

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON PLAKALARIN
BALİSTİK DİRENCİ

MEHMET EMİN KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Altuğ YAVAŞ (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Halit YAZICI
Dr. Öğr. Üyesi Tamer BİROL

BALIKESİR, EYLÜL - 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Ultra Yüksek Performanslı Beton Plakaların Balistik Direnci**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mehmet Emin KILIÇ

ÖZET

**ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON PLAKALARIN BALİSTİK
DİRENCİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEHMET EMİN KILIÇ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. ALTUĞ YAVAŞ)
BALIKESİR, EYLÜL - 2024**

Son yıllarda, terör faaliyetleri dünya genelinde giderek artmaktadır. Askeri ve sivil binaları hedef alan bu saldırılar, yalnızca yapısal hasarlara neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda büyük can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle, aşırı yüklerle direnç gösteren, yüksek performanslı yeni nesil inşaat malzemelerinin geliştirilmesi, araştırmacılar ve mühendisler tarafından büyük ilgi görmektedir. Dünyada en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun balistik performansı, askeri ve sivil yapılar için büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, geleneksel betona göre daha üstün mekanik özelliklere sahip olan Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB), savunma yapılarının tasarımında kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada; betona eklenen lifler sayesinde betonun silahlı saldırılara karşı dayanımının artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla farklı tipte yeni nesil çelik lifler kullanılarak geliştirilen UYPLB karışımlarının balistik performansları incelenmiştir. Bu kapsamda üç farklı beton karışımı kullanılarak 325x325 mm boyutlarında ve 80 mm kalınlığında plak elemanlar üretilerek bu plakaların balistik performans etkileri araştırılmıştır.

Sonuç olarak plak numuneler üzerinde yapılan çalışmalarda, referans olarak üretilen liffsiz betonun, krater derinliği ve eşdeğer krater çapı parametrelerinde %2 ve %3 çelik lifli numunelere göre daha fazla hasar gördüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlar, betonun her yerine homojen şekilde dağıtılan çelik liflerle takviye edilmesinin üstün balistik performans sağladığını göstermektedir. Hacimce lif oranı arttıkça basınç dayanımı artış gösterirken krater çapı ve krater derinliğinde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Balistik, ultra yüksek performanslı beton, çelik lif, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı

Bilim Kod / Kodları : 91127, 91130

Sayfa Sayısı : 66

ABSTRACT

**BALLISTIC RESISTANCE OF ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE
PLATES
MSC THESIS
MEHMET EMIN KILIÇ
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF.DR. ALTUĞ YAVAŞ)
BALIKESİR, SEPTEMBER - 2024**

In recent years, terrorist activities have been increasing worldwide. These attacks, which target military and civilian buildings, not only cause structural damage, but also lead to massive loss of life and property. For this reason, the development of new generation construction materials with high performance and resistance to extreme loads is of great interest to researchers and engineers. The ballistic performance of concrete, the most widely used construction material in the world, is of great importance for military and civilian structures. In recent years, Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC), which has superior mechanical properties compared to conventional concrete, has started to be used in the design of defense structures.

In this study; it is aimed to increase the resistance of concrete against armed attacks by adding fibers to concrete. For this purpose, the ballistic performances of UHPFRC mixtures developed using different types of new generation steel fibers were investigated. In this context, plate elements with dimensions of 325x325 mm and 80 mm thickness were produced using three different concrete mixtures and the effects of these plates on ballistic performance were investigated.

As a result, it was determined that the fiber-free concrete produced as a reference was damaged more than the specimens with 2% and 3% steel fibers in the crater depth and equivalent crater diameter parameters. These results indicate that reinforcement of concrete with steel fibers distributed homogeneously throughout the concrete provides superior ballistic performance. It was observed that compressive strength increased with increasing fiber content by volume, while crater diameter and crater depth decreased.

KEYWORDS: Ballistic, ultra-high performance concrete, steel fiber, compressive strength, splitting tensile strength

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLO LİSTESİ.....	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1 Beton	4
2.2 Lifli Betonlar.....	5
2.3 Balistik Kavramı ve Balistiğin Bölümleri.....	8
2.3.1 İç Balistik	8
2.3.2 Dış Balistik.....	10
2.3.2.1 Coriolis Etkisi	10
2.3.2.2 Balistik Katsayı	10
2.3.3 Hedef (Terminal) Balistiği	11
2.4 Mermi Kinetiği, Penetrasyon Mekaniği ve Balistik Limit.....	12
2.4.1 Mermi Kinetiği.....	12
2.4.2 Penetrasyon Mekaniği.....	13
2.4.3 Balistik Limit	15
2.5 Silah Terminolojisi.....	17
2.5.1 Silahlar ve Sınıflandırılması.....	17
2.5.2 Fişekler.....	18
2.5.2.1 Kapsül.....	19
2.5.2.2 Barut	19
2.5.2.3 Kovan	19
2.5.2.4 Çekirdek	20
2.6 Uluslararası Balistik Test Standartları ve Tablolar	21
2.7 UYPLB Balistik Deneyler	24
3. MATERYAL VE METOT	32
3.1 Deney Malzemeleri ve Özellikleri	32
3.1.1 <i>Agrega</i>	33
3.1.2 <i>Bağlayıcılar</i>	34
3.1.3 <i>Akışkanlaştırıcı</i>	37
3.1.4 <i>Lif</i>	37
3.1.5 <i>Mermi</i>	39
3.2 Deney Numunelerinin Oluşturulması	39
3.3 Mekanik Testler	44
3.4 Balistik Testler	46
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	59
5. KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Beton bileşenlerinin hacimce yaklaşık oranı.	5
Şekil 2.2: Ateşleme yapıldıktan sonraki zamanla basınç değişimi.	9
Şekil 2.3: Kinetik enerji penetrasyonu.	13
Şekil 2.4: Balistik limitin altındaki darbe davranışı.....	14
Şekil 2.5: Balistik limitin üzerindeki darbe davranışı.....	15
Şekil 2.6: Balistik etki altında hedef ve mermi arasındaki etkileşim.....	16
Şekil 2.7: Silahların sınıflandırılması.....	17
Şekil 2.8: Ateşli silahların sınıflandırılması.....	18
Şekil 2.9: Barut.	19
Şekil 2.10: Fişek yapısı.	20
Şekil 2.11: Ağırlık düşürme darbe testinin şematik gösterimi.....	28
Şekil 2.12: Beton plakaların kalınlıkları.	30
Şekil 3.1: Kuvars agrega.	33
Şekil 3.2: Bazalt agrega.....	34
Şekil 3.3: Portland çimentosu.	34
Şekil 3.4: Silis dumanı.	35
Şekil 3.5: Yüksek fırın cürufu.....	36
Şekil 3.6: Boyut dağılımı.	37
Şekil 3.7: Kullanılan çelik lifler.....	38
Şekil 3.8: Çalışmada kullanılan mühimmat.	39
Şekil 3.9: Betonda kullanılacak tartımı yapılmış malzemeler.	40
Şekil 3.10: Panmikser.	41
Şekil 3.11: Kalıplar.	41
Şekil 3.12: Betonun panmikserde hazırlanma aşamaları a) Kuru karışım, b) Plastik kıvam, c) Akışkan kıvam durumları.	42
Şekil 3.13: Betonun kalıplara yerleştirilmesi.	42
Şekil 3.14: Plastik örtü ile sarılan numuneler.	42
Şekil 3.15: Karışımlar için karıştırma süreleri.	43
Şekil 3.16: Yayılma testi.	43
Şekil 3.17: Basınç ve yarmada çekme testleri.....	45
Şekil 3.18: Atış testinde kullanılan fişek.....	46
Şekil 3.19: Atış testinde kullanılan silah.....	46
Şekil 3.20: Şematik atış test düzeneği.....	46
Şekil 3.21: Balistik test düzeneği.	47
Şekil 3.22: Balistik test atış alanı.	47
Şekil 3.23: Kumpas ile krater çapı ölçümü.	49
Şekil 3.24: Kumpas ile krater derinliği ölçümü.	49
Şekil 3.25: KR beton plaka hasarları.	50
Şekil 3.26: KM-2 beton plaka hasarları.	50
Şekil 3.27: K3D-2 beton plaka hasarları.	51
Şekil 3.28: K5D-2 beton plaka hasarları.	51
Şekil 3.29: KM-3 beton plaka hasarları.	52
Şekil 3.30: K3D-3 beton plaka hasarları.	52
Şekil 3.31: K5D-3 beton plaka hasarları.	53
Şekil 3.32: KİM-2 beton plaka hasarları.	53
Şekil 3.33: Kİ3D-2 beton plaka hasarları.....	54
Şekil 3.34: Mikro lif oranının etkisi.....	55

Şekil 3.35: 3D lif oranının etkisi.....	55
Şekil 3.36: 5D lif oranının etkisi.....	56
Şekil 3.37: %2 lif içeriğinde lif tipinin etkisi.....	56
Şekil 3.38: %3 lif içeriğinde lif tipinin etkisi.....	57
Şekil 3.39: Micro lifte iri agrega etkisi.	57
Şekil 3.40: 3D lifte iri agrega etkisi.	58

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Betonda kullanılan bazı lifleri özellikleri.....	6
Tablo 2.3: Fişek tipleri ve özellikleri.....	20
Tablo 2.4: Bazı uluslararası balistik koruyucu standartları.	21
Tablo 2.5: Koruma seviyeleri ve mermi tipleri.	22
Tablo 2.6: Güncel koruma seviyesi.	23
Tablo 2.8: RF 1, RF 2 ve RF 3 koruma seviyeleri.....	24
Tablo 2.9: Çalışma kapsamında yapılan deneyler.	26
Tablo 2.10: Çalışmalarında kullanılan liflerin özellikleri.....	27
Tablo 2.11: Çalışmalarında beton karışımlarının bileşenleri.....	27
Tablo 3.1: Çalışmada üretilen numuneler.....	32
Tablo 3.2: Beton bileşeni oluşturan malzemeler (kg/m ³).	33
Tablo 3.3: Bazalt agrega elek analiz sonuçları.	34
Tablo 3.4: Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri.	35
Tablo 3.5: Yüksek fırın cürufu teknik özellikleri.	36
Tablo 3.6: Çelik liflerin özellikleri.	38
Tablo 3.7: Mühimmatın teknik özellikleri.....	39
Tablo 3.8: Yayılma değerleri.....	44
Tablo 3.9: Beton numunelerin mekanik test sonuçları.	45
Tablo 3.10: Balistik test sonuçları.	54

KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ANFO	: Amonyum Nitrat Fuel Oil
AP	: Armour Piercing
ASTM	: American Society for Testing and Materials
.Cal	: Kalibre
CuZn30	: %30 Çinko İçeren Bakır Alaşım
CTP	: Compliance Testing Program
FN	: Flat Nose
FMJ	: Full Metal Jacket
ft	: feet
GFTB	: Geleneksel Fiber Takviyeli Beton
g	: grain
gr	: gram
HG	: Handgun
HOSDB	: Home Office Scientific Development Branch
JSP	: Jacket Soft Point
MPa	: Megapaskal (N/mm ²)
MSC	: Mild Steel Core
N	: Newton
NATO	: North Atlantic Treaty Organization
NBC	: Nuclear Biological Chemical
NDB	: Normal Dayanımlı Beton
NIJ	: National Institute of Justice
Psi	: Pounds-Force Per Square Inch
RF	: Rifle
RN	: Round Nose
RPB	: Reaktif Pudra Beton
SJHP	: Semi-Jacketed Hollow Point
UHPRC	: Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete
UYPB	: Ultra Yüksek Performanslı Beton
UYPLB	: Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton
VBL	: Velocity Ballistic Limit
YPLB	: Yüksek Performanslı Lifli Beton

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda değerli fikirleri ile bana yol gösteren, konunun belirlenmesi ve hazırlanması sırasında yardımını ve bu süreçte maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç.Dr.Altuğ YAVAŞ'a, tez çalışmam sırasında yardımlarını ve bilgilerini aktaran kıymetli hocam Dr.Öğt.Üyesi Tamer BİROL'a, sahip olduğu akademik bilgiler ile bu çalışmaya değer katan sayın hocam Prof.Dr. Halit YAZICI'ya, deney numunelerinin üretilmesinde beni yalnız bırakmayan Balıkesir Üniversitesi lisans öğrencileri Melih KIRABALI ve Naci ÖZKURT'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam kapsamında bana yol gösteren kıymetli amirlerime şükranlarımı ve saygılarımı arz ederim. Tez sürecinde desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen sevgili mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak her zaman desteğini arkamda hissettiğim kıymetli eşim, hayat arkadaşım ve meslektaşım Ümmügülüm ÇETİN KILIÇ'a ve bugünlere gelmemde en büyük emeklere sahip aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Vatan, Millet ve Bayrak uğruna canlarını feda eden aziz şehitlerimize ve kahraman gazilerimize minnettarız.

Balıkesir, 2024

Mehmet Emin KILIÇ

1. GİRİŞ

Dünya genelinde inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton genel olarak agrega, bağlayıcı (çimento vs.) ve suyun belirli bir oranda karıştırılmasıyla üretilmektedir. Bu temel malzemelerin yanı sıra ihtiyaç duyulması halinde ilave mineral katkı maddeleri (silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.) ve/veya kimyasal katkı maddeleri (priz hızlandırıcı, priz geciktirici, hava sürükleyici, akışkanlaştırıcı vb.) de eklenerek betona istenilen özellikler kazandırılabilir. Betonun ekonomik olması, plastik haldeyken işlenebilir ve kolay şekil verilebilir olması, kolay bulunabilir ve yerel malzemelerle üretilmesi, üretim ve dağıtım ağının yaygın olması, yangına karşı mukavemeti, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, çelik donatı ile çok iyi aderans sağlaması ve yüksek basınç dayanımı gibi üstün özellikleri olmasına rağmen çekme dayanımının düşüklüğü, sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyon gösterebilmesi, gevrek ve kırılğan yapısı gibi bazı dezavantajları vardır. Beton içerisine çeşitli lifler (cam, çelik, polipropilen, plastik, sentetik, doğal vb.) ilave edilerek olumsuz özelliklerin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Eklenen liflerin olumlu ve olumsuz karakteristik özellikleri barındırması ve ayrıca konu ile ilgili yapılan çalışmalar neticesinde liflerin darbe dayanımı, süneklik ve enerji yutma kapasitesi gibi bazı mekanik özelliklerde üstünlüklere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Cam lifler, betonda basınç ve çekme dayanımına olumlu yönde katkı sağlamaktadır (Yaprak, Şimşek, & Öneş, 2004). Betonda dayanımı, durabiliteyi, sünekliği ve tokluğu artırmak için naylon lifler takviye malzemesi olarak tercih edilmektedir (Rafalko, Brandon, Filz, & Mitchell, 2007). Çelik liflerin beton içerisinde yeterli dozajda kullanılması hem dayanımı hem de enerji yutma kapasitesini geliştirmektedir (Kozak, 2013).

Yıllar boyunca en popüler yapı malzemesi olan beton, 5000 yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır. Ülkemizde beton, tarihimize baktığımızda önemli bir yere etkiye sahip olan Ayasofya'nın inşasında tercih edilmiştir. Betonarme ürünlerin kullanımı, 1850'de başlamış olup beton malzemesi kullanılarak ilk yol çalışması ve ilk betonarme ev o tarihten itibaren inşa edilmiştir. Dünya tarihi incelendiğinde ise ilk aşamada hazır beton 1903 yılında Almanya'da üretilmeye başlanmıştır. Türkiye'de ise, hazır beton üretimi 1970'lerin sonlarına doğru başlamıştır (Kılıç, 2023). 1970'li yılların sonundan itibaren hazır beton santrallerinin kurulmasıyla bilgisayar sistemleri aracılığıyla istenilen oranlarda malzemelerin bir araya getirilip karıştırılması sonucu hazır beton üretimi gerçekleştirilmiştir (Akakin vd., 2013). Yapı malzemeleri konusunda gelişen teknolojiyle birlikte son yarım asırda yapılan

çalışmalar neticesinde beton karışımının içine çeşitli malzemeler eklenerek yeni nesil beton türleri elde edilmiştir. Yüksek dayanıklılık ve gelişmiş mekanik özelliklere sahip olan Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB) bu türlerden bir tanesidir. Beton karışımına ilave lif takviyesi yapılarak betonun çekme ve eğilme dayanımı ile sünekliliği arttırılmaktadır. Liflerin kılcal çatlakları sınırlaması sonucunda UYPLB çevre etkilerine karşı daha yüksek dayanıklılık gösterebilmektedir. İnce ve yüksek mukavemetli agrega, yüksek sıklık oranlı içyapı ve su/bağlayıcı oranı çok düşük olarak üretilen bu betonlarda standart kür uygulanarak 100-150 MPa arasında basınç dayanımı elde edilebilmektedir. Yüksek güçlü karıştırıcılar ve özel kürlenme uygulaması yapılarak daha yüksek basınç (150MPa ve üzeri) dayanımları elde edilebilmektedir (Richard & Cheyrezy, 1995).

UYPLB genel manada ince agrega, çimento, silis dumanı, su, süper akışkanlaştırıcı katkı ürünleri ve liflerden oluşmaktadır. Çok ince ve yüksek dayanımlı agregalar (kuvars vb.) kullanarak sıkı ve homojen bir iç yapı oluşturulması amaçlanmaktadır. Betonda homojenlik ve maksimum basınç dayanımının elde edilebilmesi için normal dayanımlı betonlara (NDB) göre daha fazla çimento ilave edilmektedir. Silis dumanı, çok ince bir malzeme olması sayesinde karışımdaki çimento taneleri arasındaki boşlukları azaltmakta ve puzolanik özelliği nedeniyle betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için reaksiyona girmektedir. Yüksek dayanım elde etmek için genellikle 0.20'den daha düşük su/çimento oranları gerektiğinden, betonun işlenebilirliğini sağlayabilmek için süper akışkanlaştırıcı katkı ilavesi zorunlu olmaktadır. Çelik lifler eğilmeyi arttırdığı gibi klasik betonun sünekliliğini ve tokluğunu da arttırarak darbe dayanımını artırma konusunda etkili bir parametre durumundadır.

Darbe dayanımı, betonların ani ve tekrar eden dinamik yükler altında göstermiş oldukları direnç etkisi olarak tanımlanmaktadır. Bu direnç, özellikle patlayıcı maddeler etkisinde kalan yapılar öncelik alınmak üzere su yapıları, endüstriyel tesisler, havaalanı pistleri, kazıklar, demiryolu traversleri, askeri tesisler, nükleer santraller gibi yapılarda son derece önemlidir ve darbe dayanımının yüksek olması tercih edilmektedir. Geleneksel beton darbe dayanımına karşı yetersiz kalmaktadır ve darbe etkisi ile meydana gelen çatlaklar kontrolsüz olarak yayılmaktadır (Yazıcı & İnan Sezer, 2008). Ultra Yüksek Performanslı Betonlar (UYPB) göstermiş olduğu üstün mekanik özellikleri ve sünekliliği sayesinde sivil ve askeri inşaatlarda yüksek hızlı mermi çarpması gibi tehlikeli yüklere karşı direnç gösterme konusunda umut verici bir malzeme olarak ortaya çıkmaktadır (Liu vd., 2022).

Son yıllarda, terör faaliyetleri dünya genelinde daha sık meydana gelmeye başlamıştır. Bu terör saldırıları, askeri ve sivil binaları hedef almakta ve sadece yapısal hasarlara neden olmamakla kalmamaktadır; aynı zamanda büyük can ve mal kayıplarına da yol açmaktadır. Bu nedenle, aşırı yüklere dayanabilen ve yüksek performanslı yeni nesil inşaat malzemelerinin geliştirilmesi, araştırmacılar ve mühendisler tarafından büyük ilgi görmektedir. Dünyada en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun, balistik performansı askeri ve sivil yapılar için büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, geleneksel betona göre daha üstün mekanik özelliklere sahip olan Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB), savunma yapılarının tasarımında kullanılmaya başlanmıştır.

