



**ATESLİ SİLAHLARDA BASTIRICI İÇERİSİNDEKİ BÖLME PLAKASI
SAYISININ AKIŞ VE SES KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Onur GÜRDAMAR
SAMSUN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Samsun 2023**



SAMSUN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ATESLİ SİLAHLARDA BASTIRICI İÇERİSİNDEKİ BÖLME PLAKASI
SAYISININ AKIŞ VE SES KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Onur GÜRDAMAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bilal SUNGUR

Ocak 2023

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Samsun Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Onur GÜRDAMAR

ÖNSÖZ

Konvansiyonel ateşli silahlar ile gerçekleştirilen atış esnasında; silahın hareketli parçalarının çalışmasıyla mekanik sesler, yüksek basınçlı ani ve aşırı genleşmiş barut gazının namlu ağzı gibi dar bir delikten çıkmaya çalışmasıyla namlu ağzı basınç (blast) kaynaklı sesler ve ses hızını aşarak namluyu terk eden mermi çekirdeğinin yüksek frekanslı şok dalgalarını meydana getirmesiyle oluşan sonik patlama kaynaklı sesler oluşur.

Bu çalışma kapsamında 9x19 mm'lik mermi ateşleyen bir tabancada akış ve ses karakteristikleri hem deneysel hem nümerik olarak incelenmiştir. Daha sonra patlama sonrasında oluşan seslerin düşürülmesi için kullanılan bastırıcılarda, bölme plakası sayısının akış ve ses karakteristiklerine etkisi nümerik olarak incelenerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi birikimi ve tecrübelerini çok değerli zamanlarını bana ayırarak paylaşan kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Bilal SUNGUR'a, değerli bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, kaynak ve yöntem açısından yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Arş. Gör. Seyda ÖZBEKTAŞ'a; tecrübeleriyle beni yönlendiren, destekleyen ve tezin şekillendirilmesinde önemli katkılarından dolayı kıymetli hocam Prof. Dr. Bahattin KANBER'e; her aşamada bana destekte bulunan Samsun Yurt Savunma Sanayi Nuri Killigil Arge Merkezinde görev alan çalışma arkadaşlarıma, yönetici ve müdürlerime, maddi ve manevi konularla beraber kullanılan ekipman, mühimmat, test ortamı ve cihazlar ile birlikte yüksek lisans süreci boyunca iş kaybımı önemsemeden yanımda duran Samsun Yurt Savunma Sanayi Yönetici ve yönetim kuruluna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Özet..	VII
Abstract	VIII
Tablolar/Çizelgeler Listesi.....	IX
Şekiller Listesi.....	X
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini.....	XII
Giriş.	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1. Literatür Araştırması.....	4
-------------------------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

2. Genel Bilgiler	9
2.1. Silahların Sınıflandırılması.....	10
2.1.1. Ateşli Silahlar	10
2.1.2. Ateşsiz Silahlar	10
2.1.3. Kimyasal ve Biyolojik Silahlar.....	10
2.2. Ateşli Silah Mekanizmaları.....	11
2.2.1. Kurmalı Silahlar	11
2.2.2. Yarı otomatik silahlar.....	11
2.2.3. Tam otomatik silahlar	11
2.3. Hafif Silahların Genel Çalışma Prensipleri.....	12
2.3.1. Ani Geri Tepme Mekanizması	12
2.3.2. Gaz pistonlu Mekanizma.....	12
2.3.3. Kurmalı Silahlar	13
2.4. Ateşli Silahlarda Patlama.....	13
2.4.1. Mermi	14
2.4.2. Barut.....	15
2.4.3. Kalibre ve Çaplar.....	15
2.4.4. Ses altı (Sübsonik) Mühimmatlar	16
2.4.5. Bastırıcılar – Susturucular	16

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. Materyal ve Yöntem	18
3.1. Deneysel Çalışma	18
3.2. Nümerik Çalışma	22
3.2.1. Referans İçin Kullanılan Modeller.....	22
3.2.2. Farklı Sayıda Bastırıcı Etkisi.....	26

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. Bulgular ve Tartışma	30
4.1. Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması	30
4.2. Farklı Sayıda Bastırıcı İçin Elde Edilen Nümerik Sonuçlar.....	39

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. Sonuç ve Öneriler	45
Kaynakça.....	48
Özgeçmiş.....	52



ÖZET

ATESLİ SİLAHLARDA BASTIRICI İÇERİSİNDEKİ BÖLME PLAKASI SAYISININ AKIŞ VE SES KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Onur GÜRDAMAR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Samsun Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bilal SUNGUR

Ateşli silahlar için atış esnasında meydana gelen sesi tamamıyla ortadan kaldırmak imkânsız olsa da bu sesi makul bir seviyeye indirmek atışın nerede gerçekleştiğinin anlaşılmasını engelleyebilir veya sesin ateşli bir silaha ait olmasının anlaşılmaması gibi kazanımlar sağlayabilir. Bu çalışma kapsamında 9x19 mm mermi ateşleyen silahta ses altı ve ses üstü mermilerin ses seviyesi üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Daha sonra nümerik bir program yardımıyla farklı model kullanımlarının deneysel sonuçlarla kıyaslaması yapılmıştır. Son olarak, patlama sonucu meydana gelen seslerin düşürülmesi için kullanılan bastırıcılardaki bölme plakalarının sayısının ve mesafesinin akış alanı ve uzak alan gürültü seviyeleri üzerindeki etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Hesaplamalar iki boyutlu aksel simetrik, zamana bağlı şartlarda gerçekleştirilmiş ve uzak alan gürültüsünü tahmin etmek için Ffowcs Williams ve Hawkings akustik analoji (FW-H) denklemleri çözülmüştür. Bastırıcısız tabanca, bölme plakasız bastırıcılı, bastırıcı girişinden 20 mm aralıklarla yerleştirilmiş bir, üç ve beş bölme plakalı ve eşit aralıklarla yerleştirilmiş bir, üç, beş, yedi ve dokuz bölme plakalı olmak üzere toplam dokuz durum simüle edilmiş ve karşılaştırılmış; atış sırasında oluşan gürültü analiz edilmiştir. Sonuçlar, susturucusuz durumda ses basınç seviyesinin 2.5 m mesafede 156.1 dB olduğunu, yedi bölmeli susturucuda ise bu değer yaklaşık %6 düşerek 144.2 dB değerine ulaştığını göstermiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, küçük kalibreli tabanca sistemleri için namlu ağzında oluşan sesi tahmin etmek ve bastırıcıdaki bölme plakası sayısını optimize etmek için yararlı bir referans sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Ateşli silah, Namlu akış alanı, Ses basıncı, Bastırıcı, Sayısal modelleme.

ABSTRACT

Master's Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BAFFLE PLATE NUMBERS IN SUPPRESSOR ON FLOW AND SOUND CHARACTERISTICS AT FIREARMS

Onur GÜRDAMAR

Department of Mechanical Engineering

University of Samsun, Institute of Graduate School, January 2023

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Bilal SUNGUR

Although it is impossible to completely eliminate the sound that occurs during firing for firearms, reducing this sound to a reasonable level may prevent understanding where the shot took place or provide gains such as not being able to understand whether the sound belongs to a firearm. Within the scope of this study, the effect of subsonic and supersonic bullets on the sound level of a gun firing 9x19 mm bullets was experimentally investigated. Then, the experimental results were compared with numerical results. Finally, the effect of the number and distance of the baffle plates in the suppressors used to reduce the explosion sounds on the flow field and far field noise levels was numerically investigated. Calculations were carried out in two-dimensional axisymmetric, transient conditions and Ffowcs Williams and Hawkings acoustic analogy (FW-H) equations were solved to predict the far-field noise. Nine cases including a gun without suppressor, a suppressor without baffles, one, three, and five baffles which were placed at 20 mm intervals from the suppressor inlet, and one, three, five, seven, and nine baffles which were placed with equal intervals in the suppressor were simulated and compared; generations of noise during the shooting process were analysed. The results showed that in case of without suppressor the sound pressure level was 156.1 dB at 2.5 m distance, while this value decreased nearly 6% in case of seven baffle suppressor which have an average value of 144.2 dB. The results obtained here may provide a beneficial reference for predicting the muzzle noise and optimizing the number of baffles in suppressor for small caliber gun systems.

Keywords: Firearm; Muzzle flow field, Sound pressure; Suppressor; Numerical simulation.

Tablolar/Çizelgeler Listesi

Tablo 1. Ses basıncı seviyesi ölçüm konumları	21
Tablo 2. Süpersonik ve sübsonik mermilerin teknik özellikleri.....	21
Tablo 3. Farklı mesafelerdeki ses altı mermi için deneysel verilerle tepe ses basıncı seviyelerindeki farklılıkların karşılaştırılması (%)	36
Tablo 4. Farklı mesafelerdeki süpersonik mermi için tepe ses basıncındaki değişimlerin boyutlarıyla karşılaştırılması (%)	36



Şekiller Listesi

Şekil 1. 9x19 mm lik Parabellum MKE üretimi mermiler.....	2
Şekil 2. 9x19 mm'lik Sterling markalı sübsonik mermiler.....	2
Şekil 3. Hafif ateşli kısa namlulu yarı otomatik Canik TP9 Elite Combat modeli tabanca.....	10
Şekil 4. Tam otomatik ve yarı otomatik olarak çalışabilen Canik M2 QCB Uçak Savarı	11
Şekil 5. Mermi bileşenleri.....	14
Şekil 6. Bastırıcı takılabilen bir silah.....	17
Şekil 7. Deney düzeneğinin şematik diyagramı.....	19
Şekil 8. Deney düzeneğinden bir fotoğraf.....	19
Şekil 9. Larson Davis LXT ses basınç seviyesi ölçüm cihazı ve CAL200 ses kalibratörü seti.....	20
Şekil 10. Labrador Balistik Hız Doppler Radar Cronograph seti.....	20
Şekil 11. Sayısal modelde kabul edilen sınır koşulları....	24
Şekil 12. Sayısal modellemede kullanılan geometrinin boyutları.....	24
Şekil 13. Sayısal modellemede kullanılan mesh yapısının görünümü.....	26
Şekil 14. Sayısal analizde kullanılan geometrilerin şematik görünümü.....	28
Şekil 15. Sayısal analizlerde kullanılan geometrilerin ağ yapısı.....	29
Şekil 16. x eksen yönü boyunca mesafe ile değişen ses basıncı seviyesi.....	30
Şekil 17. y eksen doğrultusunda mesafe ile değişen ses basıncı seviyesi.....	31
Şekil 18. 45° açı doğrultuları boyunca mesafe ile değişen ses basınç seviyesi.....	31
Şekil 19. Farklı mesafelerde SPL değişimi. a) Standart k-ε, b) RNG k-ε, c) Realizable k-ε d) Standart k-ω, e) Spalart-Allmaras ve f) LES.....	34
Şekil 20. Farklı türbülans modellerinden elde edilen tepe ses basınçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması, a) ses altı mermi durumu, b) ses üstü mermi durumu.....	35
Şekil 21. Ses altı mermi için RNG k-ε türbülans modelinde elde edilen a) Basınç, b) hız ve c) sıcaklık konturları: sırasıyla soldan sağa 0.46 ms, 0.56 ms ve 0.68 ms.....	37

