalar için sabit açılı dizilimler uygun olabilirken, çok yönlü yükleme koşulları altında karma açılı dizilimler daha etkili sonuçlar sunabilir. Tabaka sayısı artırılarak ya da aynı istifleme açılarında farklı dizimler kullanılarak istifleme açısının darbe dayanımına etkisi daha detaylı bir şekilde incelenebilir. Ayrıca deneysel sonuçların sonlu elemanlar analizi ile desteklenmesi, malzemenin darbe direncini ve enerji emilim mekanizmalarını daha ayrıntılı olarak açıklamak için önemli bir katkı sağlayabilir. Bunlara ek olarak belirlenen en uygun istifleme açısına sahip malzemeden baret kalıpları kullanılarak baret üretilirse daha net çözümlere ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2023a, <https://www.riziko.com.tr/baret-kullanimi>, [Eriřim Tarihi: 15 řubat 2024].
- Anonim, 2023b, <https://isgrehberi.org/2018/08/17/baret-kullanimi-ve-ilgili-standartlar/>, [Eriřim Tarihi: 15 řubat 2024].
- Anonim, 2024a, <https://www.erkos.com.tr/kisisel-koruyucu-donanimlar-nelerdir>, [Eriřim Tarihi: 15 Aralık 2024].
- Anonim, 2024b, <https://kkdportal.csqb.gov.tr/contents/kkd-%C3%BCruen-kategorileri/ba%C5%9F-koruyucu-donan%C4%B1mlar/>, Baş koruyucu donanımlar, [Eriřim Tarihi: 15 Aralık 2024].
- Anonim, 2024c, <https://www.ismont.com.tr/baret-nedir-teknik-ve-tasarim-ozellikleri?srsltid=AfmBOoqhacPBAF7bWt4vFR6D2loSacpdk3lukSqAJYOqcAbzC01wiXs>, [Eriřim Tarihi: 15 Aralık 2024].
- Anonim, 2024d, <https://glpisguvenligi.com/urun/3m-bayii-perpa-gulepis-g3000-baret-gulepis/>, [Eriřim Tarihi: 15 Aralık 2024].
- Anonim, 2024e, <https://www.cigliisguvenligi.com.tr/index.php?pid=12>, [Eriřim Tarihi: 15 Aralık 2024].
- Anonim, 2024f, <https://www.csqb.gov.tr/media/88677/basboyun-brosur-202205.pdf>, [Eriřim Tarihi: 15 Aralık 2024].
- Arthanarieswaran, V. P., Kumaravel, A. and Kathirselvam, M., 2014, Evaluation of mechanical properties of banana and sisal fiber reinforced epoxy composites: Influence of glass fiber hybridization, *Materials & Design*, 64, 194-202.
- Bajpai, P. K., Ram, K., Gahlot, L. K. and Jha, V. K., 2018, Fabrication of glass/jute/epoxy composite based industrial safety helmet, *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 8699-8706.
- Bharath, B., Kumar, G. C., Shivanna, G., Hussain, S. S., Chandrashekhar, B., Raj, B. A. S., Kumar, S. A. and Girisha, C., 2018, Fabrication and mechanical characterization of bio-composite helmet, *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2716-2720.
- Bhudolia, S. K., Gohel, G., Subramanyam, E. S. B., Leong, K. F. and Gerard, P., 2021, Enhanced impact energy absorption and failure characteristics of novel fully thermoplastic and hybrid composite bicycle helmet shells, *Materials & Design*, 209, 110003.

- Bin Ashraf, M. U., Mubashar, A., Masud, M., Ejaz, H., Hussain, S. H. and Dilawar, M. S., 2024, Effect of fibre hybridization and stacking sequence on the low velocity impact response of flax/basalt/aluminum composite-metal joints, *Composite Structures*, 331, 117925.
- Boobalan, V., Sathish, T., Al-Enizi, A. M., Pandit, B., Gupta, M. and Prakash, C., 2024, Evaluation of mechanical and erosive wear properties of hybrid nano composites basalt/E-glass fiber + MWCNTs/SiO₂, *Journal of King Saud University-Science*, 36(5), 103148.