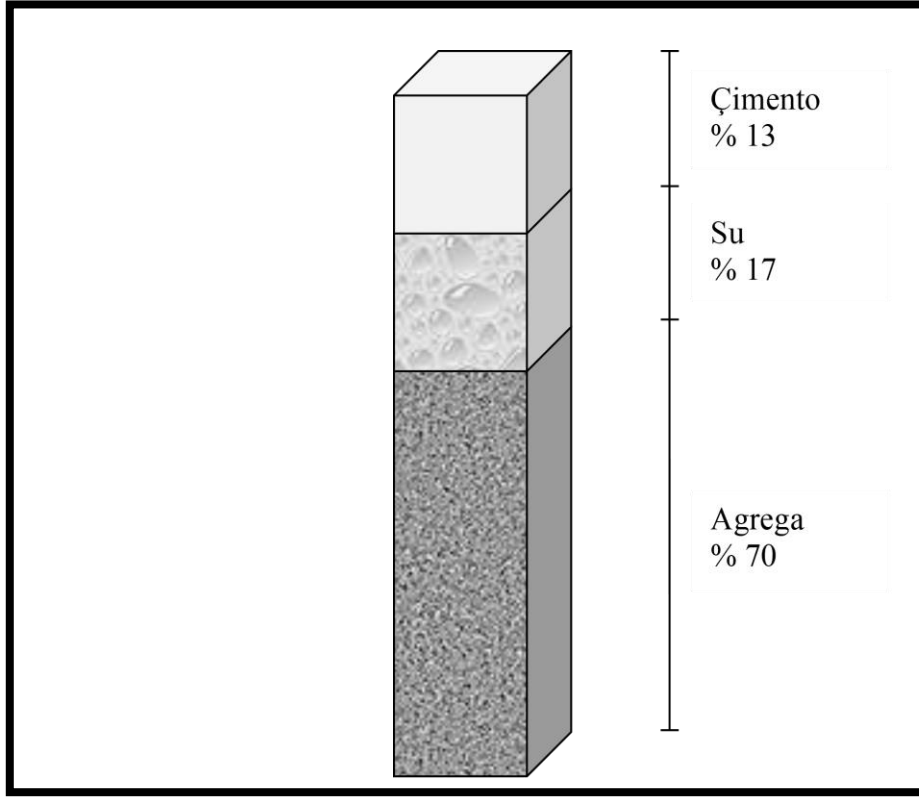
Bu çalışmada; betona eklenen lifler sayesinde betonun silahlı saldırılara karşı dayanımının artırılması hedeflenmektedir. Bu amaçla çok kancalı yeni nesil çelik lif kullanılarak geliştirilen UYPLB karışımlarının balistik performansları incelenecektir. Bu kapsamda beş farklı beton karışımı kullanılarak 325x325 mm boyutlarında ve 80 mm kalınlığında plak elemanlar üretilerek bu plakaların balistik performansa etkilerinin araştırılması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Beton

İnsanlığın ilk çağlarından beri barınak olarak kullanılmak üzere yaşam alanları oluşturma gereksinimleri, uygarlık tarihinde önemli gelişmelerin yaşanmasını tetiklemiştir. Bu süreçte, ilkel çağlarda kullanılmakta olan mağaralardan günümüzün devasa gökdelenlerine kadar olan evrimde, betonun ve betonarme yapıların keşfi büyük rol oynamıştır. Bu buluşlar, yapı sektöründe büyük ilerlemelere ve gelişmelere imkân sağlamıştır. Beton ve benzeri karışımların tarihi, insanlık tarihinde çok eski dönemlere dayanır. Göbeklitepe'deki tapınak inşaatında 12.000 yıl önce beton benzeri malzemeler kullanıldı. Mısır piramitlerinde ve Çin Seddi'nde ise kireç ve alçı esas alınarak kullanılan harçlar kullanıldı. Romalılar, kireç ve volkanik kül karışımı olan puzolan çimentoyu keşfetti ve bu malzemeyle birçok önemli yapı inşa ettiler, bunlar arasında Pantheon, Colosseum ve Roma Hamamları bulunmaktadır. Betonun özellikleri ilk defa milattan sonra 27 yılında bir mimari kitapta bahsedildi. Yaklaşık 500 yıl sonra, Ayasofya gibi tarihin en önemli yapılarından birinin yapımında beton kullanıldı. Türkler ve Persler tarafından kireç ve tuğla tozunun bir araya getirilmesiyle çok güçlü bir bağlayıcı olan "Horasan Harcı" ise 1000'li yıllarda keşfedilmiştir (THBB, 2019).

Beton genel anlamda agrega, su ve çimentonun belirli oranlarda karışımıyla elde edilen ve zamanla katılaşıp sertleşebilen (priz alan) kompozit bir malzemedir. Beton, çağdaş toplumların en önemli yapı malzemelerinden biridir ve birçok yapıda kullanılmaktadır (Gagg, 2014). Dünya genelinde her yıl 10 milyar m³'ten fazla beton üretildiği tahminleri yürütülmektedir. Bu, dünya nüfusu başına yaklaşık 1.25 m³ (yaklaşık 3 ton) betonun üretildiği sonucunu göstermektedir. Dünya genelinde içme suyundan sonra en çok tüketilen malzeme betondur. Betonun dünya üzerinde çok fazla kullanılmasının sebepleri olarak yerel malzemeler kullanılarak üretilebilmesi, ekonomik olması, kolay şekil verilebilmesi, yaygın üretim ve dağıtım ağına sahip olması, çelik donatı ile bir araya geldiğinde kuvvetli bir uyuma sahip olması, yangına karşı dirençli olması, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklı olması ve yüksek basınç mukavemetine sahip olması gibi özelliklerin neden olduğunu söylenmektedir. Beton Şekil 2.1'de gösterildiği gibi genel olarak hacimce %70 agrega (iri ve ince) %17 su ve %13 çimentodan (bağlayıcı malzemedan) meydana gelmektedir.



Şekil 2.1: Beton bileşenlerinin hacimce yaklaşık oranı.

2.2 Lifli Betonlar

Betonun özelliklerini olumlu yönde değiştirmek amacıyla, belirli bir boy/çap (narınlık oranı) oran değerine sahip metalik, polimerik, mineral veya doğal yapılmış malzemelere lif (fiber) denmektedir. Bu lifler çelik, plastik, cam gibi çeşitli malzemelerden değişken boyutlarda üretilmektedir. Amerikan Beton Enstitüsü'nün bir lifin en iyi tanımlayıcı parametresinin lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle hesaplanan "boy/çap" (aspect ratio) oranı olduğunu kabul etmektedir. Eşdeğer lif çapı, lifin kesit alanına eşdeğer olan bir dairenin çapı olarak tanımlanır. Lifin tanımında kullanabilecek diğer önemli faktörler ise lifin geometrik yapısı ve çekme gerilmesi olarak belirtilebilir. (Ünal, Uygunoğlu, & Gençel, 2007).

Geleneksel betonun içerisine betonun bazı olumsuz özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacıyla çeşitli yöntemlerde değişik miktarlarda lifler katılmaktadır. Değişik malzemelerden üretilmiş bazı lif çeşitleri ve özellikleri Tablo 2.1'de sunulmuştur (Uğurlu, 1994).

Tablo 2.1: Betonda kullanılan bazı lifleri özellikleri (Uğurlu, 1994).

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (E) (10 ³ MPa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Cam	1035-3795	69	1.5-3.5	2.5
Çelik	276-2760	200	0.5-35	7.8
Naylon	759-828	4.1	16-20	1.1
Polipropilen	552-759	3.5	~25	0.9
Polyester	724-863	8.3	11-13	1.4

Betonun içinde yaygın olarak kullanılan lifler çelik, polipropilen, cam liflerdir. Liflerin beton içinde homojenliğin korunacağı şekilde dağılması ve bu homojen olan dağılımın karıştırılmasından sonraki süreçte de bozulmaması çok önemlidir. Üniform dağılımı sağlayan bu lifler, beton içinde oluşmuş olan çatlakları önler ve çatlakların ileri ölçülere gelmesini engelleyerek betonun dayanıklılığını artırmaktadır. Betonda lif kullanımı, çekme ve eğilme dayanımını artırmanın yanı sıra betonu darbe etkisine karşı da daha dayanıklı hale getirmektedir. Bu nedenle betonarme kazıklar, yollar, su boruları ve büyük fabrika inşaatlarında lifli betonların kullanılması daha iyi sonuçlar vermektedir (Ünal, 1994).

Kullanım alanları ve mekanik özellikleri bakımından çok farklı lif türü bulunmaktadır. Bunlar genel olarak;

- Doğal Lifler
 - Bitkisel Lifler
 - Hayvansal Lifler
 - Mineral Lifler
- Sentetik Lifler
 - Metalik Lifler
 - Seramik Lifler
 - Polimer Lifler

şeklinde sınıflandırılabilirler.

En eski olarak değerlendirilen doğal liflerin saman ve at yelesi olduğu bilinmektedir ve Portland çimentosu ile kullanılan diğer doğal lifler arasında bambu, hindistan cevizi, şeker kamışı ve ahşap gibi lifler bulunmaktadır. Bu liflerin en önemli özelliklerinden biri kolayca elde edilebilir olmalarıdır. Ancak, alkali ortamda parçalanma eğiliminde oldukları için bu liflerin kullanımı sorunlara yol açabilmektedir. Bu sorunu çözmek için betonun alkaliliğini azaltan katkıları kullanılabilir (Ekicioğlu, 2003).

Sentetik lifler insan yapımı liflerdir. Genellikle tekstil endüstrisindeki gelişmeler, araştırmalar ve çalışmalar sonucu bulunan kimyasal sanayi ürünleridir. Betondaki alkali etkilere karşı direnci yüksektir. Naylon, polyester, polietilen, polipropilen başlıca sentetik esaslı yapay liflerdir. Bu liflerin çekme dayanımı genellikle yüksektir ancak elastisite modülleri çoğunlukla küçüktür. Betona genellikle hacimce %0.1 ile %0.3 arasında küçük miktarlarda veya %0.4 ile %0.8 arasında büyük miktarlarda katılırlar. En yaygın karışım miktarı ise %0.1'dir (Sarı, 2013).

Takviye fiber içerikli betonun mekanik özelliklerini birçok parametre etkilemektedir. Bunlar su/bağlayıcı oranı, kullanılan agreganın türü ve tane dağılımı, çimento çeşidi ve oranı, örneklerin ebatlarından, şeklinden ve oluşturulma metotları, liflerin narinlik oranı, lifin boyu(uzunluğu), lifin şekli ve beton karışım içerisinde bulunma oranıdır. Belirtilen parametreler betonun eksik olan bazı özelliklerini değiştirmektedir. Bu değişiklikler Tablo 2.2.'de gösterilmiştir (Aral, 2006).

Tablo 2.2: Fiber takviyeli betonda değişen bazı özellikler ve oranları (Aral, 2006).

Özellik	Artış (%)
Tokluk	100-1200
Darbe Dayanımı	100-1200
İlk Çatlak Dayanımı	25-100
Çekme Dayanımı	25-100
Basınç Dayanımı	±25
Yorulma Dayanımı	50-100
Şekil Değişirme Oranı	50-300
Kavitasyon-Erezyon Direnci	200-300
Eğilme Çekme Dayanımı	25-200
Elastisite Modülü	±25

2.3 Balistik Kavramı ve Balistiğin Bölümleri

Balistik, merminin silahın (namlunun) içindeki ve dışındaki hareketlerini ve hedef üzerinde bırakmış olacağı etkisini inceleyen bilim dalıdır (Yavaş, 2009). Balistik:

- İç (Internal) balistik
- Dış (External) balistik
- Hedef (Terminal) balistiği olarak üç değişken çalışma alanına sahiptir (Alper & Çoruhlu, 2006).

Bu tez çalışmasında hedef (terminal) balistiği kapsamında olduğundan merminin hedef üzerindeki oluşturacağı etkileri kapsamaktadır.

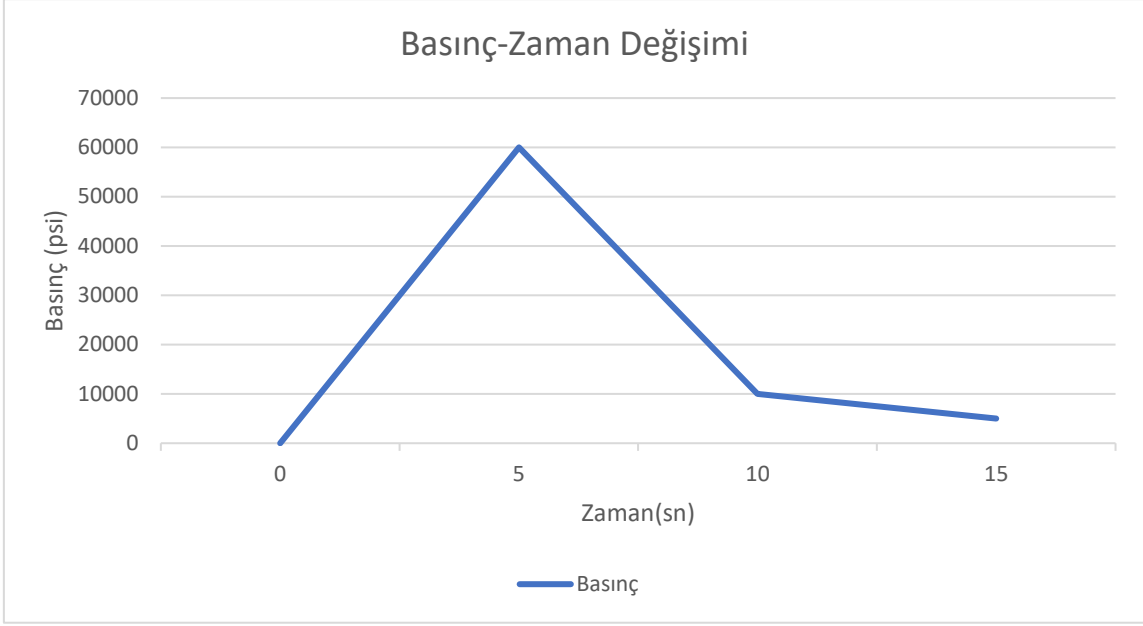
2.3.1 İç Balistik

İç balistik, silahın ateşlenmesiyle başlayan olayların tamamını kapsar ve mermiye istenilen ilk hızı kazandırmak gibi temel bir görevi bulunmaktadır (Akçay, 2010).

Diğer bir deyişle barutun yanmaya başlamasından itibaren merminin namludan ayrılmasına kadar geçen süreçteki olayları inceleyen bir bilim dalıdır. Bu süreçte, merminin ilk hareketi, barutun yanması, oluşan basınç, mermi hızı ve namlu içindeki diğer olaylar gibi konuları ele almaktadır. Temel hedef, sevk barutundaki kimyasal enerjinin mermiye kinetik enerji olarak aktarılmasıdır (Carlucci & Jacobson, 2008).

Temel yaralayıcı olarak belirlenen merminin ateşlenmesi ile sürece başlamanın en etkili ve basit yaklaşım olacağı değerlendirilmektedir. Merminin ateşlenmesi, kovan iç kısmında yer alan barutun hızlı bir kimyasal tepkimeyle yanması sonucunda gerçekleşir. Bu tepkime sonucu açığa çıkan yanma gazları, mermiyi namlu içinde hedefe doğru iter. Mermi namlu içinde ilerlerken, namlu içinde bulunan yiv ve setin sağladığı rotasyonel hareketi de alır. Sonuç olarak, mermi rotasyonel bir hareket kazanmış olarak ve erişebileceği en yüksek hıza ulaşmış şekilde namluyu terk etmektedir (Özer, 2017).

İç balistiğin kapsamına kapsül, kapsülün ateşlenmesi, yanma hızı, barutlar, yivler-setler, fişek yatağı, namlu boyutları, namlu içi basınç ve mermi hızı gibi alanlar dahildir. Silah aracılığı ile gerçekleştirilen ateşleme sırasında kovanda oluşan sıcaklık yaklaşık olarak 2870°C'ye kadar ulaşırken, eş zamanlı olarak mermiye 25 ton kadar bir basınç uygulanmaktadır (Güngör, 2021).



Şekil 2.2: Ateşleme yapıldıktan sonraki zamanla basınç değişimi (Özbağdatlı, 2023).

Şekil 2.2'de silahtan ateşleme yapıldıktan sonra basınç ve zaman arasında bulunan değişkenlik ilişkisi verilmektedir. Ateşleme sonrası fişek yolundaki mermi maksimum 60.000 psi (yaklaşık 4.000 bar) basınca ulaşmaktadır. Daha sonra yaklaşık 15 saniye içinde 5.000 psi'a (yaklaşık 300 bar) düşmektedir (Özbağdatlı, 2023).

Bir silah, temelde bir ısı makinesidir ve bir otomobil motoruna benzer şekilde çalışmaktadır. Gazlar, motorun içinde genişleyerek pistonun hareketine yol açtığı gibi, merminin hareketine de sebep olmaktadır. Ateşleme gerçekleştiğinde yüksek basınçlı gazlar hızla yayılır, ancak mermi atalet ve sürtünmeden dolayı hareket etmemektedir. Fakat basınç arttıkça mermi hareket etmeye başlar. Merminin hızlanmasıyla birlikte, gaz basıncı da artar ve bir maksimuma ulaşır. Bu noktadan sonra, basınç azalır ve mermi silahtan ayrılmaya başlar. Ancak, bu aşamada, silahın ağzındaki basınç, mermi ayrıldıktan sonra bile bir süre devam eder ve mermiyi bir mesafe boyunca hızlandırır. Farklı düzenlemelerle, genişleyen gazlar dengelenerek silahı etkileyen kuvvetler dengelenir. İç balistikte, mermi hızlarını ve gaz basınçlarını zaman ve silahın içerisinde mevcut bulunan hareketi esas alınarak belirlenen formüller geliştirilmiştir. Modern top mermilerinde, yerçekimi ivmesinin 20.000-30.000 katı kadar ivme elde edilebilir ve yüksek olarak nitelendirilen gerilimlere neden olabilir. Bu sebeptendir ki iç balistik, namlu gerilmesinin hesaplamasını önemli bir konu olarak ele alır. Ayrıca, silahtaki iç gerilmeler, dışarıdan uygulanacak gecikmelerle azaltılabilir (Alarçin, 2014).

2.3.2 Dış Balistik

Dış balistik merminin namludan çıkmasının ardından uçuşu gerçekleştirdiği sırada oluşan hareketi incelemektedir (Hayes & McFarland, 1938). Bu inceleme, mermi dinamiği, mermi uçuş dengesi, mermi uçuş yörüngesi, merminin havada uçarken katettiği süre, merminin hedef üzerine çarpmış olduğu nokta, çarpma hızı ve çarpma açısı gibi konuları kapsamaktadır. Dış balistiğe etki eden önemli parametreler, merminin namludan çıkış hızı, merminin özellikleri, atış açısı ve atışın gerçekleştiği ortam koşullarıdır (Carlucci & Jacobson, 2008).

Mermi ve yanmış barut gazlarının namluyu terk etmesinin ardından hedefe varışına kadar geçen süre içerisinde merminin uçuş hareketini ve bu hareketi etkileyen faktörleri incelemektedir. Merminin havada gerçekleştirmiş olduğu hareketini etkileyen faktörler (yerçekimi dışındaki), mermiyle ilgili olanlar ve merminin içerisinde hareketini gerçekleştirdiği atmosfer ile ilgili olanlar olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Mermi veya füze etki eden atalet, yerçekimi ve hava tarafından etkilenen aerodinamik kuvvetlerin bilinmesi halinde, yörüngelerin hesaplanması kolaylaşmaktadır (Özgültekin, 2012).

Mermiye veya füze etki eden atalet, yerçekimi ve aerodinamik kuvvetler biliniyorsa yörüngelerin hesaplanması önemli bir zorluk oluşturmaz. Ancak aerodinamik kuvvetlerin bilenebilir olması çok zor bir ihtimaldir. Merminin konumunu değiştirmesi, hatta takla atması uçuşun planlandığı gibi bitmemesine ve menziline girmemesine neden olacaktır. Dönmesi stabil olan bir mermi, jiroskopik dönme hareketinin bir sonucu olarak her daim hedef yönü boyunca hareket etmeye devam eder. Bu dönme hareketinin ataleti, doğru eksenden olacak sapmalara müsaade etmez (Yavaş, 2009).

2.3.2.1 Coriolis Etkisi

Deniz çatışmalarında olduğu gibi özellikle uzak hedeflere yapılan atışlarda, yörüngenin oluşumunda etkili olan bir kuvvet de Coriolis Kuvveti'dir (Güngör, 2021). Mermi çekirdeğinin yörünge şekli yerçekimi etkisi, namludan ilk çıkış hızı, mermi çekirdeğinin şekli ve namlunun yatay düzlemle yaptığı açıya bağlıdır.

2.3.2.2 Balistik Katsayı

Mermi çekirdeğinin şekli, boyu, çapı, ağırlığı ve burun tasarımının hava sürtünmesine karşı hız, menzil ve dengenin etkisini gösteren, mermi çekirdeğinin hava direncini yenme

yeteneğini belirten bir katsayıdır. Hava direncinin etkisi, mermi çekirdeğinin şekline bağlıdır. Balistik katsayı ve kesitsel yoğunluğa ait ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$SD = m/d^2 \quad (2.1)$$

$$BC = SD/i \quad (2.2)$$

BC : Balistik Katsayı (Ballistic Coefficient)

SD : Kesitsel Yoğunluk (Sectional Density)

m : Merminin Kütlesi (gr. veya lb.)

d : Çekirdeğin Çapı (m veya inç.)

i : Şekil (Form) Faktörü

Balistik katsayısı büyük olan mermi çekirdeği, daha küçük olanlara göre hızını daha iyi korur ve hedefe daha istikrarlı bir şekilde ilerlemektedir (Üner & Çakır, 2007).

Silahların namlularındaki spiral şekilli girintilere "yiv", çıkıntılara ise "set" denir. Mermi çekirdeğine yiv ve setlerin namlu içindeki dönüşü, soldan sağa veya sağdan sola doğru olur. Mermi çekirdeğinin havada hareketi, yalpalama, dönüş ve yalpalı dönüş olarak adlandırılır (Cihangiroğlu, 2011).

2.3.3 Hedef (Terminal) Balistiği

Hedef balistiği, merminin hedef üstündeki etkilerini ve hedefte olup biten tüm olayları inceleyen bilim dalına denir. (Carlucci & Jacobson, 2008).

Kısaca hedef balistiği mermi çekirdeğinin hedefe çarpmasının ardından, duracağı sürece kadar yapmış olduğu penetrasyon gücü ve enerjisini çarptığı cisme ileterek oluşturduğu etkilerle ilgilenen bir bilim dalıdır (Akman, 2012).

Hedef balistik alanında iç ve dış balistik alanlarına kıyasla yapılan çalışmaların geri planda kaldığı gözlemlenmektedir. Günümüzde iç ve dış balistik çalışmalarında, gerçek dünya senaryolarına oldukça benzer sonuçlara ulaşıldığı değerlendirilmektedir. Hedef balistik alanında hedefin göstermiş olduğu davranış üzerine birçok çeşit tahmin modelleri geliştirilmesine rağmen, henüz net sonuçlara ulaşılamamıştır. Ancak son yıllarda, hedef balistik alanında radyografi yöntemi ve hızlı fotoğraf çeken (yüksek hızlı) kameraların kullanımı ile gerçek sonuçlara daha yakın yaklaşımlar gözlemlenmektedir (Günay, 2021).

Sivil teknolojinin giderek karmaşık hale gelmesiyle, malzemelere uygulamasına geçilen kısa süreli ani yüklemelerin malzeme niteliklerine olan etkisi hakkında çeşitli sonuçlara varıldığı değerlendirilmektedir. Farklı sistemlerde güvenli ve en uygun tasarımların gerçekleştirilebilmesi için, kısa süreyi kapsayan ve yüksek değerlere sahip olan yüklerin uygulanması ile malzeme davranışının iyi kavranması gerekmektedir (Demir, 2008).