Şekil 22. Farklı noktalarda basınç, hız ve sıcaklığın zamanla değişim grafikleri, a) ses altı mermi durumu, b) ses üstü mermi durumu.	39
Şekil 23. Bastırıcısız 9 mm mermi ile yapılan deneysel ve sayısal SPL_{peak} değerlerinin karşılaştırılması.....	40
Şekil 24. Farklı mesafelerde SPL'lerin frekansla değişim grafikleri.....	42
Şekil 25. Farklı mesafelerdeki SPL_{peak} değerlerinin karşılaştırılması. a) Birinci yapılandırma durumları, b) ikinci yapılandırma durumları ve c) birinci ve ikinci yapılandırma durumları	43
Şekil 26. Bastırıcı çıkışındaki basıncın zamana bağlı değişim grafikleri. a) birinci yapılandırma durumları, b) ikinci yapılandırma durumları.....	44

Simgeler ve Kısaltmalar Dizini

dB	: Desibel – Ses Şiddeti
cal.	: Kalibre
CAA	: Hesaplamalı Aeroakustik
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CFD	: Computational Fluid Dynamics
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
MKE	: Makine Kimya Enstütüsü
MPT	: Milli Piyade Tüfeği
SPL	: Ses Basınç Seviyesi
a_0	: Sıvı Ortamdaki Ses Hızı
p	: Anlık Basınç
p_0	: Atmosferik Basınç
p'	: Ses Basıncı
p_{ref}	: Bir insanın duyabileceği minimum ses eşiği
u_i	: x_i yönündeki akışkan hızı bileşenleri
u_n	: Akustik yüzeye normal yöndeki sıvı hız bileşenleri
v_n	: Akustik yüzeye dik olan yüzey hız bileşeni
ρ	: Yoğunluk

Giriş

Ateşli silahlar; genellikle barut kullanılmak üzere, yanıcı bir maddenin kimyasal enerjisinden kinetik enerji elde ederek namlu ağzından fırlatılan bir çekirdeğin hedefe doğru yol almasını sağlayan sistemlerdir. Yanan kimyasalın katı fazdan gaz fazına geçişiyle beraber sıcaklık ve basınç ani ve aşırı derecede artar. Kovana içinde gerçekleşen bu kimyasal değişim mermi çekirdeğinin kovandan ayrılarak namlu ağzı çıkışına doğru ilerlemesini sağlayan itki gücünü oluşturur.

Ateşli silahlarda mermi ve füzelerin ilk hareketten başlayarak namluyu terk edene kadarki hareketini (iç balistik), namluyu terk ettikten hedefe ulaşıncaya kadar geçen zaman içerisinde meydana gelen olayları (dış balistik), merminin hedef üzerinde meydana getirdiği etkileri (terminal balistik) inceleyen bilim dalına balistik denmektedir [1].

Balistik biliminde tam ölçekli deney ve testler çok pahalı ve zordur. Ayrıca teorik yaklaşımlarla mermilerin modellenmesinde birçok dış etkenin olması, değişken aerodinamik kuvvetler, kararsızlık ve üç boyutlu yapı zorlukları çıkarabilmektedir. Ateşleme esnasında oluşacak gürültü seviyesinin hesaplanmasında ve bu seviyenin bastırılmasında iç balistik biliminin kullanılması doğru modellemelerle tasarlanacak bastırıcıları en iyi hale getirebilir. Günümüzde, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), son derece karmaşık kararsız, sıkıştırılabilir akış olaylarının çözümlemesinde kullanılan en etkili araştırma aracı olarak kabul edilmektedir.

Ateşleme esnasında farklı kaynaklardan ses oluşur. Bu kaynaklardan ilki ateşli silah mekanizmasının çalışması esnasında oluşan mekanik seslerdir. Sistem tasarımından kaynaklanan bu sesler diğer seslere oranla daha düşük şiddette olduğu için göz ardı edilebilir. Ayrıca ses hızını aşarak namluyu terk eden mermi çekirdeğinin yüksek frekanslı şok dalgalarını meydana getirmesiyle sonik patlama (sonic boom) oluşur. Ses hızı, havada, deniz seviyesinde ve 20 °C sıcaklıkta 343.2 m/s (yaklaşık 1235.5 km/h) olarak alınır [2]. Mermi çekirdeğinin namluyu terk ettiği andaki hızına namlu çıkış hızı denir ve merminin hedefine varana kadarki geçen süre içerisinde bu hız zamana bağlı olarak değişir. Mermi çıkış hızı merminin türüne, kalibresine, mermiyi ateşleyen silahın namlu çapına, boyuna ve ayrıca silah namlusu içindeki yiv setlerin tasarımına bağlı olarak değişir. 9x19 parabellum mermi çeşidi için MKE'nin kendi sitesinde verdiği değer 370 ± 10 m/s'dir ve bu değer ses hızının oldukça üzerindedir [3].



Şekil 1. 9x19 mm lik Parabellum MKE üretimi mermiler

Ses hızını aşamayan ve sübsonik mermi olarak adlandırılan merminin kullanımı, çekirdek ses hızını aşmayacağı için sonik patlamayı engelleyecektir. Şekil 2’de Turaç firmasının üretimi olan Sterling markalı sübsonik mermiler gösterilmektedir. Turaç firmasının kendi sitesinde mermi hızı için verdiği değer $290 \pm 10\text{m/s}$ ’dir [4] ve görüleceği üzere ses hızının oldukça altındadır.



Şekil 2. 9x19 mm’lik Sterling markalı sübsonik mermiler

Üçüncü ve en önemli ses kaynağı; ateşleme esnasında mermi kovanındaki barutun yanması ile oluşan yüksek basınçlı ani ve aşırı genişleşmiş barut gazının namlu ağzı gibi dar bir delikten çıkmaya çalışmasıyla oluşan namlu ağzı basınç (blast) kaynaklı seslerdir. Namlu ağzı patlaması birçok faktörden kaynaklanır ve mermi ateşlendiğinde oluşan ani genişleşmiş yüksek basınçlı itici gazların namlu ağzını terk ederken oluşan kararsız ve türbülanslı şok

dalgaları buna en önemli sebeplerdir. Bu seslerin çoğu, namlu ağız akış alanı oluşumunun erken aşamasında azalır ve kaybolur.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) açısından, türbülans modeli, mermi hareketinin sayısal simülasyonunda önemli roller oynamaktadır. Türbülans modeli için, sayısal hesaplamada türbülanslı akışın tahmini ve çözümü temel olarak büyük girdap simülasyonu (LES), doğrudan sayısal simülasyon (DNS) ve Reynolds ortalama Navier-Stokes simülasyonu (RANS) olmak üzere üç kategoriye ayrılır. DNS yöntemi akış alanındaki türbülanslı akışı simüle etmek için en doğru yöntemdir ancak bilgisayar performansı konusunda son derece yüksek gereksinimleri vardır. Bu çözüm yönteminde, Navier-Stokes denkleminin doğrudan çözülmesiyle türbülanslı akış elde edilir. LES yönteminde, zaman ölçeklerinde çözünürlüğü azaltmak için Navier-Stokes denkleminde uygulanan düşük geçişli filtreleme, böylece türbülanslı akıştaki büyük ölçekli girdapları doğrudan çözmek ve girdapların hareketi üzerinde model varsayımları yapmak amaçlanır. LES yöntemi, yüksek hesaplama doğruluğuna sahiptir ve mühendislik hesaplamalarında kullanılır. RANS yönteminde akış, zaman ortalama akış ve anlık titreşimli akışa indirgenmiş ve bunlar ayrı ayrı çözülmektedir. Bu yöntem mühendislik uygulamalarında iyi sonuç verir ve zamandan tasarruf sağlar.

Silah iç balistiklerinin doğru bir şekilde modellenmesi, özellikle oluşabilecek gürültü seviyelerinin belirlenmesi için de oldukça faydalı bilgiler vererek optimal bastırıcıların tasarımına olanak sağlar. Bir silah ateşlendiğinde aşırı gürültü oluşur. Ses, havada veya diğer elastik ortamlarda bir dalga hareketi olarak tanımlanabilir. Ses basıncı, gürültü kaynaklarının izlenmesi için gereken en önemli parametrelerdendir. Akustik basınç titreşimleri, yaklaşık değeri 100000 Pa olan ortam statik basıncının dalgalanmasına sebep olurlar. 20 μ Pa ile 200 Pa arasında değişen duyulabilir ses basınç değişimleri, statik hava basıncıyla karşılaştırıldığında oldukça düşük seviyedir. Referans basınç değeri olan 20 μ Pa, ortalama bir kişi tarafından duyulabilecek en düşük ses seviyesi olarak kabul edilmiştir ve bu yüzden duyma eşiği olarak anılır. 200 Pa ise çok yüksek bir seviyedir ve acıya yol açar, bu nedenle acı eşiği olarak adlandırılır. Bu iki eşik seviyesinin birbirine oranı çok büyüktür ve işitme sistemi lineer değildir, logaritmik artışlara karşı hassastır. Bu sebeplerden ötürü akustik parametrelerin tespitinde, ölçülen değerlerin bir referans seviyeye oranının logaritması olan desibel (dB) ölçeği kullanılır. (Özbektaş ve Sungur, 2021).