- Dhinakaran, V., Gokhulabalan, B., Kumar, A. R. and Ravichandran, M., 2020, Advancement in materials for industrial safety helmets, *Materials Today: Proceedings*, 27, 777-782.
- Gaur, S. K., Jadon, G. P. S., Narwariya, M., Verma, V. and Sonia, P., 2023, Static and impact analysis of industrial helmet of Nylon 4-6, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.164>
- Goh, G. D., Dikshit, V., Nagalingam, A. P., Goh, G. L., Agarwala, S., Sing, S. L., Wei, J. and Yeong, W. Y., 2018, Characterization of mechanical properties and fracture mode of additively manufactured carbon fiber and glass fiber reinforced thermoplastics, *Materials & Design*, 137, 79-89.
- Gohel, G., Bhudolia, S. K., Elisetty, S. B. S., Leong, K. F. and Gerard, P., 2021, Development and impact characterization of acrylic thermoplastic composite bicycle helmet shell with improved safety and performance, *Composites Part B: Engineering*, 221, 109008.
- Gul, M. and Ak, M. F., 2018, A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment, *Journal of Cleaner Production*, 196, 653-664.
- Haris, N. I. N., Ilyas, R. A., Hassan, M. Z., Sapuan, S. M., Afdzaluddin, A., Jamaludin, K. R., Zaki, S. A. and Ramlie, F., 2021, Dynamic mechanical properties and thermal properties of longitudinal basalt/woven glass fiber reinforced unsaturated polyester hybrid composites, *Polymers*, 13(19), 3343.
- Hiremath, V. S., Reddy, D. M., Mutra, R. R., Sajeev, A., Dhilipkumar, T. and Naveen, J., 2024, Thermal degradation and fire retardant behaviour of natural fibre reinforced polymeric composites-A comprehensive review, *Journal of Materials Research and Technology*, 30, 4053-4063.
- Kanok, M. M. H., Shifa, S. S., Haque, M. S. and Akter, A., 2023, Comparative study on mechanical properties of banana-glass fiber reinforced epoxy hybrid composites, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.356>
- Karthick, R., Anbumalar, V., Vigneshkumar, M., Gemsprim, M. S., Venkatesh, R., Dheenathayalan, P. and Selwin, M., 2023, Influence of glass fiber hybridization on flexural and water absorption behaviour of banana fiber reinforced epoxy composites, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.355>

- Kim, S., Lee, J., Roh, C., Eun, J. and Kang, C., 2019, Evaluation of carbon fiber and p-aramid composite for industrial helmet using simple cross-ply for protecting human heads, *Mechanics of Materials*, 139, 103203.
- Kumar, G. S., Sunil, C., James, J. and Student, C. J. I. T. S., 2014, Fabrication of glass fiber helmet, *In Proc. of The Intl. Conf. on Info., Eng., Manag. and Security 2014 (ICIEMS 2014)*, 156-160.
- Leng, B., Ruan, D. and Tse, K. M., 2022, Recent bicycle helmet designs and directions for future research: A comprehensive review from material and structural mechanics aspects, *International Journal of Impact Engineering*, 168, 104317.
- Marissen, R., Duurkoop, D., Hoefnagels, H. and Bergsma, O. K., 2010, Creep forming of high strength polyethylene fiber prepregs for the production of ballistic protection helmets, *Composites Science and Technology*, 70(7), 1184-1188.
- Muthukumar, K., Amirtham, K., Sundaramahalingam, A. and Mishra, N. K., 2022, Fabrication of natural fibre based industrial safety helmet, *Materials Today: Proceedings*, 64, 720-724.
- Rafiquzzaman, M., Islam, M. T., Hossain, M. R., Rabby, M. F. and Hashar, M. R., 2017, Fabrication and performance test of glass-bamboo fiber based industry safety helmet, *American Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 1(2), 20-25.