Ateşli silahlardaki mermi tipleri, küçük çaplı ateşli silahlar ile ağır ateşli silahlar arasında farklılık göstermektedir. Örneğin, tüfek ve tabanca gibi küçük çaplı silahların mermileri, hedefi delmek için kinetik enerjiyi kullanmaktadır. Diğer yandan, büyük çaplı ve ağır ateşli silahlar olan topların mermileri ise hedefe ulaştığında patlamaktadır. Ateşli silahlarda kullanılan barut, hızlı bir şekilde yanabilen bir maddedir. Yanma sırasında ortaya çıkan gazlar basınç oluşturarak mermiye itici güç sağlamaktadır. Barut, düşük patlayıcılık derecesine sahip bir maddedir ve yanması yavaş bir parlama ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle, silahın barutunun yanmasından kaynaklanan basınç, mermiyi itmeye yeterli gücü sağlar ancak namluya zarar vermemektedir (Özgültekin, 2012).

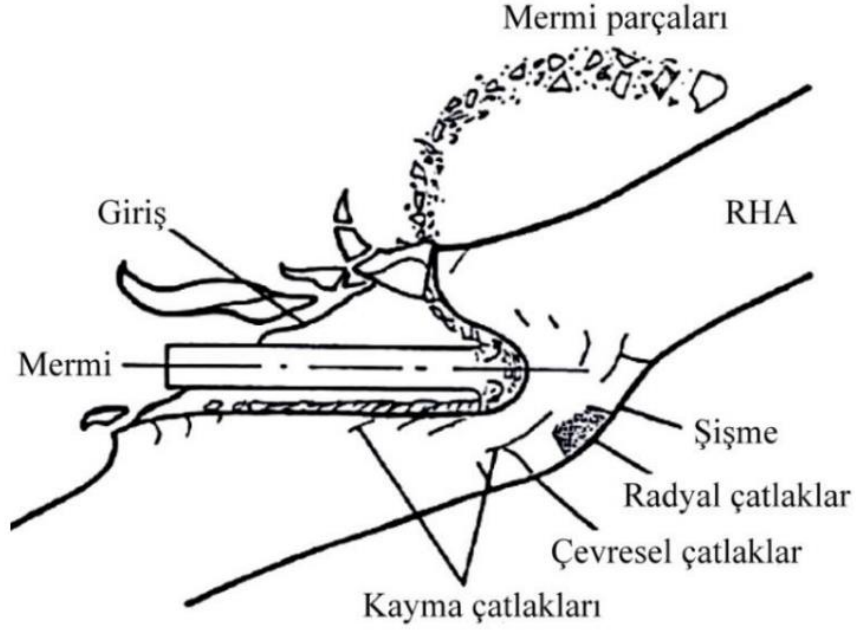
2.4 Mermi Kinetiği, Penetrasyon Mekaniği ve Balistik Limit

2.4.1 Mermi Kinetiği

Mermi kinetiği, enerji ve hareket prensipleriyle ilgili bir alandır. Mermi kinetiği, mermi-zırh etkileşimini anlama konusunda büyük öneme sahiptir. Merminin kinetik enerjisi veya namludan çıkış enerjisi, ilk patlama sonrasında kurşunun üzerinde bulunan enerjinin namlu içindeki kayıptan sonra taşıdığı enerji miktarı olarak da ifade edilebilir. Bu enerji, sadece kurşun kütlesiyle ve kurşun hızının karesiyle orantılıdır. Dolayısıyla, namludan çıkış enerjisi, belirli bir ateşli silah veya merminin yıkıcı potansiyelini gösteren önemli bir ölçüttür. Merminin hızı, aerodinamik ve yerçekimi gibi unsurları göz önüne almadan karşılaştırıldığında, namludan çıkış enerjisi, bir ateşli silahın veya merminin etkisinin bir işareti olarak kullanıldığı değerlendirilmektedir. Kurşunun ne kadar hızlı hareket ettiği ve ne kadar ağır olduğu, namludan çıkış enerjisinin yüksekliğini ve dolayısıyla daha fazla hasara neden olma potansiyelini belirlemektedir. Bu nedenle, mermilerin ağırlıkları ne kadar az olursa olsun, kazandıkları yüksek hızlarından dolayı hayati tehlike oluşturabilirler. Kinetik enerji özellikle, mermilerin hedefte yarattığı tahribat etkisi ve hedefin istenilen menzilde vurulması gibi belirli uygulamalar için önemlidir. Merminin namludan çıkış enerjisinin analitik olarak değerlendirilmesi, fişegın namlu içinde hareket ettiği mesafenin uzunluğuna bağlı olarak ortaya çıkacak hız değişkenliğini dikkate almalıdır (Çelik, 2023).

2.4.2 Penetrasyon Mekanikği

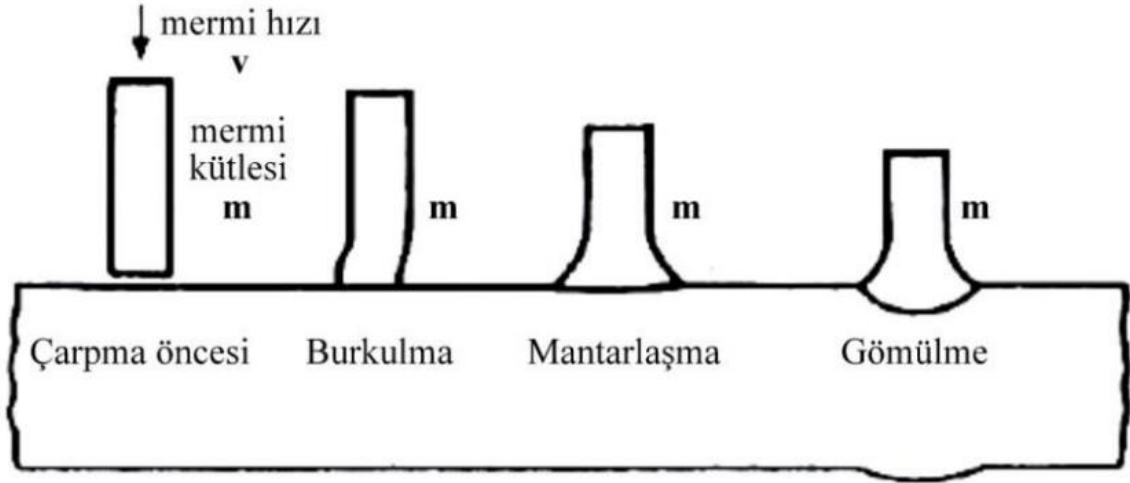
Penetrasyon, merminin hedef içinde durması veya sekmesi anlamına gelmektedir. Uygun bir zırh tasarımı için temel dayanak noktası budur. Perforasyon ise merminin hedefin tamamını delip geçmesidir. Merminin hedef ile etkileşimi, penetrasyon veya perforasyon hareketi sonucu meydana geldiği değerlendirilen kinetik enerjinin sayesinde gerçekleşmektedir ve penetrasyon gelişimi Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Özşahin, 2008).



Şekil 2.3: Kinetik enerji penetrasyonu (Özşahin, 2008).

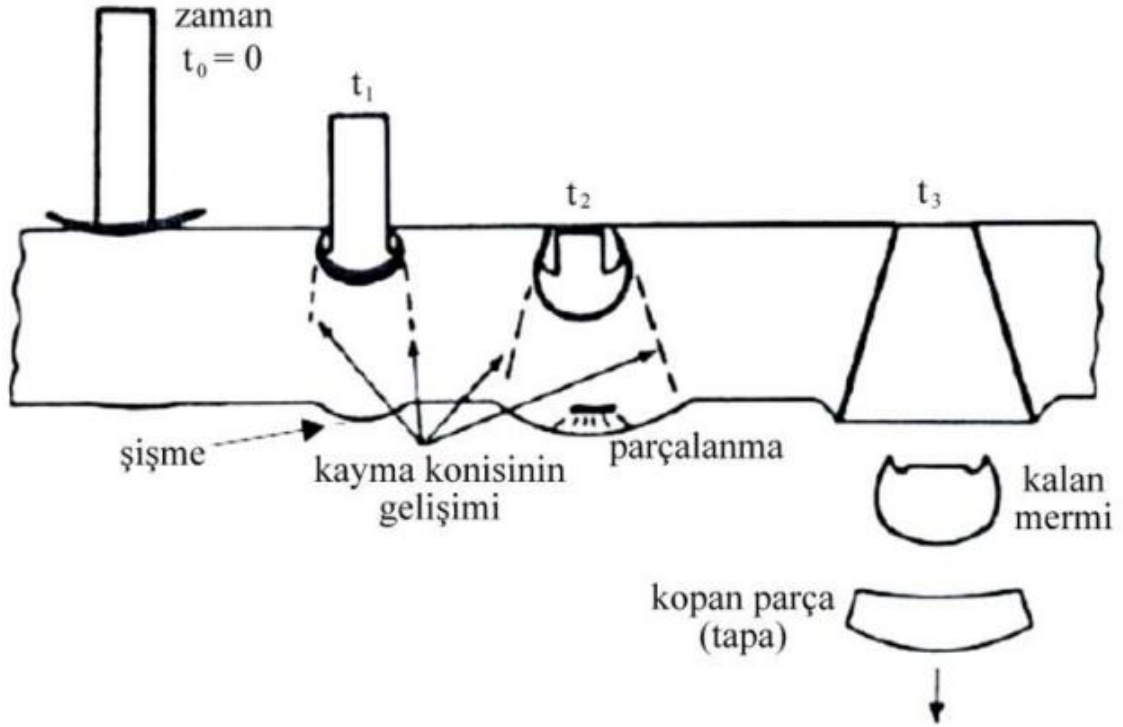
Merminin hedefe çarptığı anından itibaren hem mermide hem de hedef cisminde gerilme dalgaları oluşmakta ve ses hızında veya daha yüksek hızlarda hareket etmektedir. Onları daha düşük sayılabilecek hız değerlerine sahip olan kayma dalgaları izlemektedir. Mermide, yüksek çarpma hızlarında, dik çarpmalarda iki boyutlu, açılı çarpmalarda ise üç boyutlu gerilme durumu yaratan gevşeme dalgaları oluşmaktadır. Bu durumda, sınır şartlarından dolayı basınç yönündeki gerilme dalgaları çekme yönüne dönmektedir. Yüksek hız değerlerinde, bu dalgaların etkisi düşük hız değerlerine oranlandığı takdirde daha fazla olarak değerlendirilmektedir (Özşahin, 2008).

Eğer uzun, silindirik bir nesne balistik limitin altında bir hızla hedef yüzeyine çarparsa eğilmeye başlamaktadır. Çarpma daha yüksek hız oranlarında gerçekleştirilirse, plastik deformasyona ek olarak silindirin hedef içerisine gömülebileceği değerlendirilmektedir. Bu durum Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Balistik limitin altındaki darbe davranışı (Özşahin, 2008).

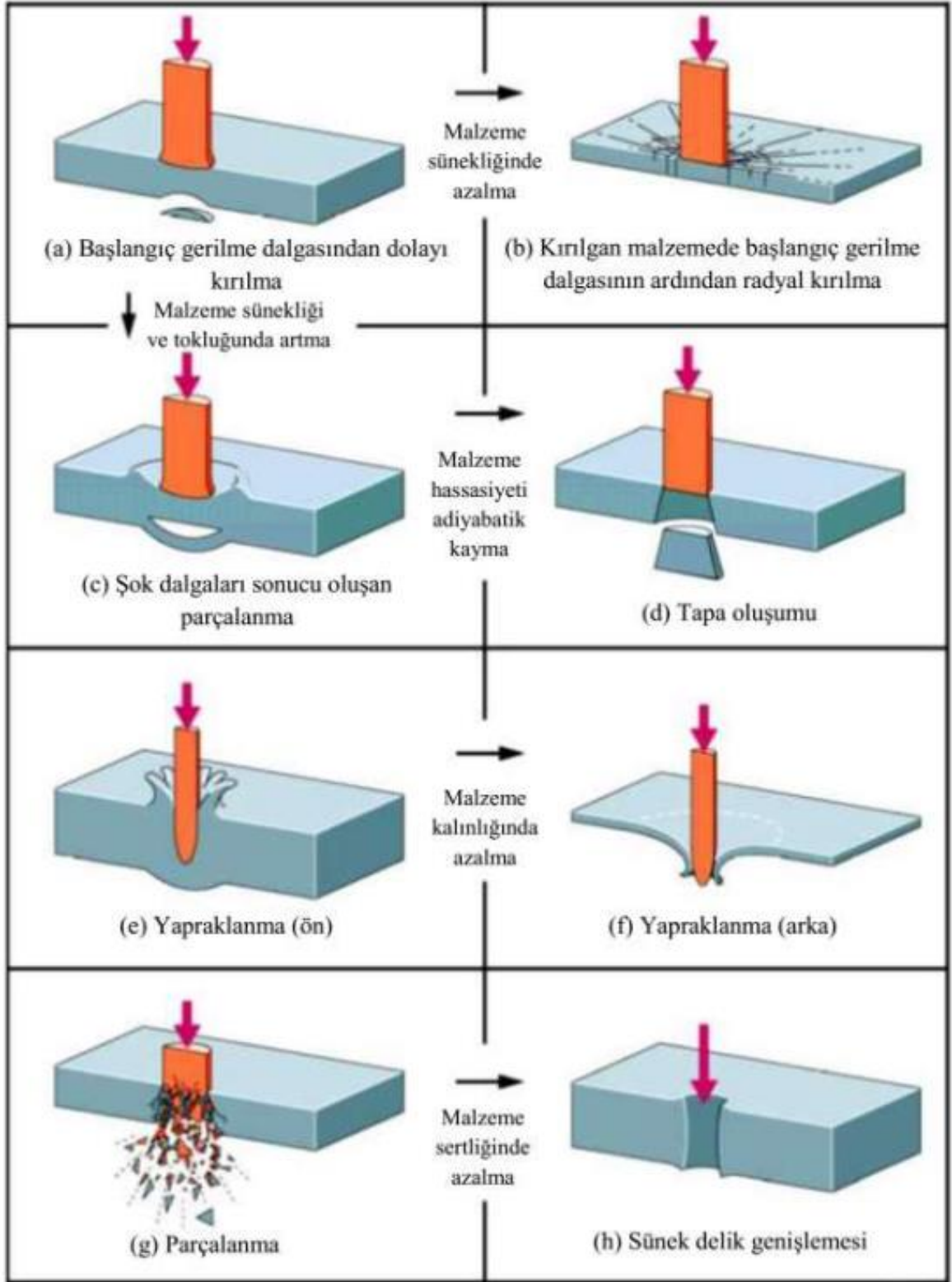
Balistik limitin üzerindeki çarpmalarda penetrasyon, çarpma ile eş zamanlı olarak başlamaktadır (Şekil 2.5). Çarpmanın başlangıcında, hedefin ve mermi malzemesinin mukavemetinin çok üzerinde bir yüzeyler arası basınç meydana gelmektedir, bu da mermi ucunda erozyonla birlikte penetrasyona yol açarken, merminin kalan parçası herhangi bir deformasyon yaşamadan oluşan kraterde ilerlemesine devam etmektedir. Kraterin derinleşmesiyle birlikte, temas yüzeyinde yüksek kayma gerilmeleri oluşmakta ve kraterin dip kısmı mermi ucundaki deformasyona uygun bir şekilde genişlemektedir. Belirli bir süre sonra malzeme nitelikleri, çarpma hızı ve hedefin kalınlığına bağlı olarak hedefin arka yüzeyinde şişme ve yayılma şeklinde şekil değişiklikleri meydana gelmektedir. Balistik penetrasyon ve perforasyon süresi içerisinde mermi ve hedef, temas edilen alanlardan başlamak üzere eşit ve zıt yönde kuvvetlere maruz kalmaktadır. Ara yüzeyden yayılan dalgalar, mermi ve hedefin içindeki gerilme ve yer değiştirmelerini şekillendirmekte ve durumlarında değişikliklere neden olmaktadır. Mermi, hızında belirli bir miktar kayıp yaşanabilir, yörüngesinde farklılıklar oluşabilir, deformasyonlar görülebilir, erozyon yaşanmasına bağlı ağırlığının bir miktarını kaybedebilir ve birçok farklı boyutlarda parçacıkların hedeften kopması ile sonuçlanabilir (Özşahin, 2008).



Şekil 2.5: Balistik limitin üzerindeki darbe davranışı (Özşahin, 2008).

2.4.3 Balistik Limit

Balistik limit kavramı literatürde farklı yaklaşımlarla ele alınır ve bu yaklaşımların tanımlanması önemlidir. Balistik limit hızı (VBL), mermi tarafından tamamen delinemediği hızı ve bu hızın altındaki hızları ifade etmektedir. Diğer deyişle bir cismin hasara uğramadan dayanabileceği hıza kritik çarpma hızı veya balistik limit hızı denmektedir. Şekil 2.6'da farklı balistik limit yaklaşımları gösterilmiştir. Balistik limit hızının belirlenmesinde gerçek değerlendirme, istatistiksel çalışmalara dayalı testlerle yapılmaktadır.

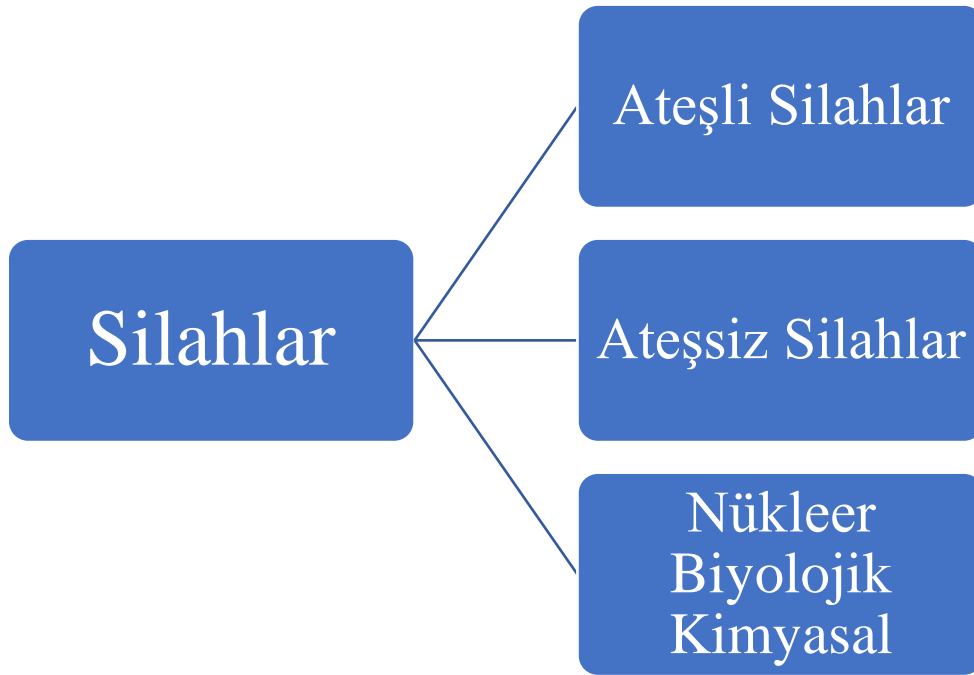


Şekil 2.6: Balistik etki altında hedef ve mermi arasındaki etkileşim (Wetzel, 2009).

2.5 Silah Terminolojisi

2.5.1 Silahlar ve Sınıflandırılması

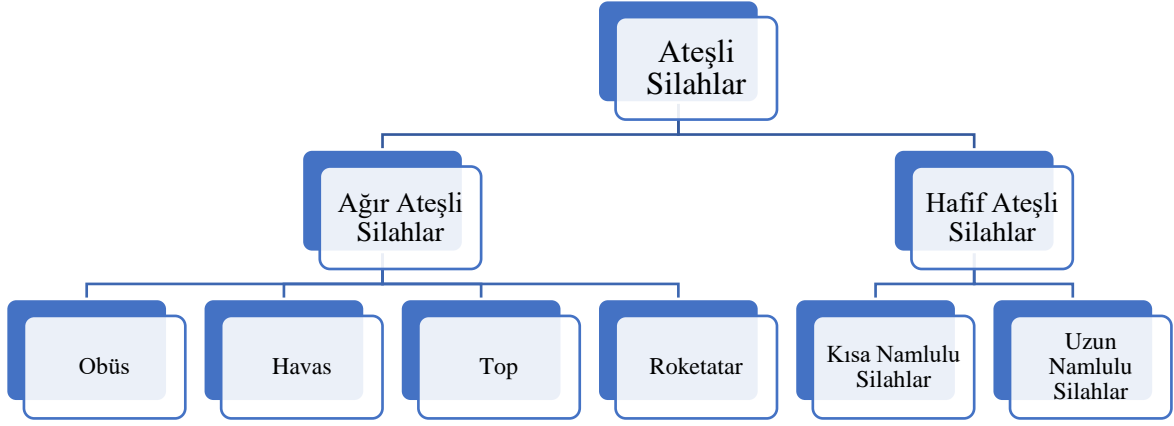
Silahlar, saldırmak veya savunmak amacıyla tercih edilen materyaller olarak tanımlanabilir. "6136 Sayılı Ateşli Silahlar Ve Bıçaklar İle Diğer Aletler Hakkındaki Kanun"da ise silahlar, canlıları yaralayan, öldürebilen, etkisiz hale getiren, canlı organizmayı hasta eden, cansızları parçalayan veya yok eden ruhsata tabi olan alet ve araçlar olarak tanımlanmıştır. Silahlar, ateşli, ateşsiz ve N.B.C. (nükleer, biyolojik, kimyasal) olmak üzere çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulabilirler (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Silahların sınıflandırılması.

Ateşli silahlar, genellikle iki ana kategoride değerlendirilir: ağır ateşli silahlar ve hafif ateşli silahlar.

- Ağır ateşli silahlar, genellikle ordunun envanterinde bulunmaktadır. Uzun menzilli ve yüksek tahrip gücüne sahip olan bu silahlar, birden fazla kişi tarafından ve çeşitli araçların desteğiyle kullanılmaktadır. Örneğin, uçaksavarlar, topçular, tanklar, roketatarlar gibi araçlar bu kategoriye girmektedir.
- Hafif ateşli silahlar ise genellikle adli olaylarda kullanılmaktadır ve namlu uzunluklarına göre kısa namlulu ile uzun namlulu olmak üzere iki gruba ayrılır. Uzun namlulu ateşli silahlar ise harp silahları ve av silahları olarak sınıflandırılır. (Yalçın Sarıbey, 2008)



Şekil 2.8: Ateşli silahların sınıflandırılması.