BİRİNCİ BÖLÜM

1. Literatür Araştırması

Namlu içinde gerçekleşen ateşlemenin modellenmesini ve iç balistik parametreler eldesi ile ilgili birçok yabancı kaynaklı literatür çalışması mevcut ve nispeten bazı yerli araştırmacılar da bu konu üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışmalarda gaz basıncının ve mermi hızının bulunması ve modellenmesi birçok kişi tarafından ele alınmış, namlu içi hareketin akış alanı ve gürültü seviyelerine etkileri üzerine durulmuştur.

Susantez Ç. (Susantez, 2020); öncelikle 7.62 mm (tüfek namlusu) ve 9 mm (tabanca namlusu) kalibre namlular için bilinen namlu uzunluğu, maksimum basınç, namlu ağız hızı, mermi kütlesi ve çapı verilerinden yararlanarak namlu içinde merminin konumu, hızı, namlu iç basıncı ve iç balistik zamanı birbirlerine bağlı olarak tespit edilmiş, sonrasında ise incelenen namlular için elde edilen iç balistik parametrelerinin birbirlerine bağlı eşitlikleri elde etmiş ve sunulmuştur. Vallier-Heydenreich metodunu detaylı olarak sunduğu bu çalışmada literatürde konuyla ilgili eksikliği kapatarak elde edilen fonksiyonel bağıntılarla iç balistik üzerine yapılacak yeni çalışmalara ışık tutmayı amaçlamıştır.

Bozdemir M. (Bozdemir, 2019); havalı silah sistemleri için tek parçalı susturucu tasarımı üzerine çalışmıştır. Çalışmada havalı silahlar için tek parçalı susturucunun bilgisayar destekli tasarımı yapılmıştır. Bu susturucunun üç boyutlu yazıcı yardımıyla basılması sırasında, uygulanması gereken tasarım ve imalat süreçleri belirlenmiştir

Işık H. (Işık, 2016); namlu içerisindeki balistik parametrelerin modellenmesi üzerine çalışmıştır. Namlu içerisindeki basınç dağılımını ve merminin hızını veren yeni bir model geliştirmiş, modelin doğrulanması için 7.62 mm çapında namlu ile çok sayıda atış testi yapmış ve balistik parametreler ölçmüştür. Model ile namlu tasarlanırken atış testi maliyeti ve atış yapılma ihtiyacını büyük oranda azalttığını belirtmiştir.

Akçay vd. 2014; bir tüfek namlusunun sıcaklık dağılımını hesaplamak için zamana bağlı ısı transferini sayısal olarak çözümlenmiş, deneysel olarak kıyaslamışlardır.

Özgüder vd. 2017; namlu içi balistik davranışın sonlu elemanlar yöntemiyle analizi üzerine makale yayınlamışlardır. Bu makalede M101 top namlusu 1.25 emniyet katsayısı ile 270 kilogramdan 115.95 kilografa hafifletmek için analitik yöntemlerle çözümlenmesi oldukça zor olan namlu cidar kalınlığının patlama sonucu oluşan basınç değerleriyle eksen boyunca hesaplanması ve optimizasyonu hedefleyerek iç balistik temel denklemlerine değinilmiş, optimizasyon kavramı açıklanmış, analiz adımlarında izlenen metot ve kabuller

verilmiştir. Balistik değerler Vallier-Heydenreich yöntemiyle, gerilme değerleri ise Lame denkleminde tekrar analiz edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmış ve oluşan farkların sebepleri tartışılmıştır. Çizim ve tasarım programı için Catia kullanılmış, analiz kısmında ise Prodas programı ile elde ettikleri verileri ANSYS Workbench'e aktarmışlardır.

Zhuo vd. 2014; bir merminin namludan çıkışı ve serbest hareketini sayısal olarak araştırmışlardır. Yüksek hızlı hareket eden merminin modellenmesi için dinamik ağ yaklaşımı uygulamışlardır.

Xavier 2011; çalışmasında 200 mm'lik bir namlu için 3450 atm basınç ve 2500 K sıcaklıktaki 1500 tane mermiyi ateşleyen 20 mm'lik bir ateşli silahın basınç ve ses dağılımının analizini gerçekleştirmiştir. Ayrıca mermi kütlesi, basıncı ve sıcaklığının akış alanına etkisini incelemiştir.

Luo vd. 2020; bir silahtan ortam havasına farklı geometriye sahip mermilerin fırlatılması sırasında meydana gelen dinamik süreçlerin sayısal bir çalışmasını yapmışlardır. Carson vd. (Carson & Sahni, 2014) çalışmalarında patlama sonucu namlu ağzının arkasında oluşan yüksek basınçları azaltmak amacıyla nümerik hesaplamalar gerçekleştirmişlerdir.

Jiang Z vd. 2003; Jiang Z vd. 2004; bir şok tüpünün açık ucundan ortam havasına salınan süpersonik bir mermi tarafından oluşturulan akış alanının jet akışı ve şok dalgası etkileşimlerini araştırmak için düz burunlu bir mermi kullanmışlardır.

Hudson vd. 2001; küçük kalibreli silahlar için bastırıcıların tasarımında kullanılan hesaplamalı modellerin doğruluğunu incelemiştir. Bu kapsamda bir model bastırıcı tasarlayarak deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Mevcut simülasyonların, çıplak namlu ve bastırıcı konfigürasyonları tarafından üretilen akustik sinyalin hem seviyelerini hem de özelliklerini doğru bir şekilde tahmin edebildiğini ve bastırıcı tasarım sürecinde hesaplamalı modellerin kullanılmasının faydalı olduğunu belirtmişlerdir.

Akış alanının karmaşık yapısından dolayı başta uzak alan gürültüsü olmak üzere namlu ağzı gürültü alanının hesaplanması ve tahmin edilmesi konusunda literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Deneyler, akış alanındaki değişiklikleri ortaya çıkarmaz ve silahın ateşlenmesinin neden olduğu namlu ağzı gürültü alanının yayılmasını göstermez. Ayrıca hem yakın hem de uzak akış alanlarında tabanca testi çok pahalı ve zaman alıcıdır. Namlu yakınındaki akış alanı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programları aracılığıyla simüle edilebilir ve gürültüyü kolayca tahmin edebilir, ancak uzak alanlarda namlu ağzı

gürültüsü için yeterli değildir. Bu bağlamda HAD (CFD)-CAA hibrid yöntemleri alternatif bir yaklaşım olmuş ve birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Zhuo vd. 2014; susturuculu küçük çaplı tüfeklerden gelen karmaşık jet akımlarının neden olduğu gürültüye odaklanmıştır. Yaptıkları benzetimler sonucunda susturucunun sesin akış alanını ve yönsel dağılımını değiştirdiğini belirtmişlerdir.

Trabinski vd. sırasıyla namlu ağız aparatıyla ve namlu ağız olmadan namludan çıkan konik burunlu bir mermi etrafındaki akış alanının dinamik özelliklerini analiz etmişlerdir.

Kikuchi vd. 2017; tarafından mermi cephesindeki şok dalgasının (BSW) istikrarsızlığı ve üretim mekanizması hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir.

Kang vd. 2008; yüksek basınçlı bir patlama için bir şok tüpünden çevreye yayılan sesin zayıflaması üzerine sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Hudson vd. 1996; bir bastırıcı tasarlamış, deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirerek hesaplamalı modellerin doğruluğunu incelemişlerdir. Simülasyonların, çıplak namlu ve bastırıcı konfigürasyonları tarafından üretilen akustik sinyali doğru bir şekilde tahmin edebildiğini gözlemlemişlerdir.

Paakonen vd. 2008; ateşli silah sesinin frekansını değiştirerek silahta gürültü azaltılmasını araştırmışlardır.

Rahman vd. 2011; büyük kalibreli 120 mm K1A1 tank topunda yüksek basınçlı patlama akışı sırasında üç bölmeli susturucu kullanmışlardır. Bu üç bölmeli susturucuyu kullanarak silah namlusunun namlu ucunda yaklaşık %90 basınç ve 20 dB ses seviyesi düşüşü elde etmişlerdir.

Murphy vd. 2018; ateşli silah bastırıcıların tepe seviyelerinin, eşdeğer enerjinin ve ses gücünün azaltılmasına odaklanmıştır. Bastırıcıların ölçülen ses gücü seviyelerini 2 ila 23 dB aralığında azalttığını bulmuşlardır.

Lobarinas vd. 2016; yarı otomatik tüfeklerdeki birkaç bastırıcının performansını araştırmışlardır. Ses zayıflamasının bastırıcı tipi ve ölçüm yeri ile değiştiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca namlu ağız için bastırıcı kullanımı ile yaklaşık 20 ve 30 dB pik azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Nakashima 2015; bastırıcı ve bastırıcısız küçük kalibreli ateşli silahlarla bir dizi ölçüm gerçekleştirmiştir. Sonuçlar, atıcının yan tarafına 0.5 ila 1 m mesafede, 5.56 mm C8 yarı otomatik tüfekte tepe ses seviyelerinin 22 dB azaldığını göstermiştir.

Jonghoon vd. 2008; iki boyutlu aksel simetrik bir çözümde bir namludan çıkan karmaşık akışlar tarafından üretilen patlama gürültüsünü sayısal olarak araştırmışlardır. Namlu etrafındaki karmaşık akış özelliklerini ve gürültü oluşturma mekanizmalarını tartışmışlardır. Hesaplama aeroakustik (CAA) yöntemleri kullanan sayısal simülasyonun, yalnızca namlu ağız akışının patlama dalgası dinamiklerini belirlemek için güvenilir bir yol sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda etkileşim nedeniyle gürültü oluşumu ve yayılımının fizikini ve ayrıntılı mekanizmalarını inceleme fırsatı sağladığını belirtmişlerdir.

Lee vd. 2006; iki boyutlu koşullarda CFD-CAA birleştirilmiş yöntemini kullanarak susturuculu ve susturucusuz gürültü alanını hesaplamışlardır.

Wang vd. 2014; FW-H denklemini kullanarak CAA'yı kullanmış ve küçük kalibreli bir tüfeğin gürültü çıkarma yönlülüğünü belirlemiştir.