- Ning, H., Pillay, S., Thattaiparthasarathy, K. B. and Vaidya, U. K., 2017, Design and manufacturing of long fiber thermoplastic composite helmet insert, *Composite Structures*, 168, 792-797.
- Ragupathi, B., Bacher, M. F. and Balle, F., 2023, Separation and reconsolidation of thermoplastic glass fiber composites by power ultrasonics, *Resources, Conservation and Recycling*, 198, 107122.
- Rajesh, J. H. N., Manoj, K. G. and Uthranarayan, C., 2021, Scheming of mechanical properties of molybdcic acid added sisal glass fiber reinforced epoxy composite, *Materials Today: Proceedings*, 47, 7054-7059.
- Raji, A., Devaraju, A., Gopi, R. and Venkatesh, R., 2021, Fabrication and mechanical characterization of hybrid composite bike safety helmet, *Materials Today: Proceedings*, 39, 892-896.
- Ramesh, M., Palanikumar, K. and Reddy, K. H., 2013, Mechanical property evaluation of sisal-jute-glass fiber reinforced polyester composites, *Composites Part B: Engineering*, 48, 1-9.
- Ravi, Y. V., Kapilan, N., Rajole, S., Balaji, Y. S., Reddy, N. V. K. and Venkatesha, B. K., 2022, Damage resistance evaluation of E-glass and hybrid hemp-banana natural fiber composite helmet using drop weight impact test, *Materials Today: Proceedings*, 54, 330-335.

- Reis, P. N. B., Neto, M. A. and Amaro, A. M., 2018, Effect of the extreme conditions on the tensile impact strength of GFRP composites, *Composite Structures*, 188, 48–54.
- Santhosh, S., Saravanan, C., Rajaguru, K., Kumar, B. S. and Sathish, T., 2021, Fabrication and analysis of aluminium foam with glass fiber based on PMC for helmet applications, *Materials Today: Proceedings*, 37, 1286-1288.
- Shankar, S., Nithyaprakash, R., Praveen, S., Kumar, S. S. and Sriram, A. M., 2021, Analysis of motor cycle helmet under static and dynamic conditions considering different materials, *Materials Today: Proceedings*, 43, 1098-1102.
- Sheikh-Ahmad, J. Y., 2009, Machining of polymer composites, New York: Springer, 321 pages. DOI:10.1007/978-0-387-68619-6.
- Singh, Y., Singh, J., Sharma, S., Lam, T. D. and Nguyen, D. N., 2020, Fabrication and characterization of coir/carbon-fiber reinforced epoxy based hybrid composite for helmet shells and sports-good applications: Influence of fiber surface modifications on the mechanical, thermal and morphological properties, *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 15593-15603.
- Thwe, M. M. and Liao, K., 2002, Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo–glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33(1), 43-52.
- Thomas, A., Suresh, P., Thilak, J. A. J. and Subramani, N., 2017, Impact analysis on composite helmet by using frc and glass fiber by using ANSYS, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(3), 1629-1634.
- Topkaya, T., Çelik, Y. H. and Kilickap, E., 2020, Mechanical properties of fiber/graphene epoxy hybrid composites, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34, 4589-4595.
- Torrecilla-García, J. A., del Carmen Pardo-Ferreira, M., Rubio-Romero, J. C., Calero-Castro, S. J. and Nebro-Mellado, J. J., 2021, Assessment of research, development and innovation in occupational health and safety in Spain, *Safety Science*, 141, 105321.
- Vaidyaa, P., Magheswar, J., Bharath, M., Vishal, R. and Selvan, S. T., 2020, Experimental Analysis of Industrial Helmet Using Glass Fiber Reinforcement Plastic with Aluminium (GFRP+ Al). In *Emerging Trends in Computing and Expert Technology* (pp. 198-208). Springer International Publishing.
- Wallenberger, F. T. 2001, Introduction to reinforcing fibers, Composites, ASM handbook, 21, pp. 70-80. Materials Park, OH: ASM international.
- Zanko, M. and Dawson, P., 2012, Occupational health and safety management in organizations: A review, *International Journal of Management Reviews*, 14(3), 328-344.