Ateşli silahlarda silah çapı, kalibre (.cal) olarak adlandırılır ve metrik, Anglo-Amerikan ve NATO kalibrasyon sistemleri olarak sınıflanır. Metrik kalibrasyon sisteminde silahın ateşlediği mermi çapı ve kovan boyu milimetre cinsinden adlandırmaktadır. Her ikisi de milimetre cinsinden olduğu için önce mermi çekirdeğinin çapı, sonra da kovan boyu yazılarak fişek ifade edilmektedir (Güngör, 2021).

Sadece saldırı ve savunma amacıyla kullanılan aletlere ateşsiz silahlar denilmektedir. Ateşsiz silahlar; hançer, kama, saldırma, şişli baston, kılıç, pala, bıçak, sustalı çakı, kasatura, süngü, topuz, topuzlu kamçı, sivri uçlu ve oluklu bıçaklar, boğma teli ya da zinciri, muşta ve benzeri silahlardır. Tüm bu ateşsiz silahların 6136 sayılı yasa ile birlikte kullanımını yasaklanmıştır (Güngör, 2021).

2.5.2 Fişekler

Ateşli silahlarda kullanılan, canlı veya cansız hedeflerde tahribat uygulayan, barut (itici madde), kurşun veya çelik çekirdek, kovan ve ateşleme mekanizmasından oluşan parçaların tümüne fişek denmektedir. Fişek, uygun bir ateşli silahtan ateşlendiğinde belirlenen mesafede, av olarak belirlenen nesneyi öldürmek veya en azından yaralamasını sağlamak amacıyla gerekli enerjiyi sağlayarak merminin hedefi vurmasını sağlamaktadır. Fişekler, kullanıldığı silahın türüne ve çapına göre çeşitli çaplarda, tiplerde ve modellerde üretilmektedir. Tabanca ve tüfeklerde kullanılan fişekler genellikle hafif silah fişekleridir (Yalçın Sarıbey, 2008).

2.5.2.1 Kapsül

Kapsül, tetik çekildiğinde silahın ateşleme iğnesinin ilk temas ettiği noktadır. İçerisinde, başlatıcılar olarak adlandırılan kimyasal karışımlar bulunur. Kapsülün içeriğinde genellikle patlamaya hassas maddelerin yanı sıra, patlayıcı, oksitleyici ve yanıcı maddeler de bulunur. Günümüzde kapsüllerde patlayıcı olarak genellikle kurşun stifinat (kurşuntrinitrorezorsinat), oksitleyici olarak baryum nitrat ve yanıcı olarak antimontrisülfür kullanılmaktadır (Yalçın Sarıbey, 2008).

2.5.2.2 Barut

Barut, son derece hızlı yanabilen bir maddedir ve yanma esnasında oluşan gazların basıncı, silahlarda mermiyi itmek için gerekli olan gücü sağlamaktadır. Barut, düşük patlayıcılık seviyesine sahip bir madde olarak sınıflandırılmaktadır (Yavaş, 2009).



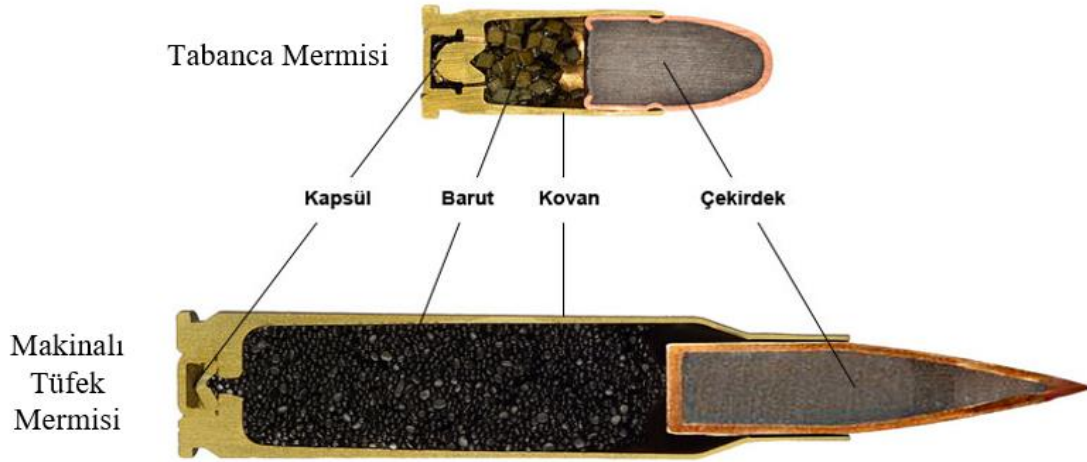
Şekil 2.9: Barut (Makine ve Kimya Endüstrisi A.Ş.).

2.5.2.3 Kovan

Kapsül, barut ve mermi çekirdeğini içeren ve silahın ateşlenmesiyle mekanizma aracılığı ile dışarıya fırlatılan bölüme kovan denmektedir. Bu kovanlar genellikle bakır ve çinko alaşımları olan pirinç, çelik veya alüminyum gibi metallerden imal edilmektedirler (Yalçın Sarıbey, 2008).

2.5.2.4 Çekirdek

Silah ateşlendiğinde kovan bölgesinden ayrılarak namludan çıkan ve hedefte tahribata neden olan parçaya denir. Atış artıklarının hedefe taşınmasında etkilidir ve genellikle kurşun içeriklidir.



Şekil 2.10: Fişek yapısı.

Tablo 2.3: Fişek tipleri ve özellikleri (Makine ve Kimya Endüstrisi A.Ş.).

Fişek İsimleri	Fişek Boyu	Mermi Ağırlığı	Hız	Mermi Tipi/Malzemesi
9 mm X 19 Tabanca Fişegi (Parabellum)	29.69 mm	8±0.075 g	370 ± 10 m/s (16 m'de)	FMJ, Mermi Gömlek Yüksüğü Pirinç (CuZn30), Mermi Çekirdeği Kurşun-Antimon Alaşımı
5.56 mm X 45 Fişek (Normal) (SS109)	57.4 mm	4 g	914.4 ± 12.2 m/s	Tombak, Çelik Çekirdek ve Kurşun Çekirdek (Kurşun-Antimon Alaşımı)
7.62 mm X 51 Normal Fişek (M80)	71.12 mm	9.65±0.20 g	838 ± 9.1 m/s	Tombak, Kurşun Çekirdek (Kurşun-Antimon Alaşımı)
7.62 mm X 51 Zırh Delici Fişek (M61)	71.12 mm	9.45±0.15 g	838 ± 9.1 m/s	Bakır Kaplanmış Çelik Gömlek, Çelik Çekirdek ve Kurşun Çekirdek (Kurşun-Antimon Alaşımı)

Merminin hedef üzerindeki etkileri; merminin kütlesine, merminin enerjisine, merminin hedefle yaptığı açığa, hedef malzemenin metalurjik yapısına bağlıdır (Akman, 2012).

Merminin kinetik enerjisi hareket halindeki cisimlerin hareketlerinden dolayı meydana gelen enerjinin bulunmasıyla aynı yöntemle bulunur.

E_k : Mermi kinetik enerjisi

m : Mermi ağırlığını

V_{mermi} : Merminin hedefe çarpma anındaki hızı

Olmak üzere kinetik enerji

$$E_k = \frac{1}{2} m V_{mermi}^2 \quad (2.3)$$

şeklinde gösterilmiştir.

2.6 Uluslararası Balistik Test Standartları ve Tablolar

Balistik koruyucu malzemelerin koruma seviyeleri ile ilgili standartlar, ulusal veya uluslararası geçerliliği kanıtlanmış ve yaygın olarak kabul edilen NIJ (ABD Ulusal Adalet Enstitüsü) ve HOSDB (İngiltere İçişleri Bakanlığı Bilimsel Geliştirme Birimi) standartlarıdır. Bunun yanı sıra NATO ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından da çeşitli askeri standartlar geliştirilmiştir. Ancak hızla gelişen silah teknolojisi ile birlikte bölgesel bazlı silahlı çatışmaların farklı tehdit unsurlarını içermesi, tüm bölgeler için tek bir uluslararası balistik koruyucu malzeme standardının yeterli olmadığını göstermektedir. Bu nedenle farklı malzemeler üzerinde balistik çalışmalar yapılmaktadır. Tablo 2.4'te bazı uluslararası balistik koruyucu standartlar gösterilmiştir (Ekinci, 2022).

Tablo 2.4: Bazı uluslararası balistik koruyucu standartları (Özgültekin, 2012).

Standart No	Standart Adı
NIJ-STD-0101.06	Ballistic Resistance of Personal Body Armor (Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanımları)
MIL-STD-662 F	V50 Ballistic Test For Armor (Zırhlar İçin V50 Balistik Testi)
STANAG 2920	Ballistic Test Method For Personal Armor (Kişisel Zırhlar İçin Balistik Test Metotları)
EN1063	Euronorm Standard For Security Glazing (Bina İçi Cam - Güvenlik Camı - Mermi Saldırısına Karşı Direncin Test Edilmesi ve Sınıflandırılması)
TS 11164	Balistik Koruyucu Yelek

NIJ 0101.06 standardında kullanılan mermilerin kalibre, tip, ağırlık ve hızı dikkate alınarak çeşitli koruma seviyeleri tanımlanmıştır ve Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5: Koruma seviyeleri ve mermi tipleri (NIJ Standard, 2008).

Koruma Seviyesi	Mermi Tipi	Atış Hızı (m/sn)	Çekirdek Ağırlığı (gr)
Seviye II-A	9 mm FMJ RN	373 ± 9.1	8
	.40 S&W FMJ	352 ± 9.1	11.7
Seviye II	.357 Mag. JSP	436 ± 9.1	10.2
	9 mm FMJ RN	398 ± 9.1	8.0
Seviye III-A	.44 Magnum SJHP	436 ± 9.1	15.6
	0.357 SIG FMJ RN	448 ± 9.1	8.1
Seviye III	7.62 mm NATO FMJ	847 ± 9.1	9.6
Seviye IV	.30 kalibre M2 AP	878 ± 9.1	10.8

NIJ Standardı 0101.07 (Vücut Zırhının Balistik Direnci) Ekim 2023 tarihinde ABD Ulusal Adalet Enstitüsü tarafından gövdeyi tabanca ve tüfeğe karşı korumak amacıyla ABD kolluk kuvvetleri tarafından kullanılan vücut zırhının balistik direncine yönelik minimum performans gereksinimlerini ve test yöntemlerini belirtir NIJ 0101.06 Standardı (Vücut Zırhının Balistik Direnci)'nin 2008 yılında yayınlanan revizyonu olarak yayınlanmıştır. Bu standardın temel amacı, balistik dirençli vücut zırhının test edilmesi, değerlendirilmesi ve belgelendirilmesi için NIJ Uyumluluk Test Programı (CTP) tarafından kullanılacak olacaktır. NIJ Standardı 0101.07 on dört bölüme ve sekiz eke bölünmüştür ve NIJ Standardı 0101.06'dan birkaç önemli açıdan farklılık göstermektedir. Bunlar arasında, iki standart arasındaki kayda değer yapısal değişikliklerin yanı sıra test yöntemleri ve laboratuvar uygulamalarında yapılan çeşitli iyileştirmeler de yer almaktadır. Bu kapsamda balistik test tehditleri standardın geçmiş revizyonlarında olduğu gibi NIJ Standardı 0101.07'de listelenmemektedir. Bunlar, ABD kolluk kuvvetleri tarafından ABD'deki mevcut yaygın tehditlerin temsilcisi olarak tanımlanan balistik tehditleri tanımlayan yeni ve bağımsız bir belge olan NIJ Standardı 0123.00'a (NIJ Balistik Koruma Seviyeleri ve İlgili Test

Tehditlerine İlişkin Şartname'ye) taşınmıştır. Ekim 2023 itibariyle güncellenen koruma seviyesi Tablo 2.6'da gösterilmiştir (Justice, 2023).

Tablo 2.6: Güncel koruma seviyesi (Justice, 2023).

Eski Koruma Seviyesi	Yeni Koruma Seviyesi	Notlar
Seviye II	HG I	Tabanca
Seviye III-A	HG 2	Tabanca
Seviye III	RF 1	Tüfek
Yok	RF 2	RF1 koruma seviyesindeki tüm tehditlerin yanı sıra ek bir tehdit içeren yeni bir orta tüfek koruma seviyesidir
Seviye IV	RF 3	Tüfek

Tablo 2.7'de koruma seviyesi HG 1 ve HG 2 ve Tablo 2.8'de koruma seviyesi RF 1, RF 2 ve RF 3 için kullanılacak spesifik mühimmat ve kullanılacak referans hızlar belirtilmektedir (Justice, 2023).

Tablo 2.7: HG 1 ve HG 2 koruma seviyeleri.

Koruma Seviyesi	Mermi Tipi	Ağırlık	Atış Hızı	Mühimmat Tanımlayıcı (*)
HG I	9mm Luger FMJ RN	8 gr 124 grain	398 m/s 1305 ft/s	#23558
	.357 Mag JSP	10.2 gr 158 grain	436 m/s 1430 ft/s	#22847
HG 2	9mm Luger FMJ RN	8 gr 124 grain	448 m/s 1470 ft/s	#23558
	.44 MAG JHP	15.6 gr 240 grain	436 m/s 1430 ft/s	#744531; #44532 #47362

(*): İlgili mühimmatın kodu

Tablo 2.8: RF 1, RF 2 ve RF 3 koruma seviyeleri.

Koruma Seviyesi	Mermi Tipi	Ağırlık	Atış Hızı
RF 1	7.62x51mm M80 NATO FMJ Çelik Kaplamalı	9.53 gr 147+0/-3 grain	847 m/s 2780 ft/s
	7.62x39mm MSC Mühimmatı	*	732 m/s 2400 ft/s
	5.56mm M193	3.56 gr 56+0/-2 grain	990 m/s 3250 ft/s
	7.62x51mm M80 Ball NATO FMJ Steel Jacket	9.53 gr 147 +0/-3 grain	847 m/s 2780 ft/s
RF 2	7.62x39mm MSC Mühimmatı	*	732 m/s 2400 ft/s
	5.56mm M193	3.56 gr 56 +0/-2 grain	990 m/s 3250 ft/s
	5.56mm M855	4 gr 61.8±1.5 grain	950 m/s 3115 ft/s
	30.06 M2 AP	10.76 gr 165.7+0/-7 grain	878 m/s 2880 ft/s

(*): 7.62x39mm hafif çelik çekirdek mühimmatının özel hususlar ilgili standardın Ek'inde mevcuttur.

2.7 UYPLB Balistik Deneyler

(Liu, 2018) tezinde son yıllarda artan terör faaliyetleri nedeniyle yapılarda oluşan hasarlardan bahsederek bu binalarda aşırı yüklemelere karşı mükemmel performans gösterebilecek fiber katkılı ultra yüksek performanslı betonun birçok üniversite ve devlet kurumu tarafından geliştirildiğini belirtmiştir. Yüksek hızlı mermi penetrasyonuna maruz kalan UYPB geliştirmek amacıyla simülasyon ve deney atışları gerçekleştirmiştir. Çalışmasında hedef basınç dayanımı, mermi çarpma hızı ve mermi kalibre yarıçapı oranının UYPB hedef numunelerin penetrasyon derinliği ve krater çapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Penetrasyon derinliği üzerindeki simülasyon verilerine dayanarak UYPB hedeflerinin penetrasyon derinliğini tahmin etmek için ampirik bir model önermiştir.

Ardından hacimce %3 ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen fiberlerle güçlendirilmiş ve %3 çelik fiberlerle güçlendirilmiş UYPB hedefleri üzerine yüksek hızlı mermi darbe testleri gerçekleştirmiştir. Aynı yükleme senaryoları altında, elyaf eklenmemiş düz beton hedefler de karşılaştırma amacıyla kontrol numuneleri olarak test edilmiştir. Atış testlerindeki hedeflerin penetrasyon derinliği, krater çapı, hacim kaybı ve çarpma sonrası aşınma ve hasarları içeren dinamik davranışları gözlemlemiş ve sayısal sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Çalışmada çelik lifle güçlendirilmiş UYPB sivil ve askeri yapılarda yapısal elemanlarda doğrudan kullanılabilen darbe direncine karşı üstün performans gösteren, umut verici bir malzeme olmasına karşın kullanılan çelik lifin maliyeti UYPLB'nin askeri ve sivil yapılarda kullanımını sınırlayabilir olduğu değerlendirilmiştir. Bu çelik liflerin yerine daha az maliyetli çelik tel ağların araştırılması gerektiği değerlendirilmiştir.

(Yazıcı & İnan Sezer, 2008) çalışmaları kapsamında agrega maksimum tane boyutunun çelik lifli betonların darbe direncine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada çimento dozajı, su/çimento oranı sabit tutularak 4 çelik lifli (lif oranı %1 ve narinliği 65) ve 4 lifsiz beton üretilmiştir. Dört farklı agrega maksimum tane boyutu (10, 15, 20 ve 25 mm) ile çalışılmıştır. Çalışma kapsamında 2 farklı boyutta (150x150x150 mm küp ve 150/300 mm silindir) üretilen bu betonlardan toplam 72 adet örnek numune oluşturulmuş ve oluşturulmuş olan bu numune örnekler 28 gün standart koşullarda kürlenmiştir. Hazırlanmış bulunan bu numune örnekler üzerinde tek eksenli basınç deneyi, yarmada çekme deneyi, ultra ses hızı ölçümü ve ağırlığın düşürmesi yöntemi benimserek darbe testleri uygulanmıştır.

Bu çalışmada agrega maksimum tanecik boyutunun çelik lifli ve lifsiz betonların özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre;

- Betonun basınç ve yarmada çekme dayanımları ile ilk çatlak ve kırılma oluşturan darbe sayıları, agrega maksimum tanecik boyutu üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.
- Su/çimento oranı sabit tutulduğunda, maksimum agrega çapının artmasıyla birlikte mekanik ve darbe özelliklerinde bir düşüş gözlemlenmiştir.
- Hacimsel olarak %1 oranında, narinlik değeri 65 olan çelik lif kullanımı, lifli betonların basınç ve yarmada çekme dayanımlarını arttırmakta ve özellikle ilk çatlak ve kırılma oluşturan darbe sayılarını arttırmaktadır; fakat ultra ses hızını azaltmaktadır.

- Araştırmada, betonların üretimi ve incelenen özellikler açısından, hacimsel olarak %1 oranında narinlik değeri 65 olan çelik lif kullanımıyla iyi bir performans elde edilebilmesi için, iri agrega boyutunun 20 mm'nin üzerine çıkarılmaması önerilmektedir.
- Betonun basınç ve yarmada çekme dayanımları ile ilk çatlak ve kırılma oluşturan darbe sayıları, agrega maksimum tanecik boyutu üzerinde etkilidir.

Tablo 2.9: Çalışma kapsamında yapılan deneyler (Yazıcı & İnan Sezer, 2008).

Deney Adı	Örnek Boyutu	Örnek Tipi	Örnek Sayısı	Beton Tipi Sayısı	Toplam Örnek Sayısı
Tek Eksenli Basınç Deneyi	150x150x150	Küp	3	8	24
Yarmada Çekme Deneyi	150x150x150	Küp	3	8	24
Ultra Ses Deneyi	150x150x150	Küp	6*	8	48
Kırılma Darbe İşi Tespiti İçin	150x64	Silindir	3	8	24
İlk Çatlak Darbe İşi Tespiti İçin	150x64	Silindir	3	8	24

(Özalp vd., 2022) çalışmalarında savunma yapıları için zırh delici mermilere karşı dayanıklı beton kompozitler geliştirmeyi hedeflemiştir. Kısa çelik lifler, uzun çelik lifler ve çelik hasır takviyesi gibi farklı güçlendirme grupları test etmişlerdir. Ultra Yüksek Performanslı (UYPLB), Yüksek Performanslı (YPLB) ve Geleneksel Fiber Takviyeli Beton (GFTB) olmak üzere üç farklı beton karışım tasarımı hazırlanmıştır. Hibrit çelik liflerin içeriği ultra yüksek performanslı ve yüksek performanslı karışımlarında yaklaşık %5 iken geleneksel fiber takviyeli beton karışımında ise yaklaşık %2.5 olmuştur. Ayrıca her karışımın sade (lif içermeyen) karışımları da üretilmiştir. Betonun mekanik özellikleri deneysel çalışmalarda belirlenmiştir.

Üretilen UYPLB, YPLB ve GFTB'nin su/bağlayıcı oranı sırasıyla 0.18, 0.24, 0.37 olarak seçilmiştir. UYPLB karışımında silis dumanı, YPLB karışımında ise öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. UYPLB ve YPLB karışımlarında %2.5 kancalı uçlu çelif lifler ile %2.5 düz çelik lifler kullanılarak toplam hacmin %5'inde iki farklı çelik lif türü

kullanılmıştır. GFTB karışımında ise %2.5 kancalı uçlu çelik lif kullanılmıştır. Böylece çalışmada 3 adet çelik tel donatılı beton karışımı üretilmiştir. Kullanılan liflerin özellikleri Tablo 2.10’da verilmiştir. Ayrıca bu karışımların aynı matrislere sahip çelik lifsiz üç sade hali de üretilmiştir. Tüm beton karışımlarının bileşimleri Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.10: (Özalp vd.,2022) Çalışmalarında kullanılan liflerin özellikleri.

Lif Türü	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Narinlik
Kancalı Uçlu	1100	0.55	30	55
Düz Uçlu	2250	0.16	6	40

Tablo 2.11: (Özalp vd., 2022) Çalışmalarında beton karışımlarının bileşenleri.