Literatürdeki çalışmaların çoğunluğu namlu ağız, bastırıcı ve susturucunun patlama anındaki ses şiddetini azaltacak şekilde tasarlanması ve bunların namlu etrafındaki akışa etkisi üzerinedir. Ancak çoğu çalışmada merminin akış alanına etkisi ve patlama sonrası gürültü ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca bastırıcıya yerleştirilecek optimum bölme plaka sayısını belirlemeye yönelik çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Türbülans modellerinin bu parametreler üzerindeki etkisinin araştırılması da oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın temel amacı literatürdeki bu boşluğu doldurmaktır. Bu çalışmada türbülans modellerinin 9 mm merminin akış alanı ve ses basınç seviyesi (SPL) üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu kapsamda k- ϵ modelleri (Standard, RNG, Realizable), Standard k- ω , Spalart-Allmaras ve LES türbülans modelleri kullanılmış ve Ffowcs Williams ve Hawkings (FW-H) kullanılarak ses basınç seviyesi belirlenmiştir.

Bu kapsamda bastırıcıdaki bölmelerin sayısı ve mesafesinin akış alanı ve SPL üzerindeki etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Bastırıcı kullanılmadan yapılan 9x19 mm tabanca ile sayısal modelin validasyonu yapılmış ve tepe ses basınç seviyesi (SPL_{peak}) değerleri kurduğumuz test düzeneklerinden alınmıştır. (Gurdamar vd. 2022)

Doğrulamadan sonra, önce bölmesiz bir bastırıcı modellenmiştir. Daha sonra, bastırıcı girişinden 20 mm aralıklarla bir, üç ve beş bölme yerleştirilmiştir. Bu modellere ek olarak bastırıcıya eşit aralıklarla yerleştirilen bir, üç, beş, yedi ve dokuz bölmenin SPL_{peak} üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Sayısal sonuçlar hem ses altı hem de ses üstü mermilerle yapılan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Buradan elde edilen sonuçların, küçük kalibreli silah sistemleri için namlu

ağzı sesini tahmin etmek ve en uygun türbülans modelini optimize etmek için yararlı bir referans sağlayacağı düşünülmektedir.



İKİNCİ BÖLÜM

2. Genel Bilgiler

2.1. Silahların Sınıflandırılması

Silahı genel anlamda tanımlayacak olursak; kişileri ve kişilere ait olanı korumak maksadıyla kullanılan, canlı ve cansız bir hedefi yakın veya uzak mesafeden yaralamamak, öldürmek, parçalamak veya tümüyle ortadan kaldırmak için kullanılan araç-gereçlerdir.

Türk Ceza Kanunu ise silahı;

- Ateşli silâhlar,
- Patlayıcı maddeler,
- Saldırı ve savunmada kullanılmak üzere yapılmış her türlü kesici, delici veya bereleyici alet,
- Saldırı ve savunma amacıyla yapılmış olmasa bile fiilen saldırı ve savunmada kullanılmaya elverişli diğer şeyler,
- Yakıcı, aşındırıcı, yaralayıcı, boğucu, zehirleyici, sürekli hastalığa yol açıcı nükleer, radyoaktif, kimyasal, biyolojik maddeler, olarak tanımlar. (*Türk Ceza Kanunu (2014), Kanun No:5237 Madde 6.)*

2.1.1. Ateşli Silahlar

Yanıcı bir malzemenin (genellikle barut) kimyasal enerjisinden kinetik enerji elde edilmesiyle oluşan itki gücünü mermi çekirdeğini fırlatmak maksadıyla kullanan silahlardır. Ağır ateşli silahlar ve hafif ateşli silahlar olarak iki grupta inceleyebiliriz.

Ağır Ateşli Silahlar genellikle taşınması zor, taşınması için özel bir tertibat gerektiren ve sabit bir mevziye yerleştirildikten sonra sabit kalan veya çok seyrek yeri değiştirilen namlu çapı 15 mm'den büyük silahlardır. Obüs, top, tanksavar, uçaksavar, roketatar, hava savunma sistemleri genel örnekleridir.

Hafif Ateşli Silahlar namlu çapı 15 mm'den düşük, genellikle tek kişi tarafından kullanılan taşınması kolay silahlardır. Bazı durumlarda değişik platformlarda (kara, hava, deniz taşıtları, kuleler, kalekollar, karakollar, sınır birlikleri mevzileri vb.) sabit olarak da kullanılabilir. Teknolojik gelişimler ve gereksinimlere paralel olarak uzaktan kontrol edilebilen sistemlere de adaptasyonu söz konusudur. Tabancalar, yivli-yivsiz av tüfekleri, makinalı tabancalar, keskin nişancı tüfekleri bomba atarlar ve küçük kalibreli havanlar genel

örnekleridir. Şekil 3’te hafif ateşli kısa namlulu yarı otomatik bir tabanca örneği gösterilmiştir. Hafif Ateşli Silahlar ayrıca kendi içlerinde uzun namlulu ve kısa namlulu olmak üzere iki grupta incelenebilir. Uzun namlulu silahlarda tepme kuvveti fazla olduğu için kullanıcının omzuna dayadığı bir dipçik ve tutuş konforunu arttırmak için kundak bulunur (piyade tüfekleri, av tüfekleri, keskin nişancı tüfekleri vb.). Kısa namlulu silahlar ise boyutları daha küçük ve hafif silahlardır (yarı otomatik tabancalar, makinalı tabancalar vb.).



Şekil 3. Hafif ateşli kısa namlulu yarı otomatik Canik TP9 Elite Combat modeli tabanca

2.1.2. Ateşsiz Silahlar

Ateşsiz silahlar; kesici silahlar (kılıç, bıçak, süngü, hançer vb.), delici silahlar (şiş, sivri uçlu metaller vb.) ve ezici silahlar (muşta, tel, mınçık, topz, keser, çekiç, balyoz vb.) olarak incelenebilir. Direk silah olarak üretilmeyip saldırgan amacıyla kullanılan (balta, tornavida, mutfak bıçakları vb.) eşyalar da silah olarak tanımlanır.

2.1.3. Kimyasal ve Biyolojik Silahlar

Yangın çıkaran, yaralıyıcı, tahriş edici ve öldürücü etkisi bulunan kimyasallar ile canlı organizmaların etkisiyle (virüs, mikrop vb) bölgesel bulaş yayan silah türleridir.

Bunun dışında atom enerjisini kullanan nükleer silahlar ve hidrojen silahları mevcuttur. Son zamanda gelişen teknolojilerle beraber manyetik silahlar, elektrik enerjisiyle çalışan silahlar ve lazer silahları gibi farklı teknolojik silahlar geliştirilmektedir.

2.2. Ateşli Silah Mekanizmaları

2.2.1. Kurmalı Silahlar

Bazı silah mekanizmaları her atımda atış öncesi silahı doldurmayı ve kurmayı, atış sonrası kullanılmış mühimmatı boşaltmayı kullanıcının yapmasını zorunlu tutar. Genellikle hedef isabetini ve menzili arttırmak için bütün patlama enerjisinin çekirdeği itki gücü olarak kullanılması istenilen keskin nişancı tüfekleri bu grupta yer alır. Aynı zamanda eski doldurmalı tüfekler, bazı yivli av tüfekleri ve kurmalı revolverler de bu grubun örneklerindedir.

2.2.2. Yarı otomatik silahlar

Mekanizmanın ilk kurulumunu ve silahın ilk dolumunu kullanıcısının yaptığı; her atım sonrasında mekanizmanın tekrar kurulumunu ve şarjör veya mermi şeridinden yeni mühimmatın son mühimmata kadar kendi beslediği, bunun için gereken enerjiyi de çekirdeği fırlatmak için üretilen enerjinin bir kısmını kullanarak elde eden silah türüdür. Her atım için tetiğin tekrar çekilmesi gerekir.

2.2.3. Tam otomatik silahlar

Yarı otomatik silahlardan farkları tetiğe basılı tutulduğu sürece mühimmat bitene kadar atımın, dolunun ve boşaltmanın sürekli şekilde kendiliğinden devam etiren silah sistemleridir. Bazı silahlar bir ayar mekanizması ile yarı otomatik ve tam otomatik olarak çalışabilirler. Şekil 4'te gösterilen M2 QCB bu silahlara bir örnektir. Kullanıcı isterine bağlı olarak otomatik ve yarı otomatik olarak çalışabilir.



Şekil 4. Tam otomatik ve yarı otomatik olarak çalışabilen Canik M2 QCB Uçak Savarı

2.3. Hafif Silahların Genel Çalışma Prensipleri

Kimyasal malzemeden (genellikle barut) elde edilen enerjinin bir kısmını mekanizmayı geri itmek için kullanırken irca yayı (yerine getiren yay) denilen bir yay düzeneğinin aynı mekanizmayı kurulu olacak şekilde ilgili konuma getirmesi temel çalışma prensibini oluşturur.

Silah tetiği çekildiğinde tetiğe bağlı olan bir mafsal mekanizması, kovanda yer alan ve ilk kıvılcımı çıkartacak olan kapsül kısmına çarparak ateşlemeyi gerçekleştirecek iğne mekanizmasının hareketini sağlar. Kapsülden aldığı ilk kıvılcımın etkisiyle ateşlenen kimyasal, ani ve aşırı derecede genişir. Oluşan basınç gücünün önemli bir kısmı çekirdeğin namludan dışarıya fırlatılmasını sağlarken kurmalı silahlar hariç bir kısım kuvvet mekanizmanın tekrardan kurulumu için kullanılır.

Mekanizmanın her geriye gitmesinde tırnak ve fişek atacağı olarak adlandırılan çeşitli düzenekler boş kovanın dışarı atılmasını sağlarken, mekanizma tekrar yerine gelirken yeni bir merminin namlu haznesine girmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Şarjörlü silahlarda yeni merminin hazneye sürülmesinde şarjör yayının da etkisi büyüktür. Kurmalı silahlar da bu döngüyü kullanıcı el gücüyle gerçekleştirir.

Üç temel çalışma prensibi söz konusudur.