Malzemeler	Normal Dayanımlı	Yüksek Dayanımlı	Ultra Yüksek Dayanımlı
Çimento (kg/m ³)	500	800	1000
Silis dumanı (kg/m ³)	-	-	250
Yüksek fırın cürufu (kg/m ³)	-	200	-
Su (kg/m ³)	175	216	120
Silisli toz (0-0.5 mm) (kg/m ³)	-	-	330
Silisli kum (0.5-2 mm) (kg/m ³)	-	-	510
Doğal kum (0-4 mm) (kg/m ³)	515	568	-
Kırma kum(0-5 mm) (kg/m ³)	480	568	-
Kırma taş (5-12 mm) (kg/m ³)	820	-	-
Süperakışkanlaştırıcı (kg/m ³)	8.0	30.0	125
Su/çimento	0.36	0.30	0.22
Su/bağlayıcı	0.36	0.24	0.18
Birim ağırlık (kg/m ³)*	2498/2698	2382/2782	2335/2735

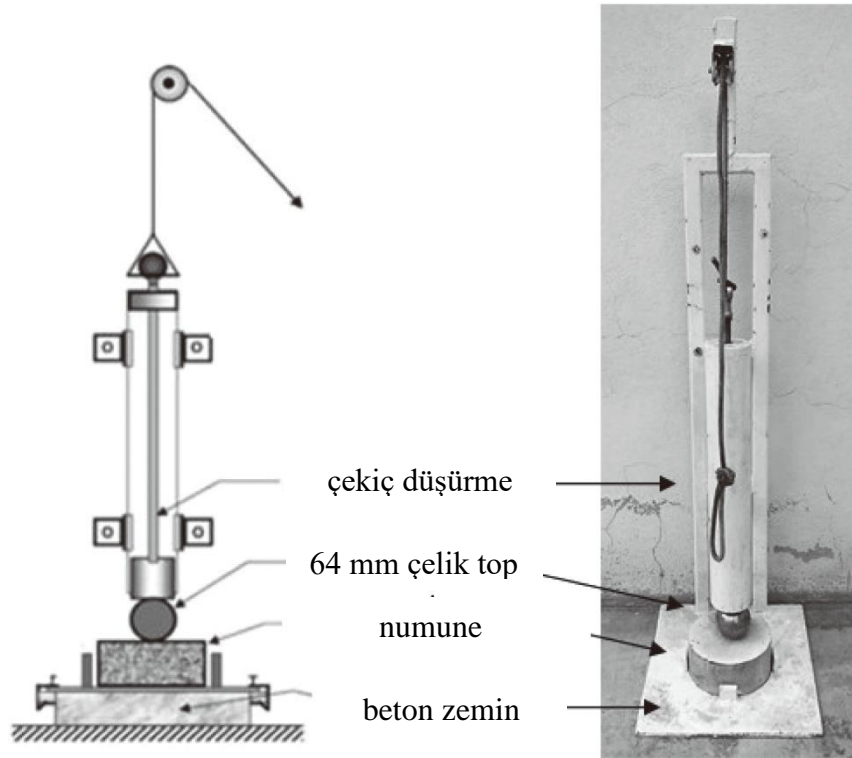
Not:Su/çimento ve su/bağlayıcı oranı belirlenirken süperakışkanlaştırıcı katkısından gelen su miktarı da dikkate alınmıştır.

*Birim ağırlıklar sırasıyla düz (lifsiz) ve çelik lif takviyeli karışımlar olarak verilmiştir.

Çalışmada darbe dayanımı ve kırılma enerjisine ek olarak betonun balistik performansının iki önemli göstergesi olan penetrasyon derinliği ve hasar alanı incelenmiştir.

Kırılma testi üç eksenli eğilme testi olarak 100 mm x 100 mm x 500 mm kiriş numuneleri kullanılmıştır. Test esnasında normal beton için kiriş numunesinin ortasındaki yer değiştirme hızı 0.01 mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Lif içeren kiriş numuneleri için 0.5 mm sehime kadar test hızı 0.0175 mm/dk olarak sabit tutulup ardından 0.1mm/dk indirip 4 mm sehime kadar gerçekleştirilmiştir. Test cihazı 200 kN kapasitelidir.

Betonun darbe dayanımını belirlemek için çeşitli yöntemler olmakla birlikte en çok tercih edilen yöntemlerden biri de ağırlık düşürme darbe testidir. Bu test için geliştirilen aparatın şematik bir gösterimi Şekil 2.11' de verilmiştir. Düşen darbe testinin standartları ACI 544.2R standardında ayrıntılı olarak verilmiştir. Standarda göre deney 64 mm x 150 mm boyutlarındaki bir disk numunesi üzerine yerleştirilmiş 64 mm çapındaki bir çelik bilye üzerine 457 mm yükseklikten 44.5 N'luk bir yükün düşürülmesi esasına dayanmaktadır. Numune üzerinde her düşüş meydana geldiğinde, 20.36 N·m'lik darbe enerjisi emilir. Bu yük numune kırılana kadar tekrar tekrar düşürülür. Toplam darbe sayısı, numunenin darbe enerjisi olarak belirlenir.



Şekil 2.11: Ağırlık düşürme darbe testinin şematik gösterimi.

Balistik testler için tüm beton karışımlarından 500 mm × 500 mm genişliğinde ve 80 mm kalınlığında beton plakalar üretilmiştir. Testler EN 1063 standardına göre BR7 koruma seviyesi için zırh delici mermiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılan merminin özellikleri 7.62 mm × 51 mm kalibre, çelik kaplamalı sert çekirdekli ve 810 ile 830 m/s hız aralığıdır. Plakalar, her bir atış noktası arasında 120 mm mesafe olacak şekilde aynı hedef plakası üzerinde 3 atışta test edilmiştir. Mermiler, hedef plakasından 10 metre mesafeden ateşlenmiştir. Mermi plakaları deldiği için gerekli olan üç atış yapılmamıştır. Tüm plakalar beton karışımlarından hazırlanmış ve daha sonra 3 mm çapında 25 mm x 25

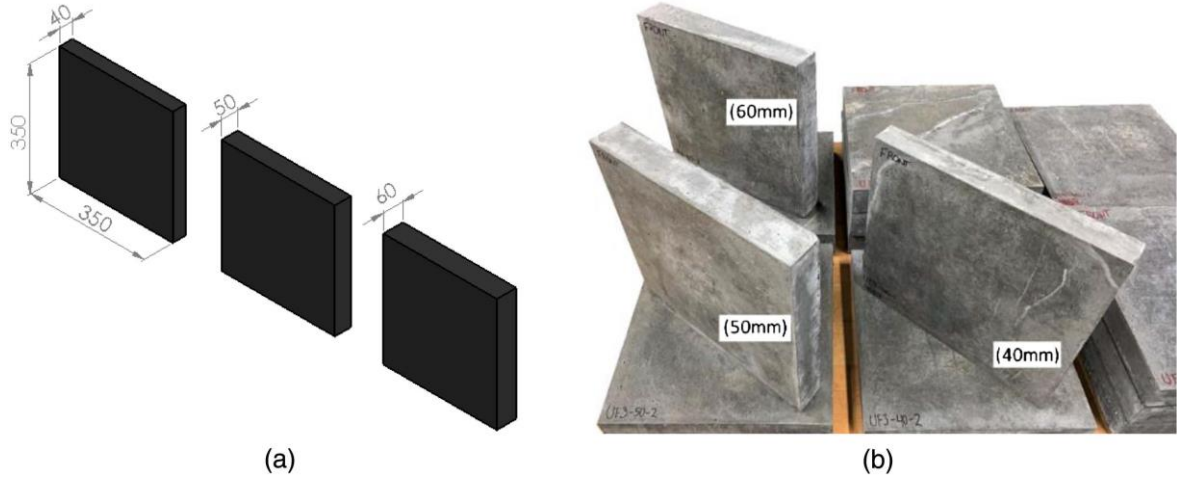
mm 3 katlı çelik hasırlar ile takviye edilmiştir. Daha sonra plakalar üzerinde yüksek hızlı mermi darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Mermi darbe testinin ardından plakaların görüntüleri kaydedilmiştir.

Çalışmada kancalı çelik lifler darbe dayanımını ve kırılma enerjisini önemli ölçüde artırırken düz uçlu lifler betonun basınç dayanımını arttırmıştır. Hacimce %5 hibrit çelik lif içeren UYPLB ve YPLB karışımları zırh delici mermilere karşı üstün performans göstermiştir. UYPLB krater çapı ve penetrasyon derinliği açısından YPLB'den daha iyi balistik direnç göstermiştir. Mermi darbesinin bölgesel bir alanda olduğu ve sadece çelik hasır takviyesi veya büyük çelik lifler kullanılarak darbe dayanımı ve kırılma enerjisinde önemli bir artışa rağmen amaçlanan balistik performansı sağlamadığını göstermiştir. Üstün balistik performans için betonun her noktasında homojen olarak yüksek dayanımlı kısa çelik liflerle donatılması gerektiği belirlenmiştir. Beton kompozitlerin basınç dayanımı, darbe dayanımı, kırılma enerjisi gibi mekanik özellikleri ile mermi çarpmasında oluşan krater çapı ve mermi penetrasyon derinliği arasında güçlü ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. Mekanik özellikler (kırılma enerjisi ve darbe dayanımı) ile krater çapı arasında ters bir ilişki tespit edilmiştir. Kırılma enerjisi ve darbe dayanımı arttıkça krater çapı önemli ölçüde azalmıştır. Ancak, bu ilişkinin penetrasyon derinliği ile mevcut olmadığı değerlendirilmektedir. Mermi penetrasyon derinliği, kırılma enerjisi ve darbe dayanımı parametrelerinden daha az etkilenmiştir. Bununla birlikte, basınç dayanımındaki artış ile penetrasyon derinliği arasında çok güçlü bir ters ilişki olmuştur.

Sonuç olarak, mermi çarpmasında en iyi performans hem daha küçük krater çapı hem de daha az mermi penetrasyon derinliği dikkate alındığında, darbe direncinin, kırılma enerjisinin ve basınç dayanımının en yüksek olduğu UYPLB sisteminde elde edilmiştir.

(Tremblay, Dagenais, & Wight, 2020) Çalışmalarında ultra yüksek performanslı fiber takviyeli beton (UYPLB) kullanarak ince zırh panelleri tasarlamış ve hafif silahtan çıkan zırh delici mermi ateşine karşı balistik dirençleri değerlendirmiştir. Paneller için seçilen elyaf oranları hacimce %3 ve %4 dür. Her elyaf dozajı için 3 toplamda 36 adet beton numune dökülmüştür. Karışımda kullanılan elyaflar Bekaert Dramix elyaflarıdır. Uzunlukları 10 mm çapları 0.2 mm'dir. Panellerin ön ve arka yüzeyleri 350 x 350 mm, kalınlıkları ise Şekil 2.12'de gösterildiği gibi 40 mm ,50 mm ve 60 mm olarak belirlenmiştir. Balistik testlerde meskûn mahal operasyonları (yaklaşık 10m) ve açık arazi saha operasyonları (yaklaşık

300m) için iki farklı hız değerlendirilmiştir. Test için 7.62 mm x 51 zırh delici mermi kullanılmıştır. UYPLB 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 144 (± 4.5) MPa ve 141 MPa (± 12.1)'dir.



Şekil 2.12: Beton plakaların kalınlıkları.

Yapılan çalışma sonucunda farklı kalınlıktaki plakalar üzerinde yapılan balistik testlerden plaka kalınlığının artması ile balistik direncin lineer arttığı gözlemlenmiştir. 10 m mesafeli atışlarda tüm UYPLB panellerinin delindiği görülmüştür. 300m mesafeli atışlarda ise mermi yalnızca 60 mm kalınlıkta %4 lif oranlı plaka numuneye penetre olmamıştır. Kısa mesafeli atışlarda %4 lif oranlı beton lif oranı %3'e göre daha iyi balistik performans göstermiş fakat önemli olarak kabul edilmemiştir. Uzun mesafeli atışlarda ise hiçbir etki görülmemiştir.

(Yi, Kim, Han, Cho, & Lee, 2012) çalışmalarında terör saldırılarına hedef olan betonarme yapılarda ultra yüksek performanslı beton ve reaktif pudra betonunun kullanımının patlama direnci kapasitesine katkılarını deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Bu betonların statik malzeme özellikleri, yayılma değerleri, basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları, eğilme dayanımları ve elastisite modülleri uygulanan testler ile elde edilmiştir. ANFO (Amonyum Nitrat Fuel Oil) patlatma testleri ile de ultra yüksek performanslı beton ve reaktif pudra betonu ile üretilen betonarme panellerin patlama direnç kapasiteleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda UYPB ve RPB basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları, elastisite modülleri ve Poisson oranları değeri olarak NDB (normal dayanımlı beton)'un yaklaşık 3.0–7.9 kat daha yüksektir. RPB'de kullanılan kısa çelik lifler nedeniyle Poisson oranı UHPB'den 1.2 kat daha fazladır. Kısa çelik liflerin çatlak kontrol edici etkisi sayesinde RPB, UHPB'den daha yüksek bir yarıлма gerilme mukavemetine sahip olmuştur.

UHPB ve RPB'nin patlamaya karşı dayanıklılık kapasiteleri, 1.5 m mesafeli 15.88 kg'lık ANFO şarjı kullanılarak ve 278-457 saniye arasında değişen bir gerinim oranına sahip bir patlama yükü uygulanan patlama testleriyle doğrulanmıştır. Patlama testlerinden elde edilen veriler, gerinim ve ivmeölçer ölçümleri UHPB ve RPB panel örneklerinin, NDB örneklerinden daha yüksek patlamaya dayanıklı kapasitelere sahip olduğunu göstermiştir. UHPB ve RPB numunelerinde kullanılan inşaat demiri ve kısa çelik lifler, sırasıyla UHPB ve RPB elemanlarının kırılma malzeme özelliklerini ortadan kaldırmakta, yeterli esneklik sağlamak ve bu malzemelere olağanüstü enerji emme ve çatlak kontrol kapasiteleri kazandırmaktadır.

(Kravanja & Sovják, 2018) çalışmalarında yüksek hızlı mermi darbesine karşı farklı lif hacim (%0.125, %0.25, %0.5, %1, %2) oranlarına sahip UYPLB numunelerinin balistik dirençlerinin araştırıldığı deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda lifin hacimsel içeriğindeki artışın penetrasyon derinliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ancak krater alanı ve hacmini azaltmada oldukça etkili olduğu bulunmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton karışımlarının basınç dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla her karışımdan 6 adet 100 mm boyutlu küp numune üretilmiştir. Karışımların eğilme dayanımları yarmada çekme dayanımı testleri ile belirlenmiştir. Karışım başına 2 adet silindir numunesi üretilmiştir. Silindir numunelerin enkesit boyutları 100x200 mm'dir. Balistik testler için 325x325mm boyutlarında 80 mm kalınlığında 1'er adet plak beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen beton numuneleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Çalışmada üretilen numuneler.

Numune Boyutları	Numune Şekli	Numune Miktarı	Uygulanan Test
325x325x80 mm	Plak	1	Balistik Test
100x100x100 mm	Küp	6	Basınç Dayanım Testi
100x200 mm	Silindir	2	Yarmada Çekme Dayanım Testi

3.1 Deney Malzemeleri ve Özellikleri

Ultra Yüksek Performanslı Beton karışımlarında agrega olarak 0-0.4 mm kuvars olarak tek tip agrega kullanılmıştır. Bağlayıcı bölümünü çimento, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu oluşturmaktadır. Tüm karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0.18 olarak sabit tutulmuştur. Karışımlara işlenebilirliğin sağlanabilmesi amacıyla süper akışkanlaştırıcı katkı eklenmiştir. Referans karışım lifsiz olarak hazırlanırken çelik lif karışımlarda hacimce %2 ve %3 oranlarında 13 mm mikro, 30 mm kancalı ve 60 mm üç kancalı çelik lifler kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmada UYPLB'nin klasik panmikserlerde üretilmesi amaçlanmıştır. UYPLB üretiminde agrega, bağlayıcı olarak çimento, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu, su, akışkanlaştırıcı ve çelik lif gibi bileşenler kullanılmıştır. Bu bileşenler Tablo 3.2'de sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında yaklaşık 15 farklı beton karışımı denenmiştir. Yapılan ön testler neticesinde literatürde hedeflenen basınç dayanımına uygun olarak Tablo 3.2'de yer alan karışım seçilmiştir.

Tablo 3.2: Beton bileşeni oluşturan malzemeler (kg/m³).

Karışımlar	Agrega	İri Agrega	Ç	S.D.	Y.F.C.	Su	S.A.	Ç.L*	Lif Tipi
KR	970	-	720	240	240	216	12	0	-
KM-2	900	-	720	240	240	216	17	2	M
KM-3	875	-	720	240	240	216	17	3	M
K3D-2	915	-	720	240	240	216	12	2	3D
K3D-3	890	-	720	240	240	216	13	3	3D
K5D-2	855	-	720	240	240	216	25	2	5D
K5D-3	855	-	720	240	240	216	25	3	5D
KİM-2	750	156	720	240	240	216	15	2	M
Kİ3D-2	750	156	720	240	240	216	15	2	3D

A: 0-0.4 mm Kuvars agrega, İri Agregaya: 2-5 mm Bazalt, Ç: Çimento, S.D: Silis dumanı, S.A: Süper akışkanlaştırıcı, Ç.L: Çelik lif, *: Hacimsel oranı, Lif tipi: Mikro, 3D, 5D

Karışımların kodların K karışımı ifade ederken, R referansı (lifsiz), İ iri agregayı, M mikro lifi, 3D kancalı lifi ve 5D çift kancalı lifi ifade etmektedir. Ayrıca kodların yanında hacimsel lif oranları rakamla ifade edilmiştir. Örnek olarak “**Kİ3D-2**” karışımı “**iri agregalı ve hacimce %2 kancalı lifli**” numuneyi ifade etmektedir.

Beton üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri ve görevleri şunlardır:

3.1.1 Agregaya

Agregaya olarak betonda 0-0.4 mm Kuvars agrega olmak üzere tek tip agrega kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Kuvars agrega.

Ayrıca bu çalışmada üretilen beton numunelerde iri agregaya etkisini tespit etmek adına %2 oranda çelik lif içeriğine sahip bazı karışımlarda 2-5 mm Bazalt agregası kullanılmıştır (Şekil 3.2). Bazalt agregası elek analizi Tablo 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2: Bazalt agregası.

Tablo 3.3: Bazalt agregası elek analiz sonuçları.

Agrega	Elekten Geçen (%)						Özgül Ağırlık	Su Emme (%)
	8	4	2	1	0.5	0.25		
B	100	94.3	11.1	1.3	0.9	0.8	2.9	1.60

3.1.2 Bağlayıcılar

Bağlayıcı olarak 3 tip bağlayıcı kullanılmaktadır. Bunlar çimento, silis dumanı ve yüksek fırın cürufudur. Ana bağlayıcı olarak CEM I 42.5R sınıf katkısız portland çimento kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Portland çimentosu.

Çimento taneleri arasındaki boşlukları doldurarak granülometriyi iyileştirecek ve aynı zamanda betonun daha kuvvetli bir iç yapı oluşturmasını sağlayacak madde olan silis dumanı, çimentonun yaklaşık %1'i inceliğine sahiptir. Yüksek oranda SiO₂ içeriği sayesinde silis dumanı, betonun su ihtiyacını, basınç dayanımını, yapışma özelliğini (aderansı) ve aşınma direncini artırmaktadır, geçirgenliği azaltmaktadır (Şekil 3.4). Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.4'te sunulmuştur.



Şekil 3.4: Silis dumanı.

Tablo 3.4: Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Kimyasal Bileşim	Miktarı (%)	Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	91.57	Renk	Gri
MgO	4.05		
Al ₂ O ₃	0.38	Birim Ağırlık (kg/m ³)	2.20
CaO	0.32		
Cr ₂ O ₃	0.32	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	2.20
Fe ₂ O ₃	0.15		
C	0.217	Özgül Yüzey (m ² /kg)	17000
S	0.075		

Betona katıldığında basınç mukavemetini arttıran yüksek fırın cürufu (YFC), demir çelik endüstrisinin bir yan ürünü olarak elde edilmektedir. Demir cevherlerinde bulunan SiO_2 ve Al_2O_3 , ince öğütülüp sulu ortamda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile birleştirildiğinde puzolanik özellik sergilemektedir. Yüksek fırın cürufunun (Şekil 3.5) teknik özellikleri Tablo 3.5'te sunulmuştur.

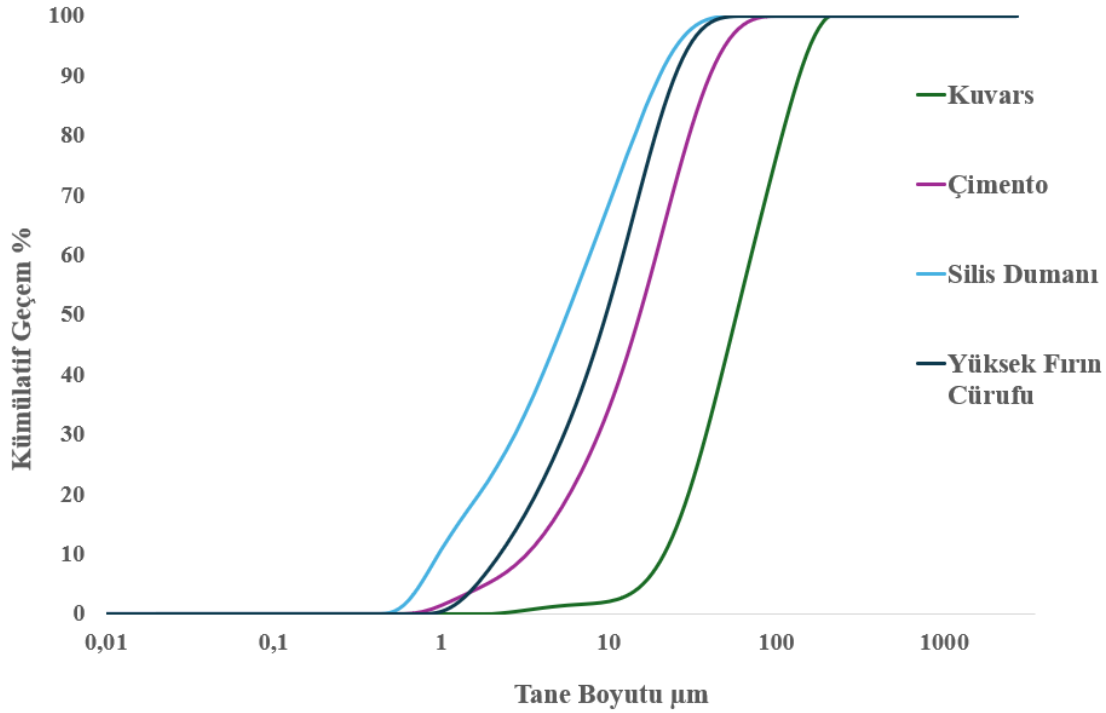


Şekil 3.5: Yüksek fırın cürufu.

Tablo 3.5: Yüksek fırın cürufu teknik özellikleri.

Kimyasal Bileşim	Miktarı (%)
SiO_2	35.0 – 45.0
CaO	30.0 – 40.0
Al_2O_3	9.0 – 13.0
S	0.5 – 1.5
MgO	6.0 – 8.5
MnO	0.5 – 3.5
FeO	0.1 – 3.5
K_2O	0.5 – 2.0

Kullanılan kuru malzemelerin (agrega ve bağlayıcılar) parçacık boyut analizi yapılmış olup boyut dağılım grafiği Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6: Boyut dağılımı.

3.1.3 Akışkanlaştırıcı

Beton üretiminde kullanılan silis dumanının arttırmış olduğu su isteğini karşılamak amacıyla ve işlenebilirliği arttırmak amacıyla TS EN 934-2 Çizelge 11.1,11.2 ASTM C 494 F tipine uygun üretilen polikarboksilat esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Bu akışkanlaştırıcı sayesinde su/bağlayıcı oranı düşük kalmaktadır ve betonun işlenebilirliği artmaktadır.

3.1.4 Lif

Ultra Yüksek Performanslı Betona çelik lif kullanılması betonun mekanik özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Betonda yeterli dozda çelik lif kullanımı betonun hem enerji kapasitesini geliştirmektedir hem de çekme ve basınç dayanımlarını arttırmaktadır. Beton içerisindeki lif oranının (hacimce %2.00-%3.00) basınç ve çekme özelliklerine etkisi fazladır. Kullanılan lifin cinsi ve çeşidi de başka etken parametrelerdir. Bu çalışmada Bekaert Dramix 5D iki kancalı, Bekaert Dramix 3D kancalı ve bakır kaplamalı çelik lifler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çelik liflerin karakteristik özellikleri Tablo 3.6'da, tipi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.6: Çelik liflerin özellikleri.

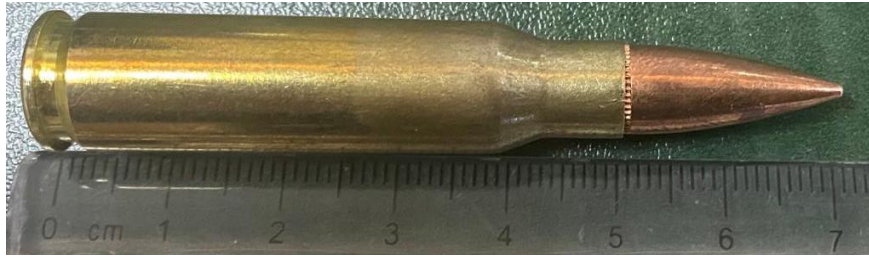
Malzeme	Çap d (mm)	Uzunluk L (mm)	Narinlik (L/d)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Dramix 5D	0.9	60	65	2300	210
Dramix 3D	0.55	30	55	2300	210
Micro	0.16	13	81	2850	200



Şekil 3.7: Kullanılan çelik lifler.

3.1.5 Mermi

Çalışmada kullanılan mühimmat Şekil 3.8’de gösterilen 7.62x51 mm NATO (M80) fişegidir. Bu mühimmatta kullanılan tasarım ve malzemeler, gelişmiş delme yetenekleri ve uzun mesafelerde yüksek doğruluğa sahip olduğu için seçilmiştir. Mühimmat yarı otomatik tüfekler, keskin nişancı tüfekleri ve makineli tüfekler için uygundur. Mühimmatın fişek boyu 71.12 mm, fişek ağırlığı yaklaşık olarak 24 gr. dır. Ortalama dağılım yarıçapı 100 m’de maksimum 3.5 cm’dir. Bu çalışmada kullanılan fişegin özellikleri Tablo 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Çalışmada kullanılan mühimmat (Bayram vd., 2022).

Tablo 3.7: Mühimmatın teknik özellikleri (Makine ve Kimya Endüstrisi A.Ş.).

Mühimmatın Teknik Özellikleri	
Çekirdek ağırlığı	149 gr (9.67g)
Çekirdek uzunluğu	29.46 mm
Kovan uzunluğu	51.18 mm
Kovan malzemesi	Pirinç
Balistik Katsayı	0.45 (G1)

3.2 Deney Numunelerinin Oluşturulması

Bu çalışma kapsamında Ultra Yüksek Performanslı Lifli betonlar hazırlanmadan önce referans karışım olması için lifsiz beton üretilmiştir. Beton numuneler için 56 dm³ (litre) hacim karıştırma kapasitesine sahip pan tipi mikser kullanılmıştır. Üretim esnasında herhangi bir özel kür uygulanmamıştır. Üretilen betondan basınç dayanımlarının belirlenmesi için 100x100 mm boyutlarında küp numuneler alınmıştır. Yarmada çekme dayanımı etkisi altında davranışının belirlenmesi için 100x200 mm boyutlarında silindir numuneler alınmıştır. Balistik dirençlerinin belirlenmesi için 325x325 mm boyutlarında ve

80 mm kalınlığında numuneler hazırlanmıştır. Üretilen numuneler 24 saat buhar küründe bekletilmiş sonrasında test tarihlerine kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

UYPLB karışımı hazırlanmadan önce ilk olarak malzemelerin hepsinin tartımı yapılarak beton mikserinin yakınında hazır edilmiştir (Şekil 3.9). Malzeme tartımları 1gr hassasiyete sahip dijital terazi ile yapılmıştır. UYPLB hazırlanmasında 56 dm³ (litre) hacim kapasiteli bir panmikser kullanılmıştır (Şekil 3.10). Döküm esnasında kalıplar yağlanmış bir şekilde döküm alanında hazır bekletilmiştir (Şekil 3.11). İlk olarak bağlayıcı malzemeler mikser yardımıyla yaklaşık iki dakika karıştırılmıştır. Bağlayıcı malzeme tamamen karıştıktan sonra mikser durdurulmaksızın gerekli olan suyun tamamına akışkanlaştırıcının yarısı eklenerek hazırlanan bu sıvı karışım miksere katılmaktadır ve aynı hızla iki dakika daha karıştırma işlemine devam edilmektedir (Şekil 3.12). Plastik kıvamda ulaşan karışımın içerisine yarısı kalan akışkanlaştırıcı da eklenerek iki dakika daha ek olarak karıştırılmış ve akışkan kıvamda bir karışım elde edilmiştir. Daha sonra agregalar ilave edilmiştir ve karıştırma hızı artırılarak yüksek devirde karıştırılmaya devam edilmiştir. Son olarak, gerekli lifler eklenmiş ve karışımın içinde homojen bir şekilde dağılması sağlandıktan sonra beton döküm aracına alınmıştır. Karışım karıştırma süreleri Şekil 3.15'te verilmiştir. Kalıplara yerleştirme işlemleri yapılmıştır (Şekil 3.13). Hazırlanan numuneler, dökümden sonra plastik malzemeli bir örtü yardımı ile kaplanarak bir gün boyunca kalıp içerisinde bekletilmesi sağlanmıştır. (Şekil 3.14). Beton numuneler daha sonra kür kabinine yerleştirilerek 90°C buhar ortamında bir gün boyunca kürlenmiştir. Termal şok oluşmaması için kabinin ısıtması durdurulmuş ve numunelerin yavaşça soğuması sağlanmıştır.



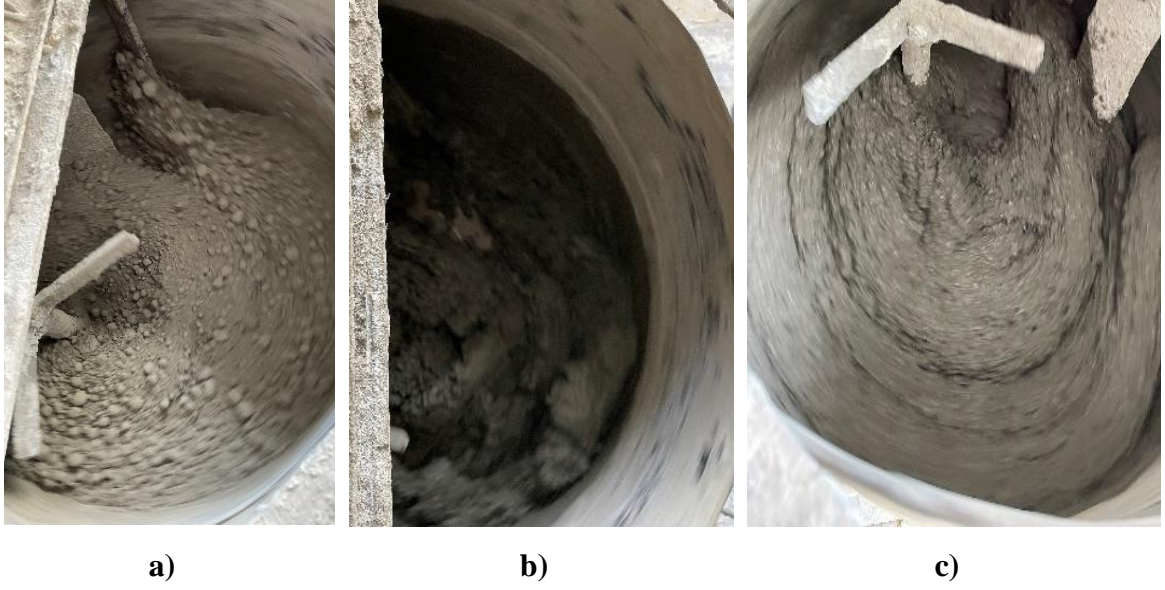
Şekil 3.9: Betonda kullanılacak tartımı yapılmış malzemeler.



Şekil 3.10: Panmikser.



Şekil 3.11: Kalıplar.



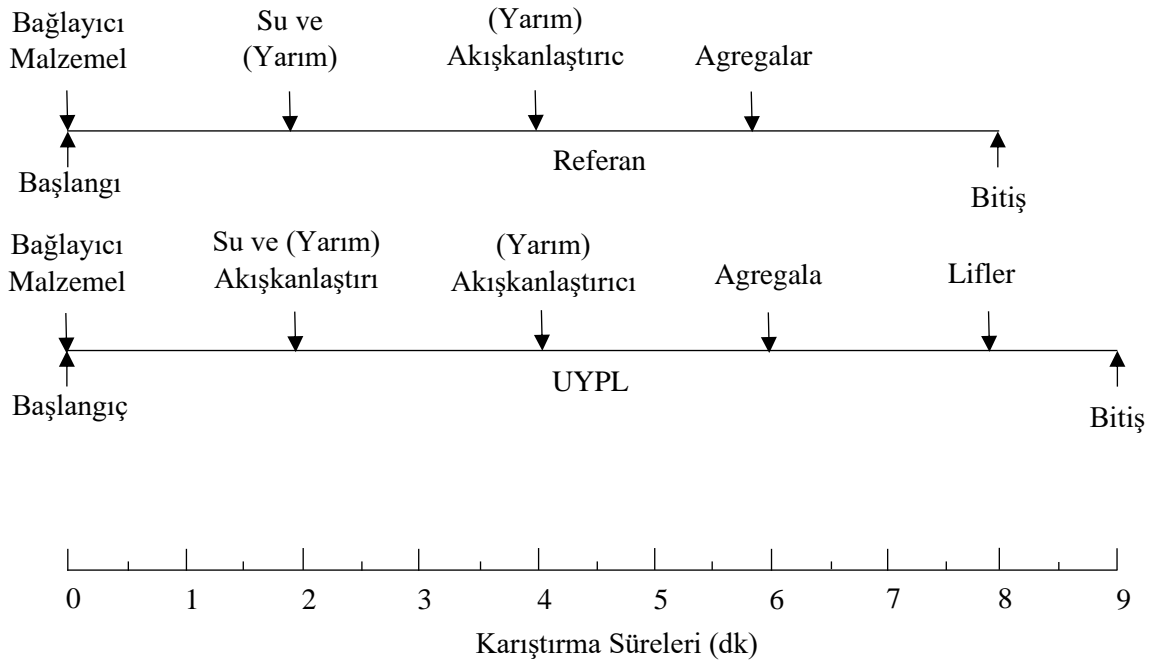
Şekil 3.12: Betonun panmikserde hazırlanma aşamaları
a) Kuru karışım, b) Plastik kıvam, c) Akışkan kıvam durumları.



Şekil 3.13: Betonun kalıplara yerleştirilmesi.

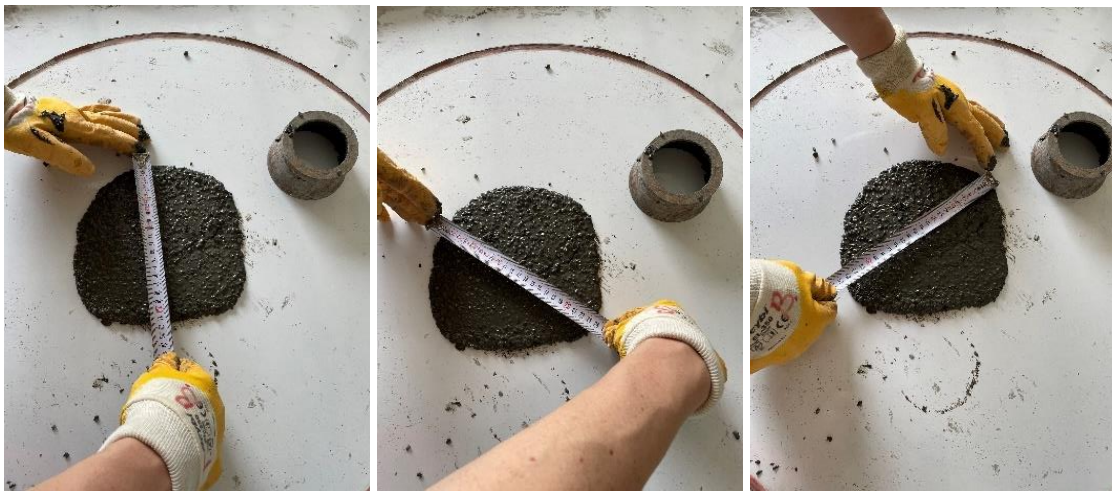


Şekil 3.14: Plastik örtü ile sarılan numuneler.



Şekil 3.15: Karışımlar için karıştırma süreleri.

Karışımların kıvamları, numunelerin üretimi sırasında A STM C1437-20 (2020) standardına göre gerçekleştirilen yayılma testleri ile belirlenmiştir. Beton, mini çökme hunisine yerleştirildikten sonra dik olarak kaldırılmış ve betonun serbestçe yayılması sağlanmıştır (Şekil 3.16). Yayılma durduktan sonra, iki dik doğrultuda yayılma değeri ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Karışımlar için ölçülen yayılma değerleri Tablo 3.8’de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek yayılma değerinin lifsiz KR karışımında elde edildiği görülmüştür. Lif miktarının artmasıyla birlikte, betonun akışkanlığının azaldığı açıkça görülmektedir. Hacimce %2 lif kullanıldığında, akışkanlık KR karışıma göre yaklaşık olarak yarı yarıya azalmıştır.



Şekil 3.16: Yayılma testi.

Tablo 3.8: Yayılma değerleri.

Karışımlar	Yayılma (cm)	Lif İçeriği
KR	23.5	%0
KM-2	18.2	%2
KM-3	14.3	%3
K3D-2	18.5	%2
K3D-3	14.2	%3
K5D-2	17.2	%2
K5D-3	13.5	%3
KİM-2	19.3	%2
Kİ3D-2	18.7	%2

3.3 Mekanik Testler

Hazırlanan lifli ve lifsiz beton karışımlarının basınç dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla her karışımdan 6 adet 100 mm boyutlu küp numune üretilmiştir. Karışımların çekme dayanımları yarmada çekme testleri ile belirlenmiştir (Şekil 3.17). Karışım başına 2 adet silindir numunesi üretilmiştir. Silindir numunelerin boyutları taban çapı 100 mm ve uzunluğu 200 mm'dir. Karışım başına hazırlanan 6 adet küp numunenin aksel basınç testleri yapılmış (Şekil 3.17) ve karışımların ortalama 28 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımları Tablo 3.9'da sunulmuştur. Lifsiz KR karışımının yarmada çekme dayanımı 8.65 MPa olarak elde edilmiştir. %2 çelik lifli karışımlarda çekme dayanımı lifsiz karışıma göre yaklaşık 2.5 kat artış gösterirken, lif miktarı %3'e çıktığı karışımlarda dayanım artışı 3 kata ulaşmıştır. Lif içerikleri aynı oranda olacak şekilde kıyaslandığında en düşük çekme dayanımı 3D (kancalı) liflerde, en fazla çekme dayanımı ise 5D (iki kancalı) liflerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.17: Basınç ve yarmada çekme testleri.

Tablo 3.9: Beton numunelerin mekanik test sonuçları.

Beton Karışımları	Hacimsel Lif Oranları (%)	Lif Tipi	Basınç Dayanımı (MPa)	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)
KR	%0	-	131.2	8.65
KM-2	%2	M	134.5	22.96
KM-3	%2	M	110.7	16.91
K3D-2	%2	3D	132.3	26.24
K3D-3	%3	3D	150.5	21.65
K5D-2	%3	5D	122.3	18.42
K5D-3	%3	5D	137.0	32.26
KİM-2	%2	M	140.0	21.54
Kİ3D-2	%2	3D	118.7	15.39

K: Karışım, M: Mikro lif, 3D: Dramix 3D lif, 5D; Dramix 5D lif

3.4 Balistik Testler

Tez çalışması kapsamında üretilen beton plaklar Balıkesir ilinde bir kamu kuruluşuna tahsisli atış alanında yapılmıştır. Atış esnasında yaşanması muhtemel olumsuzlukları engellemek için bütün güvenlik önlemleri en üst düzeyde alınmıştır. Tez kapsamında yapılan balistik testlerde numunelerin balistik performanslarını belirlemek için NIJ Standardı 0123.00'a göre tanımlanmış 7.62x51 mm M80 (Normal) NATO fişegi (Şekil 3.18) ve bu fişege uygun çapta atış yapılabilecek Heckler & Koch G3 piyade tüfeği (Şekil 3.19) tercih edilmiştir.

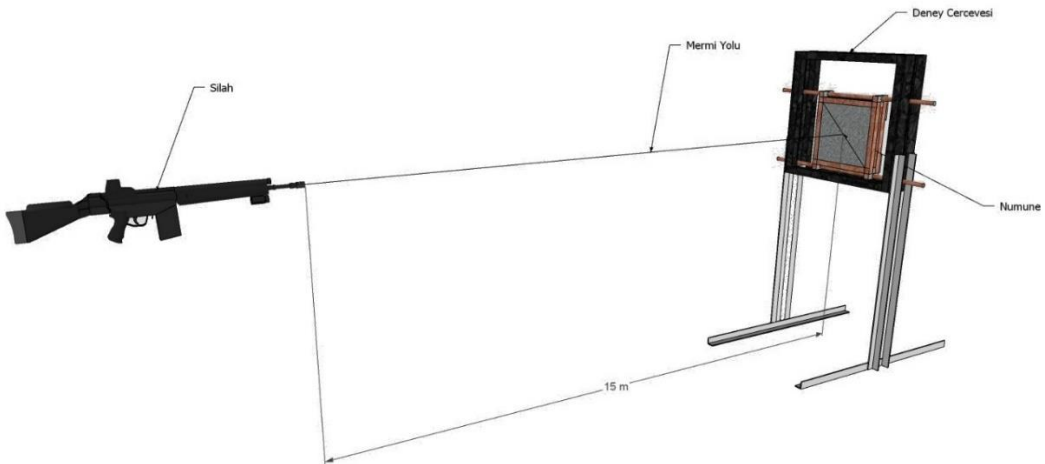


Şekil 3.18: Atış testinde kullanılan fişek.



Şekil 3.19: Atış testinde kullanılan silah.

İlgili NIJ standartlarında belirtildiği gibi 15 ± 1 m mesafeden yapılmıştır. RF1 koruma seviyesine uygun olarak ateşlenen mermiler şematik olarak Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Şematik atış test düzeneği.



Şekil 3.21: Balistik test düzeneği.

UYPLB hedeflerini sabitlemek için özel olarak tasarlanmış çelik çerçeve zemine yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. Şekil 3.21’de gösterildiği gibi, UYPLB ile üretilen plaklar, köşelerinden basit mesnetli olarak sabitlenmiştir, böylece plakların arka yüzeyinde meydana gelen hasarlar gözlemlenebilmiştir. Atış aynı kişi tarafından ve aynı şartlarda gerçekleştirilmiştir. Testler, kürelemeden 28 gün sonra gerçekleştirilmiştir. Eylül ayında 30 °C sıcaklıkta, açık alanda yapılmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22: Balistik test atış alanı.