2.3.1. Ani Geri Tepme Mekanizması

Patlama öncesi mekanizma kovan tabanına temaslıdır. Patlamanın etkisiyle oluşan basıncın bir kısmı direkt mekanizmayı itecektir. Basınçla olan bu temas mekanizmanın daha mukavim yapıda tasarlanmasını gerektirmekte ve barut artıklarından, kirden, isten, tozdan etkilenmesine neden olmaktadır. Yarı otomatik tabancalar, G3 benzeri piyade tüfekleri, M2 uçak savar bu çalışma mekanizmayı kullanan silahlara örneklerdir.

2.3.2. Gaz pistonlu Mekanizma

Bu mekanizmalarda ateşleme gerçekleştikten sonra çekirdeği iten genişmiş gaz basıncının bir kısmı başlangıç konumundan ilerde bulunan bir delikten geçerek deliğin sonunda bulunan pistonu ve dolayısıyla pistona bağlı olan mekanizmayı hareket ettirir. Bu mekanizmalar ani geri tepme mekanizmalarında olduğu gibi basınçla direkt teması olmaması; kir, toz ve barut atıklarıyla doğrudan etkilenmemesi ani geri tepmeye karşı

avantajlarındandır. Ayrıca daha az kuvvet kaybından söz edilebilir. Milli piyade tüfeği (MPT) ve AK 47 (Kalaşnikof) bu çalışma mekanizmasını kullanır.

2.3.3. Kurmalı Silahlar

Kullanıcı tarafından mekanizmanın hareket ettirildiği silahlardır. Keskin nişancı tüfeklerinde kullanılmasının en büyük etkisi kapalı sistemde çalışan bu silahlarda ateşlemeyle kazanılan kuvvetin neredeyse tamamı çekirdeğin fırlatılmasında kullanılır. Böylelikle enerji kaybı yaşatmayan bu sistemlerde daha stabil ve uzun menzilli atışlar gerçekleştirilebilir. Dez avantajı olarak mekanizmanın kurulumunda yaşanan zaman kaybı sebebiyle yeterince seri atışa imkân vermemesidir. Bazı yivli av tüfekleri, keskin nişancı tüfekleri ve eski tip kurmalı revolverler bu çalışma mekanizmasını kullanırlar.

M134 Minigun (gatling gun) veya M61 Vulkan topu gibi elektrik besleme mekanizmaları kullanan silahlarda vardır. Bu silahlarda mekanizmanın kurulumu, harici bir elektirik kaynağı ile gerçekleştirilir. Böylece bu tip silahlarda da ateşlemeyle elde edilen kuvvet, kayıp yaşamadan çekirdeğe aktarılır ve bu sayede aynı kalibreli mühimmat kullanan silahlara oranla menzilleri artar. Dakikadaki atım sayıları da mekanik silah mekanizmalarına oranla hayli yüksektir. Vulkan topu dakikada 6000 atım gerçekleştirebilir. Harici elektirik kaynağı gerektirmeleri olumsuz özelliklerinin başında gelir.

Gelişen teknolojilerle birlikte manyetik enerji kullanarak atım yapan, lazer enerjisinden faydalanan farklı tipte mekanizmalarda geliştirilmektedir.

2.4. Ateşli Silahlarda Patlama

Ateşli silahlarda bir iğne tertibatının mermi kovani ardında yer alan kapsülü ezmesiyle ilk alev oluşur. Kimyasal malzemenin yanmasıyla elde edilen ani ve aşırı genleşmiş basınç kuvvetinin yanında yüksek derecede ısı artışı da söz konusu olmaktadır. Silah namlusu yüksek basınç ve ısı artışına maruz kalan parçadır. İçersinde bulunan yivler ve setler vasıtasıyla çekirdeğe (yivsiz namlular hariç) itki kuvvetini iletmekle beraber kazandırdığı dönme hareketi hava sürtünmesine karşı bir direnç kazandırır.

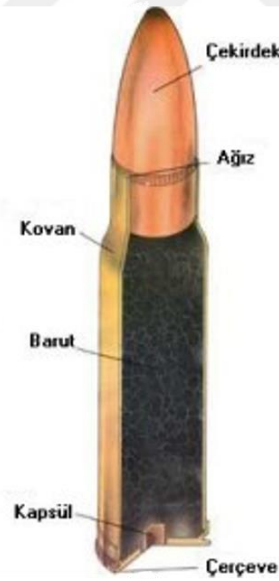
Bu yüzden namlu malzemesinin aşınmaya, yüksek basında ve ani sıcaklık artışına dayanıklı olması beklenir. Bir silah tasarımında iç balistik parametreler bu yüzden çok önemli ve büyük oranda namlu ile ilgilidir.

Günümüz silahlarının dakikadaki atım hızı (rate of fire) oldukça yüksektir. Bu nedenle aralıksız belirli bir atım yapmış olan namlu aşırı ısınır ve genişir. Soğuması için gereken vakit sağlanmaz ise hedeften sapmalar, namluda deformasyon ve hatta barutun kediliğinden ateşlenmesi (cock off) sıkıntıları oluşabilir. Öyle ki bazı silah tiplerinde (Ör. M2) çatışma anında dahi belirli bir atımın sonunda namlunun hızlıca değişmesi gerekebilmektedir. Isınan namlu yerine yedekte bulunan soğuk namlu takılarak atışa devam edilebilir.

Ayrıca kimi silahlar için namlu içi aşınma silah ömrünü belirler. Aşınma oranı arttıkça hedeften sapma da artacağı için atım dağılımını belirlenen kriterler dışına çıkartacak namlu içi aşınma master kontrolü altında tutulmaktadır. Yani önceden hazırlanmış bir ölçüm aletiyle namlu ömrü belirlenir.

2.4.1. Mermi

Ateşli silahlarda tahribatı sağlayacak çekirdek kısmını, bu çekirdek kısmına yanarak itki kuvvetini sağlayacak kimyasal bileşenleri, ilk kıvılcını iğne mekanizmasının darbesiyle ezilerek üreten kapsülü ve tüm bileşenleri düzgünce bileşik halde tutan kovani içeren tertibatlara mermi denmektedir.



Şekil 5. Mermi bileşenleri

Kovan: Diğer bileşenleri bir arada tutmaya yarayan, çekirdek tarafının ağzı açık, kapsül tarafının ise kapalı olduğu, genellikle pirinçten yapılmakla beraber dayanımı arttırmak için nikel veya çelik malzemelerden de üretilebilen mermi kısmıdır. Kimi zaman kullanılmış bir kovan diğer bileşenler eklenerek tekrar kullanılabilir.

Çekirdek: Basınç kuvvetlerinin etkisiyle namludan hedefe fırlatılan parçadır. Genellikle kurşun malzeme kullanıldığından halk arasında kurşun olarak bilinir. Tek başına kurşun kullanımı yumuşak bir malzeme olduğu için namluya zarar verecektir. Bu yüzden bakır-çinko, pirinç ve çelikten üretilen ve çekirdeği saran gömlek denilen bir giydirme namluyu koruma maksadıyla kullanılmaktadır.

Kapsül: İğneden aldığı tahrikle baruta ilk yanmayı sağlayan çoğu zaman kovanın ard kısmının tam ortasında yer alan parçadır.

2.4.2. Barut

Barutun bulunmasıyla beraber ateşli silahlar kullanılmaya başlamıştır. ¾ oranda potasyum nitrat ve geri kalan kısımda eşit miktarda denilebilecek oranda odun kömürü ve sülfür içeren ve karbarut olarak adlandırılan bu karışım aşırı derecede artık bıraktığı için kullanıldığı silah namlusunda sık sık temizlik ihtiyacı oluşturur.

Günümüzde ise daha çok nitroselüloz ve nitrogliserin karışımı dumansız barut kullanılmaktadır. Patlayıcı etkisi yavaş ayrıştığı için düşüktür.

Karabarutun kimyasal denklemi;



KNO_3 = potasyum nitrat

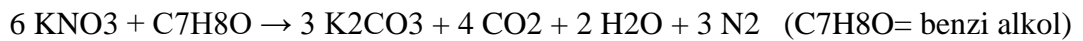
NaNO_3 = sodyum nitrat

C = karbon (kömür)

S = kükürt $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$

Dumansız barut, istenilen özelliklerini farklı bileşenlerin karışıma eklenmesiyle elde etse de genel olarak namluya zarar veren kükürt bileşeni olmadan elde edilirler.

Kimyasal denklemleri en genel haliyle;



Tanecik boyutları barutun reaksiyon hızını direk etkiler. [20]

2.4.3. Kalibre ve Çaplar

İngiliz ölçüm sisteminde yüzde bir inçlik ölçüye eşit olan birim olmasına rağmen bir merminin silah çapını tanımlayan terim olarak kullanılmaktadır. Örneğin 50 cal.(kalibre) bir mühimmat tanımı 12.7 mm'lik bir metrik standart ölçüsüne eşdeğerdir. Genel kullanımda

M2 tüfeğinin kullandığı mühimmat kalibresinin cevabı 50.cal veya 12.7 mm olarak söylenebilir.

Nato Kalibrasyon sisteminde mermi çapı ile kovan boyu da belirtilir. En fazla kullanılan mermi kalibrelerinden birisi olan 9 mm'lik Parabellum çeşidi silahın gösterimi 9x19 mm ya da 9x19 parabellum şeklindedir. Dikkat edilmesi gereken konu 19'luk kısım mermi boyunu değil kovan boyunu tanımlamaktadır.

2.4.4. Ses altı (Sübsonik ya da Subsonic) Mühimmatlar

Ses altı mühimmatlar ses hızının üstüne çıkarak namluyu terkeden çekirdeğin yarattığı ses patlama kaynaklı seslerden korunmak için kullanılan, bunu daha yüksek ağırlıkta çekirdek kullanarak ya da düşük basınç üretecek barut miktarı kullanarak elde eden mermilerdir. Düşük basınçlı barut kullanımı silahın durdurma gücünü de azaltacağı için genellikle çekirdek ağırlığı arttırmak tercih edilir. Çekirdek ağırlı grain olarak ifade edilir ve 1 grain yaklaşık 0.06 grama denk gelmektedir.