UYPLB' un balistik direnci, numunelerin darbe yüzeyindeki hasara göre belirlenmiştir. Darbe yüzeyindeki hasar, oluşan kraterin eşdeğer çapı ve derinliği olarak değerlendirilmiştir. Eşdeğer krater çapı, en uzun ve en kısa ortogonal boyutlarını (sırasıyla) tanımlayan birbirine dik yönde ölçülen (D_1 ve D_2) krater çaplarının çarpımının karekökü ile hesaplanmıştır. Formül aşağıda verilmiştir.

$$D_{eşd} = \sqrt{D_1 * D_2} \quad (3.1)$$

D_1 : X eksenine göre krater çapı

D_2 : Y eksenine göre krater çapı

$D_{eşd}$: Eşdeğer krater çapı

Krater derinliği ise darbe yüzeyinden merminin nüfuz ettiği en derin noktaya kadar olan mesafe olarak tanımlanmıştır ve kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Krater derinliği ölçülürken kalınlığı 1 cm olan bir demir çubuk yardımı ile ölçüm yüzeyi düz bir hale getirilip ölçüm yapılmıştır. Daha sonra kumpas üzerinde okunan değer 1 cm azaltılarak gerçek değer tespit edilmiştir. Kumpas ile yapılan krater çapı ölçümü Şekil 3.23'te ve krater derinliği ölçümü Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Arka yüzeydeki hasarın ölçülmesi zor olabilmekte çünkü çatlaklar, parçalanma veya kabuklanma gibi hasarlar, test edilen hedeflerin çoğunda belirgin olmayabilmektedir. Bu nedenle arka yüzeydeki hasar, sadece kalitatif değerlendirmeler için kullanılır ve altı seviyede tanımlanmaktadır (Dancygier, Yankelevsky, & Jaegermann, 2007) (Ueno, Beppu, & Ogawa, 2017). Bu seviyeler:

- Seviye 1: Görülebilir kılcal çatlak yok
- Seviye 2: Görünür çatlaklar mevcut ancak kabuklanma yok
- Seviye 3: Çok yoğun çatlaklar mevcut
- Seviye 4: Kabuklanma ve parçalanma var
- Seviye 5: Saçılma ile delik oluşuyor
- Seviye 6: Mermi numuneyi delip geçiyor.

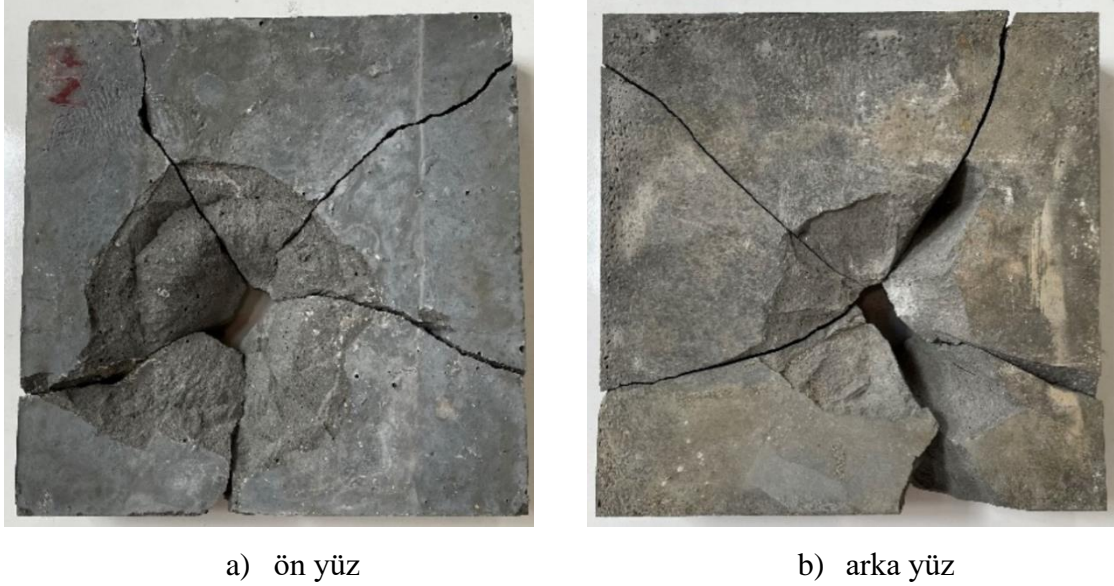


Şekil 3.23: Kumpas ile krater çapı ölçümü.



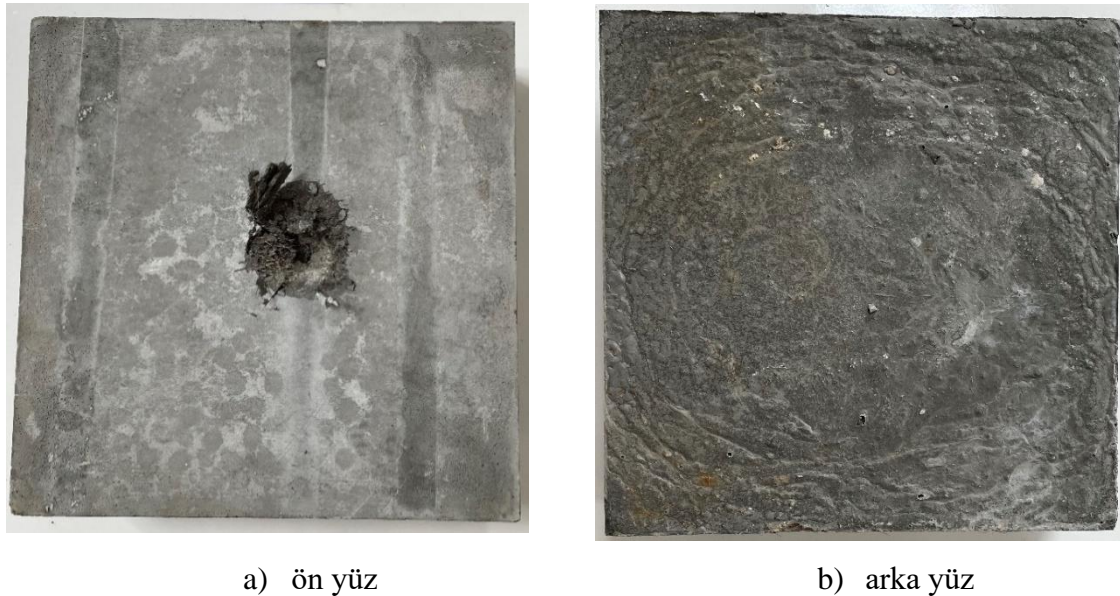
Şekil 3.24: Kumpas ile krater derinliği ölçümü.

Balistik testler sonucunda lifsiz olarak üretilen KR numune kodlu lifsiz beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 193.11 mm arka yüzeyde **Seviye 6** hasar meydana gelmiştir. Mermi tamamen delip geçtiği için krater derinliği beton plakanın kalınlığı olan 80 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.25: KR beton plaka hasarları.

Balistik testler sonucunda %2 micro lif içeriği olarak üretilen KM-2 numune kodlu beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 70.73 mm arka yüzeyde görülebilir kılcal çatlak olmadığı için **Seviye 1** hasar meydana gelmiştir. Krater derinliği 28.8 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.26: KM-2 beton plaka hasarları.

Balistik testler sonucunda %2 Dramix 3D lif içeriği olarak üretilen K3D-2 numune kodlu beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 90.94 mm arka yüzeyde görülebilir kılcal çatlak olduğu için **Seviye 2** hasar meydana gelmiştir. Krater derinliği 29.7 mm olarak belirlenmiştir.



a) ön yüz



b) arka yüz

Şekil 3.27: K3D-2 beton plaka hasarları.

Balistik testler sonucunda %2 Dramix 5D lif içeriği olarak üretilen K5D-2 numune kodlu beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.28’de gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 108.49 mm arka yüzeyde görülebilir kılcal çatlak olduğu için **Seviye 2** hasar meydana gelmiştir. Krater derinliği 28.1 mm olarak belirlenmiştir.



a) ön yüz



b) arka yüz

Şekil 3.28: K5D-2 beton plaka hasarları.

Balistik testler sonucunda %3 micro lif içeriği olarak üretilen KM-3 numune kodlu beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.29’da gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 67.47 mm arka yüzeyde görülebilir kılcal çatlak olmadığı için **Seviye 1** hasar meydana gelmiştir. Krater derinliği 27.9 mm olarak belirlenmiştir.



a) ön yüz



b) arka yüz

Şekil 3.29: KM-3 beton plaka hasarları.

Balistik testler sonucunda %3 Dramix 3D lif içeriği olarak üretilen K3D-3 numune kodlu beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.30’da gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 86.17 mm arka yüzeyde görülebilir kılcal çatlak olduğu için **Seviye 2** hasar meydana gelmiştir. Krater derinliği 27.5 mm olarak belirlenmiştir.



a) ön yüz



b) arka yüz

Şekil 3.30: K3D-3 beton plaka hasarları.

Balistik testler sonucunda %3 Dramix 5D lif içeriği olarak üretilen K5D-3 numune kodlu beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.31’de gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 83.43 mm arka yüzeyde görülebilen kılcal çatlak olduğu için **Seviye 2** hasar meydana gelmiştir. Krater derinliği 25.5 mm olarak belirlenmiştir.



a) ön yüz

b) arka yüz

Şekil 3.31: K5D-3 beton plaka hasarları.

Balistik testler sonucunda %2 micro lif içeriği olarak üretilen KİM-2 numune kodlu iri agrega ilaveli beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.32’de gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 79.17 mm arka yüzeyde görülebilen kılcal çatlak olmadığı için **Seviye 1** hasar meydana gelmiştir. Krater derinliği 28.1 mm olarak belirlenmiştir.

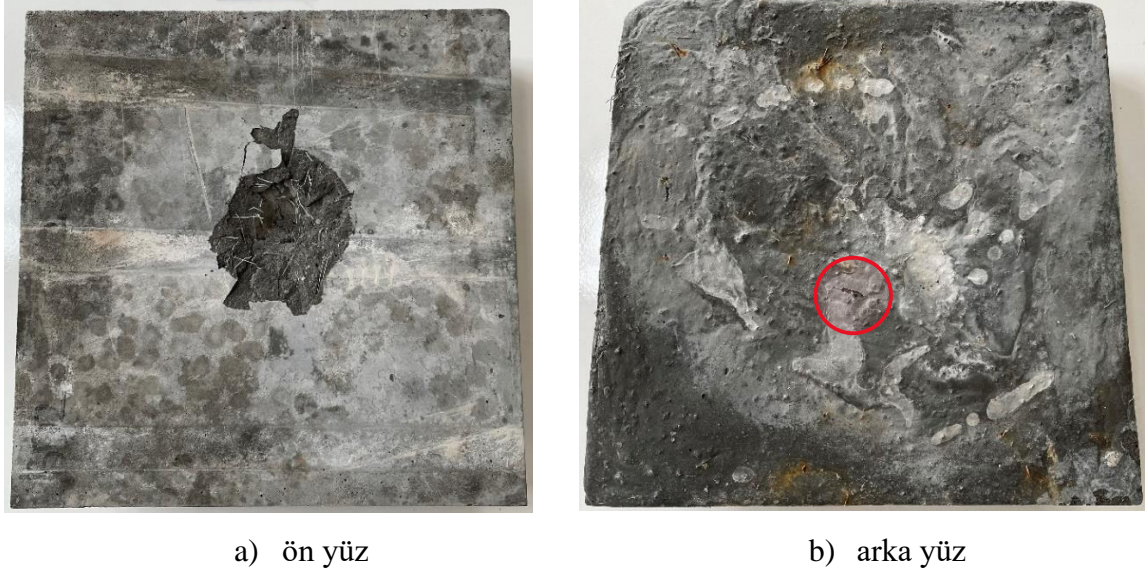


a) ön yüz

b) arka yüz

Şekil 3.32: KİM-2 beton plaka hasarları.

Balistik testler sonucunda %2 Dramix 3D lif içeriği olarak üretilen Kİ3D-2 numune kodlu iri agrega ilaveli beton plakada meydana gelen hasar Şekil 3.33'te gösterilmiştir. Ön yüzeyde oluşan krater çapı 98.68 mm arka yüzeyde görülebilir kılcal çatlak olduğu için **Seviye 2** hasar meydana gelmiştir. Krater derinliği 26.9 mm olarak belirlenmiştir.



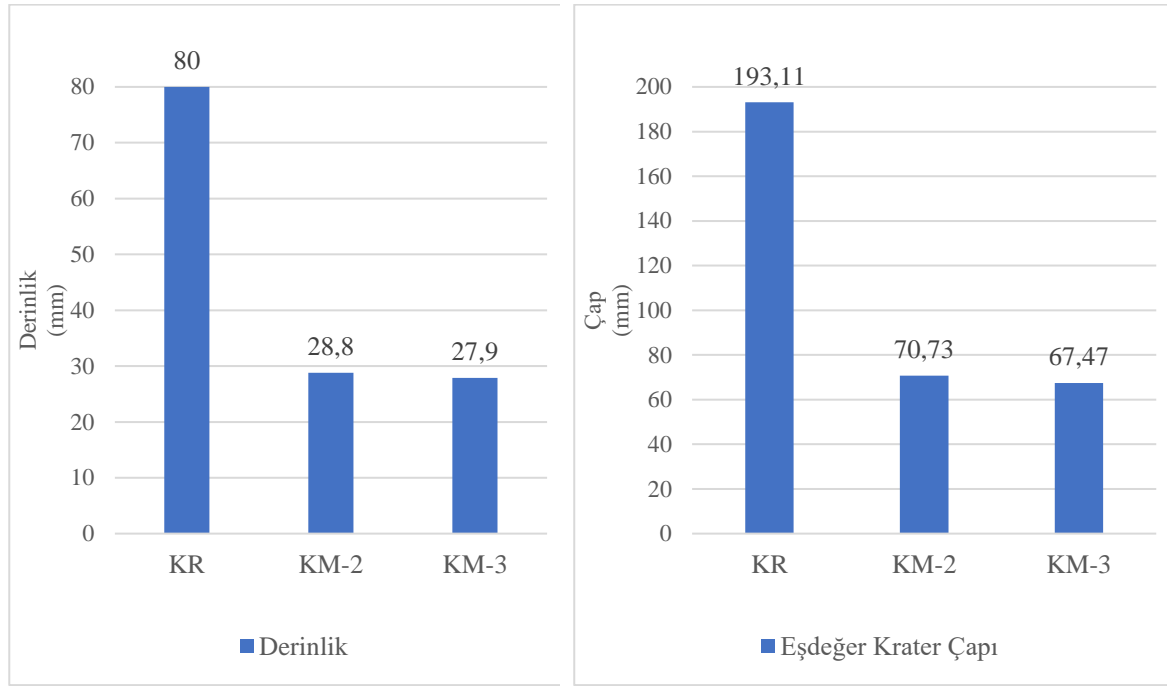
Şekil 3.33: Kİ3D-2 beton plaka hasarları.

Test edilen plak numunelerinin ön ve arka yüzeylerdeki eşdeğer krater çapları ve krater derinlikleri ile mermi hızları toplu olarak Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10: Balistik test sonuçları.

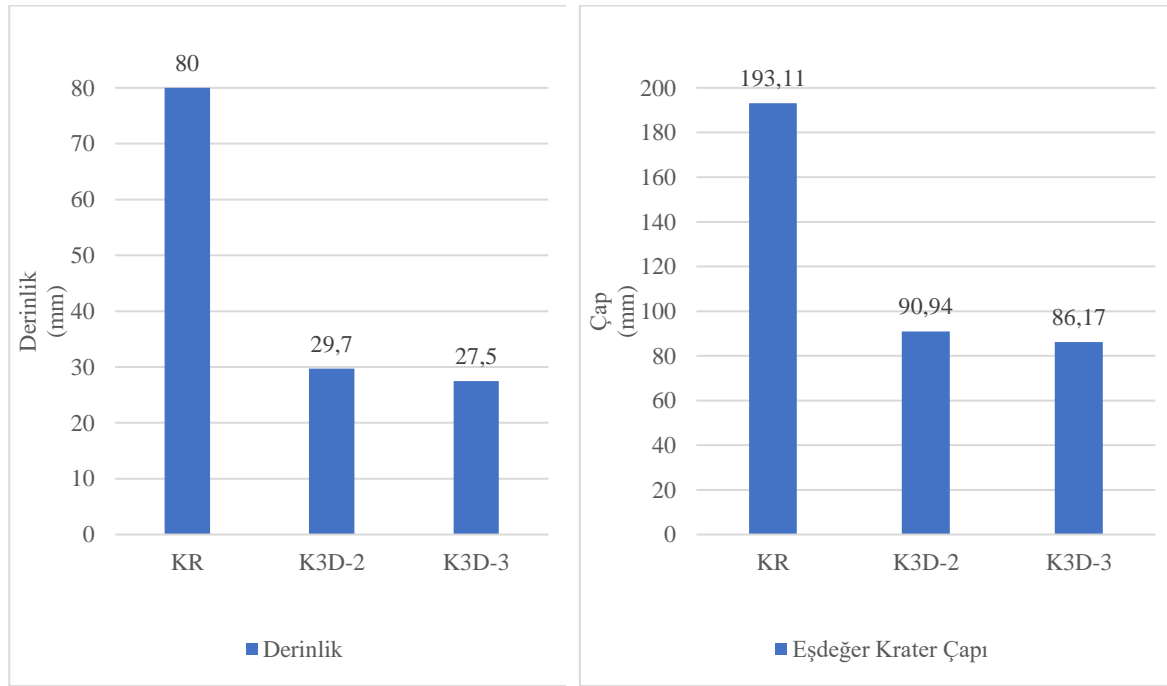
Numune Kodu	Lif Oranı (%)	Lif Tipi	Eşdeğer Krater Çapı (mm)		Krater Derinliği (mm)
			Ön Yüz	Arka Yüz	
KR	%0	-	193.11	Seviye 6	80
KM-2	%2	Micro	70.73	Seviye 1	28.8
KM-3	%3	Micro	67.47	Seviye 2	27.9
K3D-2	%2	3D	90.94	Seviye 2	29.7
K3D-3	%3	3D	86.17	Seviye 1	27.5
K5D-2	%2	5D	108.49	Seviye 2	28.1
K5D-3	%3	5D	83.43	Seviye 2	25.5
KİM-2	%2	M	79.17	Seviye 1	28.1
Kİ3D-2	%2	3D	98.68	Seviye 2	26.9

Balistik testlerde mikro liflerin krater derinliğine ve eşdeğer krater çapına etkisi Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



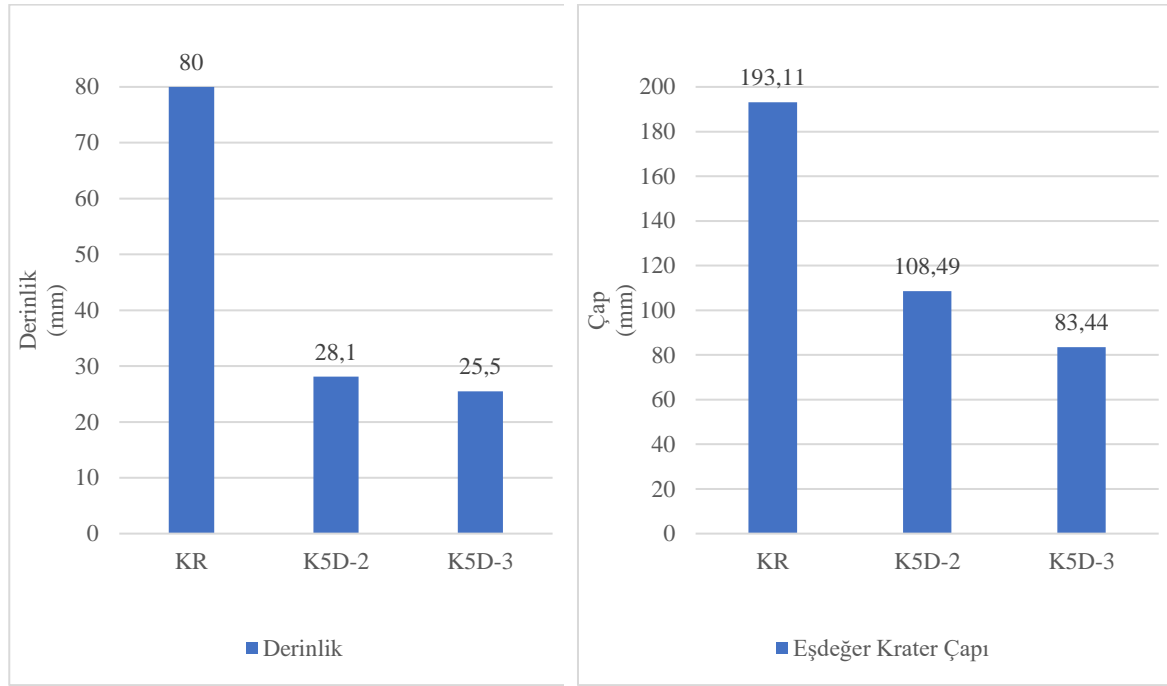
Şekil 3.34: Mikro lif oranının etkisi.

Balistik testlerde 3D liflerin (kancalı) krater derinliğine ve eşdeğer krater çapına etkisi Şekil 3.35'te gösterilmiştir.



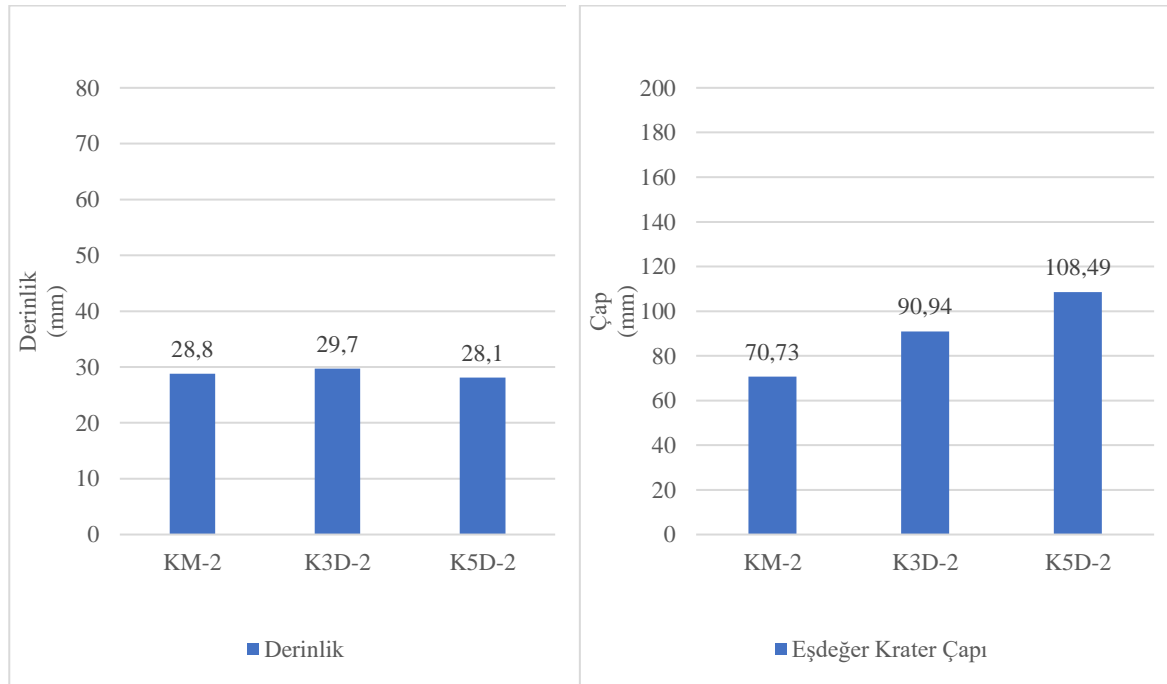
Şekil 3.35: 3D lif oranının etkisi.