2.4.5. Bastırıcılar – Susturucular

Ateşleme esnasında oluşan ani genişmiş gazın hızlı şekilde namlu ağzı gibi dar bir delikten çıkmaya zorlanması aşırı derecede bir ses dalgası oluşturur. Bu sesi azaltmak için hacimsel olarak namlu ağzı çıkışından defalarca kat daha büyük bir alana basıncı yayarak gazın sıcaklığını ve hızını yavaşlatan genellikle namlu ucuna sonradan monte edilebilen parçalardır. Sesi tamamiyle ortadan kaldırmaya da sesin ateşli bir silahtan gelip gelmediğinin anlaşılmasını ve ateşin geldiği bölgenin farkına varılamamasını sağlar.

Hafiflik önemli bir girdi olduğu için genellikle alüminyum ve titanyum, bazen de çelik bir dış tüpün içine yerleştirilmiş genişleme odalarından ibarettir. Tek parçadan oluşan çeşitleriyle beraber istenildiği durumlarda bölme (bakla) sayısının, dolayısıyla boyunun uzatılıp kısaltılmasına izin veren çeşitleri vardır. Atım sayısı düşük, kullan at şeklinde tasarlanmış, içinde bazen sız ihtiva eden, içinden geçen çekirdeği genellikle plastikten oluşan bir perde kullanarak temas ederek geçmesini sağlayan türleri de vardır. Şekil 6'da bastırıcı takılabilen bir silah örneği gösterilmiştir. Türkiye Cumhuriyeti'nde normal bir kullanıcının tedarik etmesi yasal olmamakla beraber kolluk kuvvetleri tarafından kullanılmaktadır.



Şekil 6. Bastırıcı takılabilen bir silah

Bastırıcı kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı konular söz konusudur. Namlu çapından daha büyük bir çapa sahip olan bazı bastırıcılarda nişan hattının oluşturulması zor olacağı için gez-arpacık modifikasyonuna ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca ağır bir susturucu kullanımı tabanca mekanizmasına ve irca yayı mekanizmasına direnç oluşturacağı için mekanik hatalara sebebiyet vermektedir. Bununla beraber şahlanma ve geri tepme kuvvetlerinde azalmaya sebebiyet vermesi olumlu etkileri olarak düşünülebilir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Deneysel Çalışma

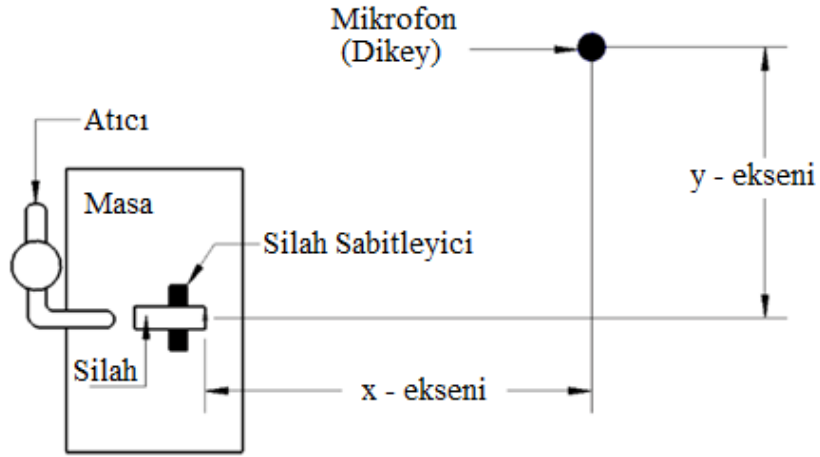
Bu çalışma kapsamında, 9 mm'lik bir silahtan (TP9 ELİTE COMBAT) ses altı ve ses üstü mermilerin ateşlenmesinden sonraki tepe (pik) ses basınç seviyeleri farklı konumlarda deneysel olarak ölçülmüştür. Ölçümler 23 farklı pozisyonda gerçekleştirilmiştir.

Ses dalgalarının havada yayılırken yaptıkları basınç dalgalanmalarının temel ölçümlerinden biri, Ses Basıncı Seviyesi'dir (SPL-Sound Pressure Level) ve Desibel (dB) birimi ile ifade edilir [22]. Tabancanın namlu ağzı gürültüsü için SPL, genellikle en yüksek ses basıncı seviyesi (pik) ile belirlenir. Bu çalışmada verilen tüm sonuçlar, tepe ses basıncı seviyesinde elde edilen sonuçlardır. SPL'nin genel formülü aşağıda gösterilmiştir.

$$SPL = 20 \log \frac{p'}{p_{ref}}$$

Burada p' ses basıncıdır, p_{ref} referans ses basıncıdır ($p_{ref} = 2 \times 10^{-5}$ Pa)

Atışlı testlerin gerçekleştirilebilmesi ve sonuçlarının alınabilmesi için bir takım düzenekler hazırlanmış ve planlamalar yapılmıştır. Deney düzeneği, Şekil 7'de gösterildiği gibi, mikrofonlu ses basıncı seviye ölçüm cihazı, masa, tabanca ve tabanca stabilizatöründen oluşmaktadır.



Şekil 7. Deney düzeneğinin şematik diyagramı

Deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 8'de verilmiştir. Tüm deneylerde mikrofon, bir tripod üzerine dikey olarak monte edilmiş ve tripodun yüksekliği silah namlusu eksenini ile aynı hizada olacak şekilde ayarlanmış, atış testinin gerçekleştirildiği masanın yüksekliği ses yansımalarını engellemek için yerden 1 m yükseklikte tutulmuştur.



Şekil 8. Deney düzeneğinden bir fotoğraf

Ses basıncı seviyesini ölçmek için Larson Davis LXT modeli ses basıncı ölçüm cihazı ve mikrofonu ile kullanılmıştır. Deneyler öncesinde bu cihazın kalibrasyonu CAL200 ses seviyesi kalibratörü ile kontrol edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Larson Davis LXT ses basıncı seviyesi ölçüm cihazı ve CAL200 ses kalibratörü seti

Her mermi türü için 23 farklı noktadan ses seviyeleri ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm noktaları Tablo 1'de gösterilmiştir. Ateşleme işlemini gerçekleştirmek için bir atıcı her bir ölçüm için 10 saniye aralıklarla 6'şar mermi atmıştır.

Ayrıca ses altı ve ses üstü mermilerin namlu çıkışındaki hızları da ölçülmüş ve hız ölçümü için Labradar Balistik Hız Doppler Radar Cronograph kullanılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Labradar Balistik Hız Doppler Radar Cronograph seti

Tablo 1. Ses basıncı seviyesi ölçüm konumları

Ölçüm SIRALAMASI	X KONUMU MESAFESİ	Y KONUMU MESAFESİ
1	0,0	0,2
2	0,0	0,4
3	0,0	0,8
4	0,0	1,0
5	0,0	1,5
6	0,0	2,0
7	0,0	2,5
8	0,0	5,0
9	0,2	0,2
10	0,4	0,2
11	0,8	0,2
12	1,0	0,2
13	1,5	0,2
14	2,0	0,2
15	2,5	0,2
16	5,0	0,2
17	10,0	0,2
18	20,0	0,2
19	30,0	0,2
20	0,8	0,8
21	1,5	1,5
22	2,5	2,5
23	5,0	5,0

Daha önce de belirtildiği gibi, deneylerde ses altı mermi ve süpersonik mermi olarak adlandırılan iki tip mermi kullanılmıştır. Bu mermilerin teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Süpersonik ve sübsonik mermilerin teknik özellikleri

Özellikler	Sübsonik Mermi	Süpersonik Mermi
Maksimum Basıncı (bar)	1500	2850
Mermi Ağırlığı (g)	Eyl.50	Ara.15
Dağılım	Max 5.0@25 metre	Max 7.6@46 metre
İlk Hız	290±10 @16 metre	370±10 @16 N/A

3.2. Nümerik Çalışma

3.2.1. Referans İçin Kullanılan Modeller

Akustik Model

Ateşli silahlarda gürültü genellikle güçlü girdaplar ve namludan yayılan şok dalgalarından kaynaklanır. Silah ateşlendiğinde yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle namlu çıkışında kararsız akış alanı oluşur. Ayrıca bu akış alanının enerjisi ses enerjisinden çok daha yüksektir. Bu durum ses dalgalarının sayısal olarak hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Ansys Fluent, Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (CFD) ve Hesaplamalı Aeroakustiğin (CAA) birlikte analiz edilmesini sağlayan hibrit bir yöntem sunar. Aerodinamik akustik, kütle ve momentum denklemlerinin yeniden düzenlenmesiyle elde edilen Lighthill akustik analoji denklemi kullanılarak geliştirilmiştir [42]. Bu denklemde, ses kaynağı terimi Navier-Stokes denklemlerinden türetilmiştir. Lighthill eşitliği Eşitlik (1)'de verilmiştir.

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - a_0^2 \nabla^2 \rho = \frac{\partial Q}{\partial t} - \nabla F + \frac{\partial^2 (T_{ij})}{\partial x_i \partial x_j} \quad ((1))$$

Bu denklemde, Q ve a_0 , sırasıyla süreklilik denklemindeki kütle kaynağına ve akışkan ortamdaki ses hızına karşılık gelir. F ve T_{ij} sırasıyla kütle kuvvetini ve Lighthill gerilim tensörünü temsil eder.

Bu çalışmada, uzak alan gürültüsünü hesaplamak için Ffowcs Williams ve Hawkings (FW-H) Akustik Modeli kullanılmıştır. Bu modelde, ses basıncı sinyalleri önceden belirlenmiş alıcılarda eş zamanlı olarak hesaplanır. FW-H denklemi, Lighthill'in akustik analogisinden türetilmiştir. Akışta geçirimsiz bir yüzeyin varlığını dikkate alan denklem, homojen olmayan bir dalgadır. Bu denklem tek kutuplu, çift kutuplu ve dört kutuplu üç homojen olmayan terimden oluşur. Tek kutuplu akustik kaynağı, kararsız kütle enjeksiyonundan kaynaklanan bir kaynaktır. Çift kutuplu akustik kaynak, kararsız dış kuvvetlerden kaynaklanan iki tek kutup barındıran kaynaktır. Dört kutuplu akustik kaynak, kararsız kayma gerilimlerinden kaynaklanan iki çift kutuplu kaynaktan oluşur. Tek kutuplu ve çift kutuplu terimleri, beraber akıştan geçen cisim tarafından üretilen sesi temsil eder [22].

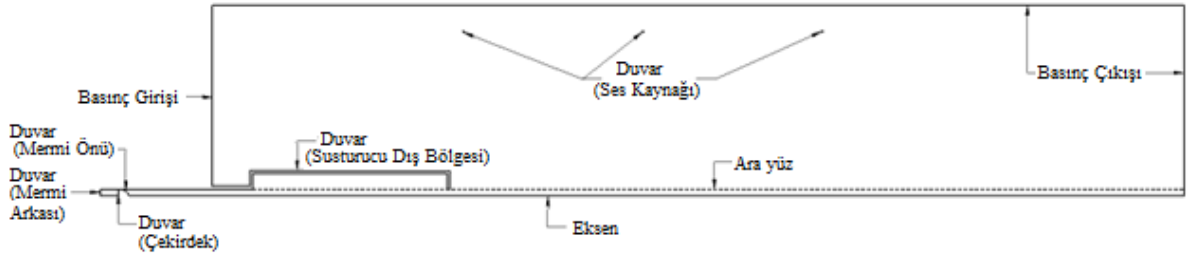
Ses basıncı seviyesi (SPL), işitme eşiği referans değerine göre ses basıncının logaritmik (desibel) ölçümüdür. Eşitlik (2)'deki formüle göre hesaplanır. p_{ref} genellikle bir insanın duyabileceği minimum ses eşiği olan 2×10^{-5} Pa'dır.

$$SPL = 20 \log \frac{p'}{p_{ref}} \quad ((2))$$

Sınır Şartları

Bu çalışma kapsamında, farklı türbülans modelleri kullanılarak 9x19 mm'lik bir merminin ateşlenmesi sırasında yakın mesafedeki akış ve uzak alanda yayılan ses sayısal olarak tahmin edilmeye çalışıldı. Bu kapsamda akış alanı ve aeroakustiğin birlikte çözülmesine olanak sağlayan Ansys Fluent paket programı kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirildi. Dış ortam basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 1 atm ve 300 K kabul edildi. Ses altı ve ses üstü mermiler için basınç ve sıcaklık değerleri, üretici verilerinden alındı. Bu kapsamda ses altı mermi için mermi basıncı ve sıcaklık değerleri sırasıyla 1600 atm ve 1800 K olarak girildi. Süpersonik mermi için ise ses altı mermi ile aynı sıcaklıkta basınç değeri 2800 atm'ye yükseltildi. Mermi ve namlu sınırlarında duvar sınır koşulu (wall) kullanıldı. Bu duvar sınırlarında hızın sıfır olması için kaymama koşulu benimsendi. Dış ortamın sol tarafında basınç giriş sınır koşulu kullanıldı ve yukarıda belirtildiği gibi toplam basınç ve sıcaklık sırasıyla 1 atm ve 300 K olarak ayarlandı. Hesaplama alanının sağ ve üst tarafları basınç çıkışı olarak tanımlandı. Çözümlerde kullanılan yoğunluk tabanlı, zamana bağlı ve iki boyutlu aksenal simetrik koşullar ile analizde kullanılan sınır koşulları Şekil 11'de gösterilmiştir. Tüm analizlerde hava yoğunluğu için Soave Redlich Kwong gerçek gaz modeli kullanıldı. Türbülanslı akışı modellemek için k-ε (Standard, RNG, Realizable), Standard k-ω, Spalart-Allmaras ve LES türbülans modelleri kullanıldı. Çözüm yöntemi olarak örtülü formülasyon, akış türü olarak Advection Upstream Splitting Method (AUSM) seçildi. Yakınsama kriteri tüm denklemler için 10^{-3} olarak ayarlandı.

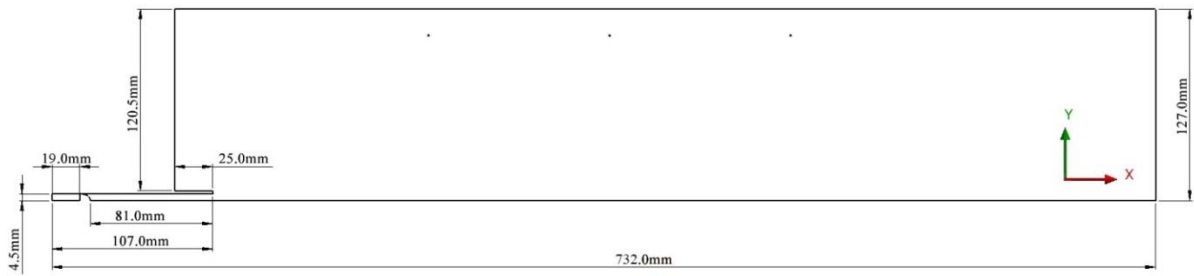
Akustik analizde namludan çıkan merminin yaydığı gürültüyü hesaplamak için dış ortama üç dairesel ses kaynağı yerleştirildi. İki boyutlu akış alanında, üçüncü boyutun etkisi, yakın alandan yayılan uzak alan gürültüsünü tahmin etmek için bir ses korelasyon uzunluğu (SCL) tanımlandı. Akış ve akustik analizler eş zamanlı olarak başlatıldı. Akustik modelde, deneylerde SPL ölçümlerinin yapıldığı yerlere alıcılar yerleştirildi.



Şekil 11. Sayısal modelde kabul edilen sınır koşulları.

Geometri

Daha önce de bahsedildiği gibi, geometri, dış ortamı oluşturan statik alandan ve mermi hareketinin meydana geldiği dinamik alandan oluşturuldu. Çözüm, iki boyutlu ve eksene simetrik koşullarda gerçekleştirildi. Hesaplamaların yapıldığı çözüm alanının toplam uzunluğu 732 mm ve genişliği 127 mm'dir. Mermi çekirdeği 9 mm çapında ve 7 mm uzunluğundadır. Silah namlusu 100 mm uzunluğa ve 2 mm et kalınlığına sahiptir. Mermi, silah namlusunun içine yerleştirildi. Merminin tabanı ile silah namlusunun kuyruğu arasındaki mesafe 12 mm idi. Ayrıca merminin önü ile namlu çıkışı arasındaki mesafe 81 mm dir. Akustik analizde kullanılmak üzere dış ortama üç adet ses kaynağı yerleştirildi. Bu ses kaynaklarının akış alanı üzerindeki etkilerinin ihmal edilebilir düzeyde olması için 1 mm çaplı dairesel geometri olarak modellendi. Sayısal modellemede kullanılan geometrinin boyutları Şekil 12'de verilmiştir.



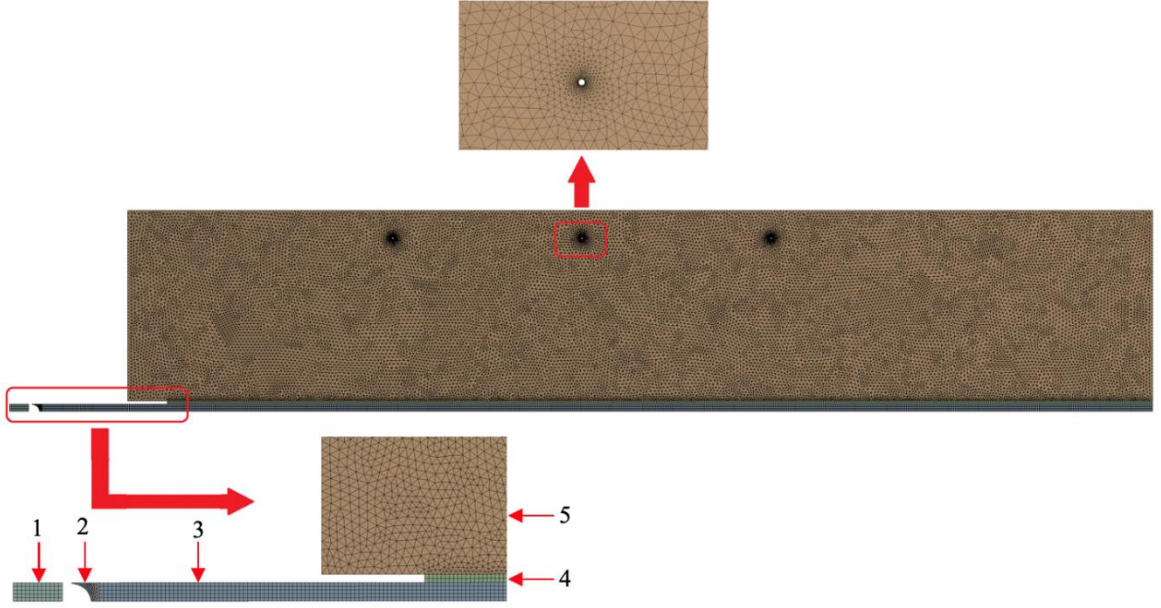
Şekil 12. Sayısal modellemede kullanılan geometrinin boyutları

Ağ Yapısı

Bu çalışmada, mermi hareket ettikçe modellenen geometrilerdeki sınır koşulları değişti. Bu amaçla, merminin namlu boyunca hareketi ile değişen sınır koşullarını modellemek için dinamik ağ etkinleştirildi. Sınır koşullarının değiştiği ve merminin hareket

ettiği yol rijit, bu yolu çevreleyen dış ortam ve bastırıcı içi ise durağan olarak tanımlandı. Merminin namlu boyunca serbestçe hareket edebilmesi için Altı Serbestlik Derecesi (Six-DOF) etkinleştirildi. Six-DOF'ta merminin taban ve ön sınırları sert olarak tanımlandı. Mermi ağırlığı 0.0032897 kg olarak girildi. Dinamik ağ yöntemi olarak, hareketli bir sınıra bitişik hücre katmanlarının, hareketli yüzeye bitişik katmanın yüksekliğine bağlı olarak eklendiği veya çıkarıldığı katmanlama yöntemi seçildi. Bu yöntemin kararlı çalışması için mermi yolu boyunca dikdörtgen bir ağ yapısı kullanıldı.