Balistik testlerde 5D liflerin (iki kancalı) krater derinliğine ve eşdeğer krater çapına etkisi Şekil 3.36’da gösterilmiştir.



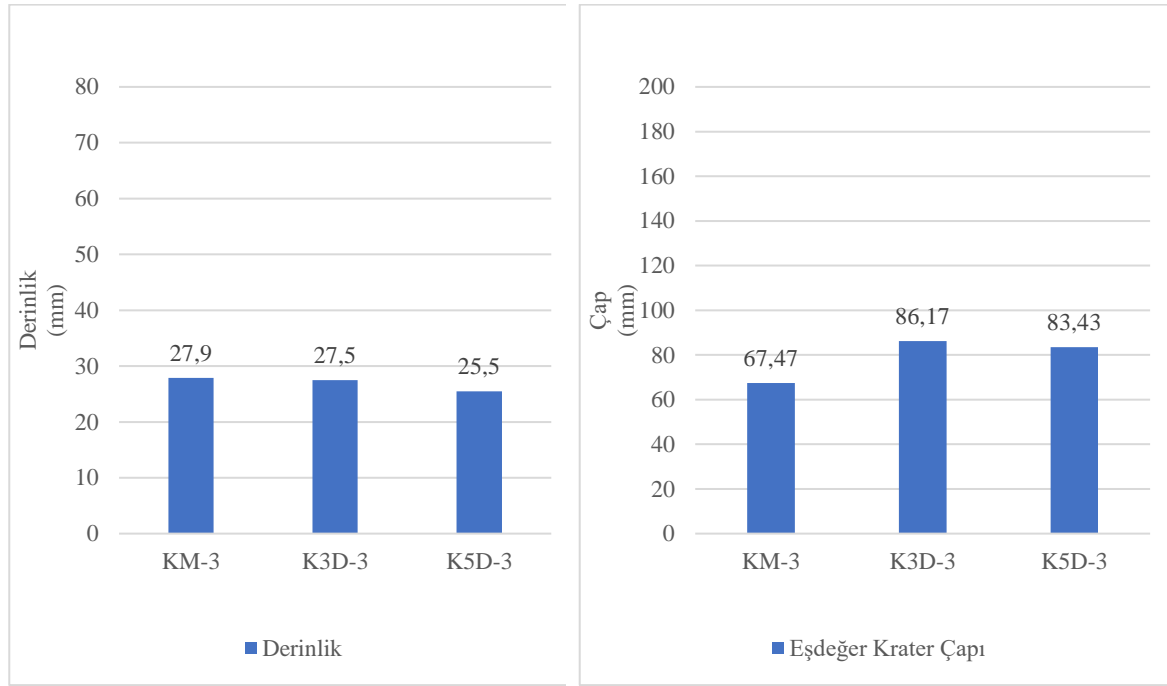
Şekil 3.36: 5D lif oranının etkisi.

Balistik testlerde %2 lif oranı için lif tipinin krater derinliğine ve eşdeğer krater çapına etkisi Şekil 3.37’de gösterilmiştir.



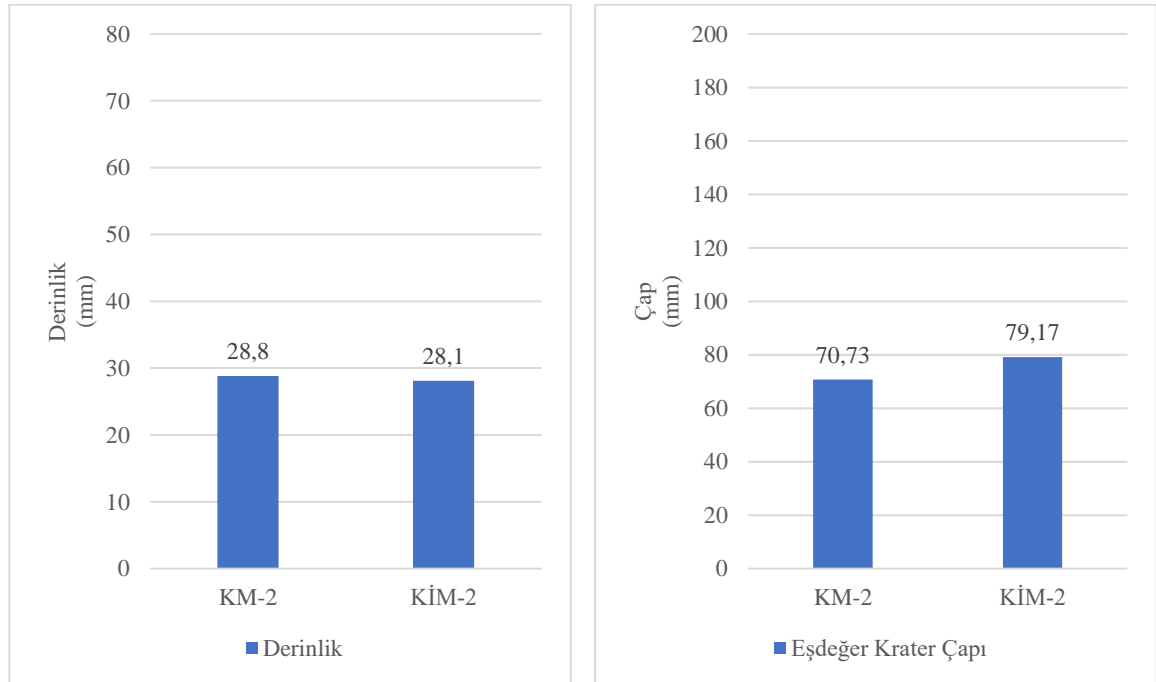
Şekil 3.37: %2 lif içeriğinde lif tipinin etkisi.

Balistik testlerde %3 lif oranı için lif tipinin krater derinliğine ve eşdeğer krater çapına etkisi Şekil 3.38’de gösterilmiştir.



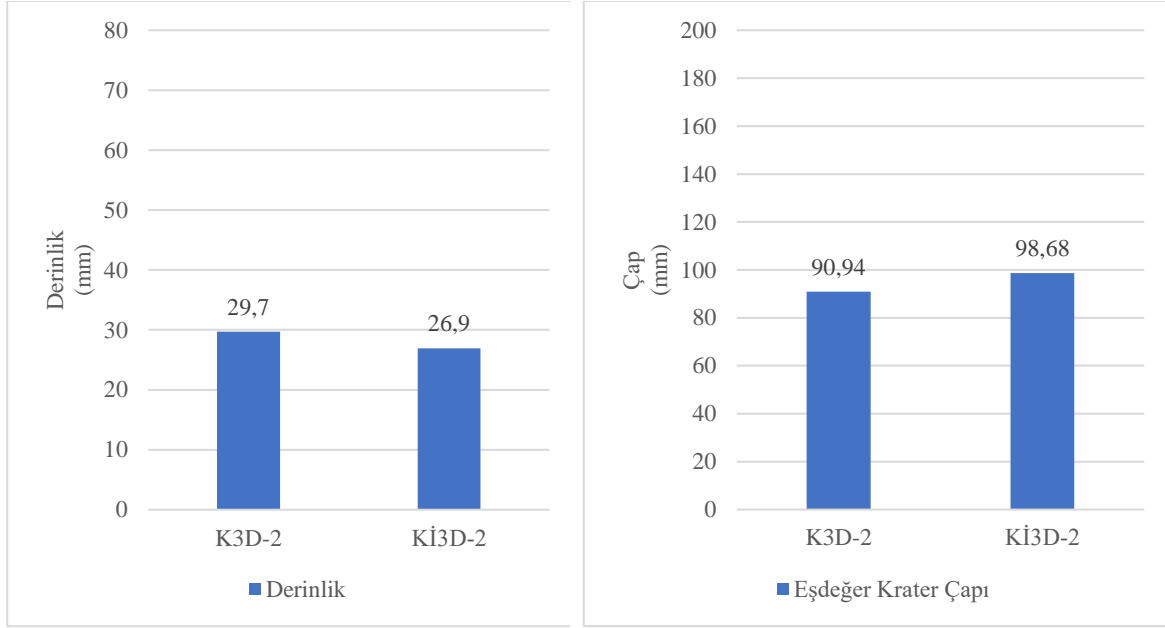
Şekil 3.38: %3 lif içeriğinde lif tipinin etkisi.

Balistik testlerde mikro lifte iri agreganın krater derinliğine ve eşdeğer krater çapına etkisi Şekil 3.39’da gösterilmiştir.



Şekil 3.39: Micro lifte iri agrega etkisi.

Balistik testlerde 3D lifte iri agreganın krater derinliğine ve eşdeğer krater çapına etkisi Şekil 3.40'ta gösterilmiştir.



Şekil 3.40: 3D lifte iri agrega etkisi.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında test edilen UYPLB plak numunelerin balistik davranışları incelenmiştir. Test edilen farklı ebatlar ve kalınlıkta plak numunelerin balistik atış test deneyi sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karışımların basınç dayanımı küp numunelerle tespit edilmiştir. Yarmada çekme dayanımının tespit edilmesi amacıyla ise prizma kiriş numuneler hazırlanmıştır. Yapılan deneyler sonucu aşağıda özetlenmiştir.

- Lifsiz (KR) karışımının yarmada çekme dayanımı 8.65 MPa olarak elde edilmiştir. %2 çelik lifli karışımlarda çekme dayanımı lifsiz karışıma göre yaklaşık 2.5 kat artış gösterirken, lif miktarı %3'e çıktığı karışımlarda dayanım artışı 3 kata ulaşmıştır.
- Lif tipi değişmeksizin hacimce lif oranı arttıkça basınç dayanımı artış gösterirken krater çapı ve krater derinliğinde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Plak numunelerde referans olarak üretilen lifsiz betonun (KR); krater derinliği ve eşdeğer krater çapı parametrelerinde %2 ve %3 çelik lifli numunelere göre daha fazla hasara uğradığı tespit edilmiştir. Bu sebeple üstün balistik performansı için betonun her yerinde homojen olarak dağılmış çelik liflerle takviye edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.
- Hacimce %2 ve %3 oranda çelik lif içeren UYPLB numunelerin mermilere karşı üstün performans gösterdiği ve savunma yapılarında kullanılabilir olduğu değerlendirilmektedir. Çalışmada hacimce %2 lif içeriğine sahip numunelerde de istenilen balistik direnç elde edildiği gözlemlenmiştir. Hacimce %2 çelik lif içeriğine sahip olan numunenin, maliyet açısından daha uygun olduğu değerlendirilmektedir.
- Lifli betonda iri agrega kullanımı krater derinliğini azaltırken eşdeğer krater çapında artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi ve benzer akademik araştırmalar yapmayı planlayan araştırmacılara rehberlik edebilmesi amacıyla, bu tez çalışmasına katkı sağlayacağı düşünülen bazı öneriler sunulmuştur:

- Balistik testlerde kullanılan 7.62x51 mm M80 fişegi, mermi malzemesi olarak çekirdek kısmında kurşun içermektedir. Buna karşılık çekirdeğinde daha sert bir malzeme içeren (çelik çekirdekli) 7.62x51 mm M61 fişeginin zırhlı hedefler üzerine kullanıldığı bilinmektedir. Çalışmanın daha kapsamlı değerlendirilmesi amacıyla zırh delme kabiliyeti daha yüksek olan M61 fişegi ile de detaylandırılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

- Namlu boyunun hedef üzerindeki etkisini tespit edebilmek maksadıyla (namlu çıkış enerjisi bağlamında) çalışmanın Heckler & Koch G3 piyade tüfeğinin yanı sıra farklı namlu boyuna sahip aynı fişegi kullanan farklı silahlar ile (MPT-76, JMK BORA-12, MG3, L7A2, M60 vb.) genişlettirilmesinin çalışmaya katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.
- Bu çalışmada balistik deneylerde kullanılan 7.62x51 mm fişegin yerine farklı kalibrede (9x19 mm, 5.56x45 mm, 12.7x99 mm vb.) mühimmatlar kullanılarak mermi çapının beton plaka üzerinde balistik etkisinin araştırılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.
- Kovan boyunun etkisini gözlemleyebilmek için 7.62x51 mm fişegin yerine farklı kovan uzunluklarına sahip 7.62x39 mm ve 7.62x54 mm mühimmatların kullanılarak namlu çıkış enerjisi ve hızının etkisinin araştırılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Akakın, T., Kılınc, C., Işık, A., & Zengin, H. (2013, Mart-Nisan). Hazır Beton Sektörü ve Beton Kullanımındaki Gelişmeler. *THBB*, s. 66-72.
- Akçay, M. (2010). *Balistik*. Ankara.
- Akman, Y. (2012). *Eskitmeye Tabi Tutulan Kompozit Başlıkların Balistik Testlerinin Yapılması ve Analizi*. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alarçın, S. (2014). *Savunma Sanayiinde Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi*. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü .
- Alper, İ., & Çoruhlu, A. (2006). *Silah Sistemleri ve Balistik Ders Kitabı*. Kara Kuvvetleri Komutanlığı Kara Harp Okulu Komutanlığı.
- Aral, M. (2006). *Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım*. Yüksek Lisans Tezi: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayram, M. Z., Kılıç, M. E., & Yavaş, A. (2022, Kasım 3-5). Çok kancalı çelik lif kullanımının ultra yüksek performanslı lifli betonun balistik direncine etkisi. *4. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi*.
- Borvik, T. (2001). *Ballistic Penetration and Perforation of Steel Plates*. Norwegian University of Science and Technology, Department of Structural Engineering.
- Burhanettin, C. (2011). *Adli Bilimler I*. Jandarma Kriminal Daire Başkanlığı Yayınları.
- Carlucci, D., & Jacobson, S. (2008). *Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition*. New York: Taylor & Francis Group.
- Çelik, B. K. (2023). *Hibrit Kompozit Zırh Tasarımı ve Balistik Direncinin İncelenmesi*. Bartın Üniversitesi: Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Dancygier, A., Yankelevsky, D., & Jaegermann, C. (2007, November Volume 34, Issue 11). Response of high performance concrete plates to impact of non-deforming projectiles. *International Journal of Impact Engineering*, s. 1768-1779.
- Demir, T. (2008). *Metal ve Katmanlı Zırh Malzemelerin 7,62 mm'lik Zırh Delici Mermiler Karşısında Balistik Başarımlarının İncelenmesi*. TOBB Ekonomi ve Teknolojisi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Ekicioğlu, Ö. (2003). *Karma lif içeren imento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ekinci, S. (2022). *Gaz Beton Duvarlar Üzerinde Balistik Mermi Atışların Etkileri*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Makine ve Kimya Endüstrisi. *MKE A.ř.* Mart 10, 2024 tarihinde <https://www.mke.gov.tr/Urunler/Kategori/Muhimmat/12> adresinden alındı
- Gagg, C. R. (2014, Mayıs). Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis. *Engineering Failure Analysis*, 40, 114-140.
- Günay, A. R. (2021). *ok Yüksek Dayanımlı Bir Betonun Yüksek Gerinim Hızlarındaki Davranışlarının Deneysel ve Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi*. Bařkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güngör, D. (2021). *İç Balistik Hesaplama ve Namlu Tasarım Programı Geliştirilmesi*. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hayes, T. J., & McFarland, E. (1938). *Elements Of Ordnance: A Textbook For Use Of Cadets Of The United States Military Academy*. New York: John Wiley & Sons, inc.
- Justice, N. I. (2008, Temmuz). NIJ Standard-0101.06. *Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06*. Washington, Amerika Birleşik Devletleri.
- Justice, N. I. (2023, Kasım 30). *Ekipman ve Teknoloji*. Ulusal Adalet Enstitüsü Web Sitesi: <https://nij.ojp.gov/ballistic-resistance-body-armor-nij-standard-010107> adresinden alındı
- Justice, N. I. (2023, Kasım 30). *Kalkan, Vücut Zırhları*. Ulusal Adalet Enstitüsü Web Sitesi: <https://nij.ojp.gov/specification-nij-ballistic-protection-levels-and-associated-test-threats-nij-standard-012300> adresinden alındı
- Justice, N. I. (2023, Eylül). NIJ Standard-0101.08. *Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.08*. Washington, Amerika Birleşik Devletleri.
- Justice, N. I. (2023, Ekim). NIJ Standard-0123.00. *Specification for NIJ Ballistic Protection Levels and Associated Test Threats NIJ Standard-0123.00*. Washington, Amerika Birleşik Devletleri.
- Kılıç, Ü. (2023). *Covid-19 Pandemi Sürecinin İnşaat Sektörüne Etkileri*. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Kozak, M. (2013). Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 3(5), 26-35.
- Kölüktaş, M. (2019). *Tabakalı Kompozit Malzemenin Balistik Zırh Özelliklerinin Geliştirilmesi*. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kravanja, S., & Sovják, R. (2018). Ultra-high-performance fibre-reinforced concrete under high-velocity projectile impact. Part I. Experiments. *Acta Polytechnica* 58(4), 232–239.
- Liu, J. (2018). Penetration Response of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) under Projectile Impact. Sidney: School of Civil and Environmental Engineering Faculty of Engineering and Information Technology University of Technology Sydney.
- Liu, J., Li, J., Fang, J., Su, Y., & Wu, C. (2022, Şubat). Ultra-high performance concrete targets against high velocity projectile impact – a-state-of-the-art review. *International Journal of Impact Engineering*, 160(104080), <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2021.104080>.
- Özalp, F., Yılmaz, H. D., & Akcay, B. (2022, Temmuz 30). Mechanical properties and impact resistance of concrete composites with hybrid steel fibers. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, s. 615-623 <https://doi.org/10.1007/s11709-022-0828-y>.
- Özbağdatlı, E. (2023). *Alümina Seramik Plakaların Şekillendirilmesi ve Balistik İncelenmesi*. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özer, M. T. (2017). Yüksek Kinetik Enerjili Ateşli Silah Yaralanmalarında Yara Balistiği ve Cerrahi Tedaviye Yansımaları. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 33(doi:10.5222/otd.2017.040), 40-47.
- Özgültekin, S. E. (2012). *Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombasyonlarının İncelenmesi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özşahin, E. (2008). *Alüminyum levhaların yüksek hızlı çarpma yükleri altındaki davranışları*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Rafalko, S. D., Brandon, T. L., Filz, G. M., & Mitchell, J. K. (2007, January <https://doi.org/10.3141/2026-03>). Fiber Reinforcement for Rapid Stabilization of Soft Clay Soils. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, s. 21-29.

- Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1501-1511, [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00144-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00144-2).
- Sarı, M. (2013). *Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi*. İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü: Yüksek Lisans Tezi.
- THBB. (2019, Mart - Nisan). Geçmişten Geleceğe Vazgeçilmez Yapı Malzemesi: Beton. *Hazır Beton*(152), 68-70.
- Tremblay, J. S., Dagenais, M.-A., & Wight, G. (2020, December 31). Ballistic Resistance of UHPFRC Panels Subjected to Armor-Piercing Projectiles. *Journal of Materials in Civil Engineering*, s. 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003600.
- Ueno, H., Beppu, M., & Ogawa, A. (2018, 9(3)). A method for evaluating the local failure of short polypropylene fiber-reinforced concrete plates subjected to high-velocity impact with a steel projectile. *International Journal of Protective Structures*, s. 68-79 doi:10.1177/2041419618755158.
- Uğurlu, A. (1994). Çelik liflerle güçlendirilmiş betonun özellikleri ve su yapılarında. *DSİ Teknik Bülteni*, 80, 17-25.
- Ünal, O. (1994). *Isıl işlem uygulamasının lifli beton özelliklerine etkisi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., & Gençel, O. (2007). Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 23-30.
- Üner, H. B., & Çakır, İ. (2007). *Adli Balistik*. Arıkan Yayıncılık.
- Wetzel, J. J. (2009). *The Impulse Response Of Extruded Corrugated Core Aluminium Sandwich Structures*. ABD University of Virginia : School of Engineering and Applied Science.
- Yalçın Sarıbey, A. (2008). *Ateşli Silahlar İle Yapılan Atışlar Sonrası Hedef Yüzeyler Üzerinde Oluşan Atış Artıklarının İncelenmesi*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Doktora Tezi.
- Yanen, C. (2016). *Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Yaprak, H., Şimşek, O., & Öneş, A. (2004). Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 7(4), 353-358.
- Yavaş, M. (2009). *Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı*. Yüksek Lisans Tezi: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yazıcı, Ş., & İnan Sezer, G. (2008). Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agreganın Maksimum Boyutunun Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 237-245.
- Yi, N.-H., Kim, J.-H., Han, T.-S., Cho, Y.-G., & Lee, J. (2012, Mart). Blast-resistant characteristics of ultra-high strength concrete and reactive powder concrete. *Construction and Building Materials*, s. 694-707.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Emin KILIÇ

Doğum tarihi ve yeri : 13.08.1995

e-posta : mehmetemin.kilic@msu.edu.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2024
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2017
Lise	Kırıkkale Atatürk Anadolu Lisesi	2013