Bu çalışmada dinamik ağ yapısı kullanılmış ve bu bağlamda ağ kalitesi zamanla değişmiştir. CFD alanı, farklı ağ yöntemleri ve boyutları uygulamak için birkaç küçük alana bölündü. Sayısal modellemede kullanılan ağ yapısının görünümü Şekil 13'te verilmiştir. Bölge 1 mermiye ilk hareketi veren yüksek basınç odası, bölge 2 merminin ön tarafıdır. Bölge 3, merminin namlu çıkışına kadar hareket ettiği alanı temsil eder. Bölge 4 ve 5, akış alanının hesaplandığı dış ortamdır. 2. ve 5. Bölgelerde üçgen ağ yapısı, 1. ve 3. bölgelerde katmanlama yöntemine uygun olması nedeniyle dikdörtgen ağ yapısı kullanıldı. Ek olarak, alan 4 de dikdörtgen bir ağ yapısına sahiptir. Ağ yapıları büyüklük açısından incelendiğinde, 1, 3 ve 4 numaralı bölgelerin ağ büyüklüğü 1 mm'dir. Merminin önündeki eğriliği vermek için Bölge 2'de 0.5 mm'lik ağ büyüklüğü kullanıldı. Öte yandan, dış ortam diğer alanlara göre nispeten daha kaba bir ağ yapısı ile örülmüştür. Bu kapsamda, 5. bölgede 2 mm'lik bir ağ büyüklüğü kullanıldı. Ses kaynaklarının çevresinde, ağ kenar büyüklüğü 0.1 mm ve artış oranı 1.2 olarak alındı. Oluşturulan ağ yapısı toplam 29172 düğüm ve 50871 elemandan oluşturuldu. İyi bir ağ yapısı için eleman kalitesi 1'e, çarpıklık 0'a ve ortogonal kalite 1'e yakın olmalıdır (Pater 1981;) Bu ağ yapısında, ortalama eleman kalitesi, çarpıklık ve ortogonal kalite sırasıyla 0.96, 0.05 ve 0.97 olarak elde edilmiştir.



Şekil 13. Sayısal modellemede kullanılan mesh yapısının görünümü

3.2.2. Farklı Sayıda Bastırıcı Etkisi

Sınır Şartları

Çalışmanın bu kısmında, bastırıcıdaki bölmelerin sayısının ve mesafesinin akış alanı ve SPL üzerindeki etkisi sayısal olarak araştırıldı. Sayısal model, bastırıcı olmayan 9 mm'lik bir mermiye göre yapılan deneylerle doğrulandı. Pik ses basıncı seviyesi (SPL_{peak}) değerleri deney düzenekleri hazırlanarak ölçüldü (Gürdamar vd. 2022;). Doğrulamadan sonra, ilk olarak bölmesiz bir bastırıcı modellendi. Daha sonra bastırıcı girişinden 20 mm aralıklarla 1, 3 ve 5 adet bakla yerleştirildi. Bu modellere ek olarak, bastırıcıya eşit aralıklarla yerleştirilmiş 1, 3, 5, 7 ve 9 bölmelerin SPL_{peak} üzerindeki etkisi araştırıldı. Silahın ateşlenmesi sonucu yakın alanda meydana gelen akış olayları nümerik olarak çözümlendi. Türbülans modeli olarak Spalart-Allmaras türbülans modeli kullanıldı. Hava yoğunluğu için Soave Redlich Kwong gerçek gaz modeli seçildi. Mermiyi hızlandıran mermi basıncı ve sıcaklığı üretici verilerine göre belirlendi ve sırasıyla 1600 atm ve 1800 K olarak girildi. Dış ortam basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 1 atm ve 300 K olarak belirlendi. Duvar sınırlarında kaymama koşulu benimsendi. Dış ortamın sol tarafında basınç giriş sınır koşulu benimsendi ve toplam basınç ve sıcaklık sırasıyla 1 atm ve 300 K olarak ayarlandı. Dış ortamın sağ ve

üst tarafı ise basınç çıkışı olarak tanımlandı ve çıkış basınçları 1 atm olarak ayarlandı. Mermi, namlu ve bastırıcı sınırlarında duvar sınır koşulu benimsendi. Sayısal modelde benimsenen sınır koşulları daha önce Şekil 11'de verilen durumla aynıdır. Yapılan çözüm yoğunluk tabanlı, zamana bağlı ve iki boyutlu aksenal simetrik koşullarda gerçekleştirildi. Merminin hareketi ile oluşan akış 0.005 ms zaman aralığında incelendi. Buna göre akustik analizde frekans değeri 500000'e ulaşmıştır. Adım aralığı 20 iterasyon olarak ayarlandı ve yakınsama kriteri tüm denklemler için 10^{-3} olarak tanımlandı.

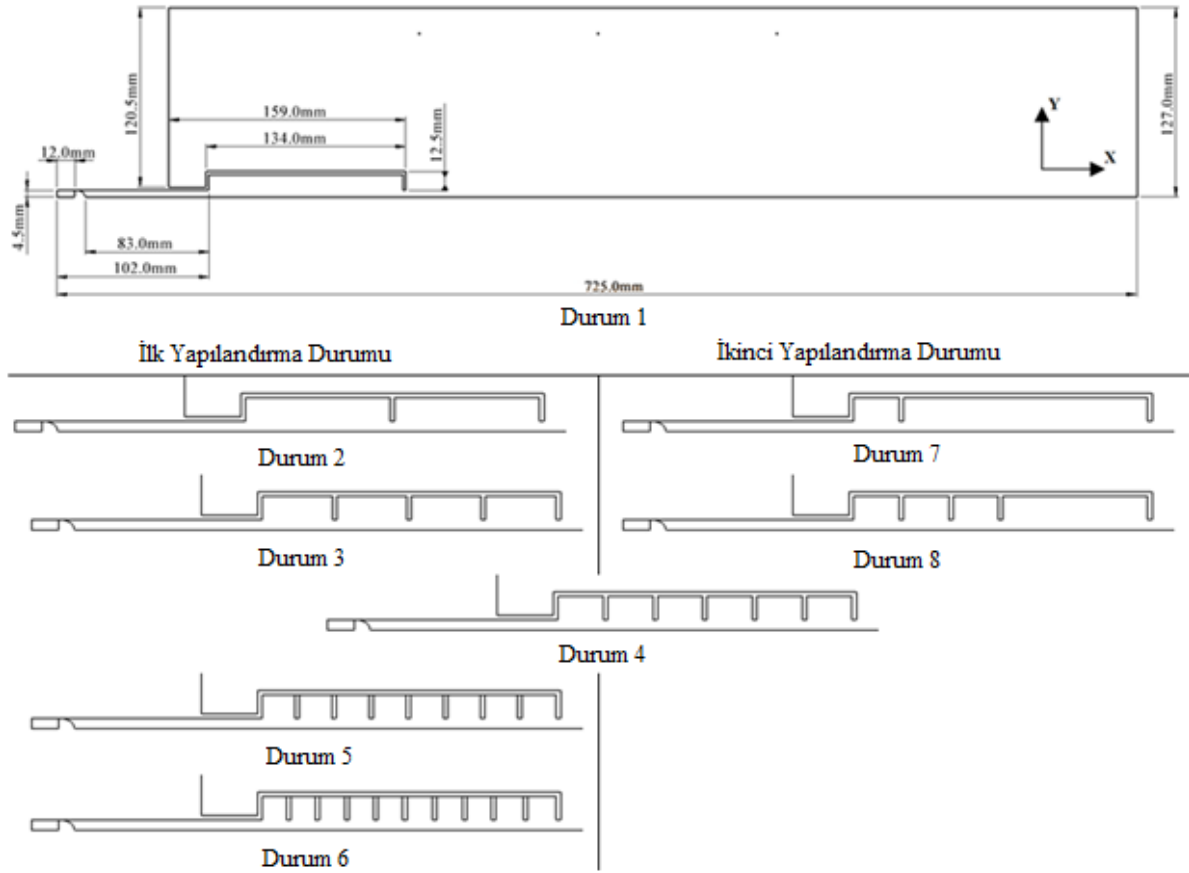
FW-H akustik modelinde, silahın ateşlenmesi sırasında oluşan gürültüyü hesaplamak için dış ortama üç dairesel ses kaynağı yerleştirildi. Akış ve akustik analiz eş zamanlı olarak başlatıldı. Alıcılar, hazırladığımız test düzeneğine uygun ve ölçüm yerlerine karşılık gelecek şekilde yerleştirildi (Gürdamar vd. 2022;). Bu kapsamda alıcılar namlu çıkışından 2.5 m, 5 m, 10 m, 20 m ve 30 m mesafelere yerleştirildi. Tüm alıcıların x ekseninden uzaklıkları 0.2 m idi.

Geometri

Geometri, merminin hareket ettiği dinamik alan ve bu alanı çevreleyen dış ortamdan oluşturuldu. Bu bağlamda sayısal sonuçların deneysel ölçümlerle karşılaştırılması için ilk olarak bastırıcısız bir geometri modellendi. Daha sonra bastırıcılı geometriler oluşturuldu. Çalışma kapsamında bastırıcıda bulunan bölmeler iki konfigürasyonda incelendi. İlk yapılandırma durumunda, bölmeler bastırıcıya eşit aralıklarla yerleştirildi ve bastırıcıda bir, üç, beş, yedi ve dokuz bölme kullanıldı. İkinci yapılandırma durumunda, bölmeler bastırıcı girişinden 20 mm aralıklarla bastırıcıya yerleştirilmiş ve bastırıcıda bir, üç ve beş bölme kullanıldı. Her iki yapılandırmada da 5 bölmeli bastırıcı durumunda bölmeler arasındaki mesafe aynıdır. Bu modellere ek olarak bölme plakasız (baklasız) bastırıcı da modellenmiştir. Bölmelerin sayısına ve mesafesine göre toplam dokuz farklı bastırıcı modellenmiştir.

Namlu ve mermi simetrik bir yapıda olduğu için geometri iki boyutlu ve aksenal simetrik olarak çizildi. Hesaplama alanı 725 mm uzunluğa ve 127 mm genişliğe sahiptir. Namlu ve merminin çapı 9 mm ve uzunlukları sırasıyla 81 mm ve 7 mm dir. Bastırıcının uzunluğu ve çapı sırasıyla 130 mm ve 30 mm'dir. Namlu, bastırıcı ve bölme duvar kalınlıkları 2 mm dir. Sayısal analizlerde kullanılan geometrilerin şematik görünümü Şekil

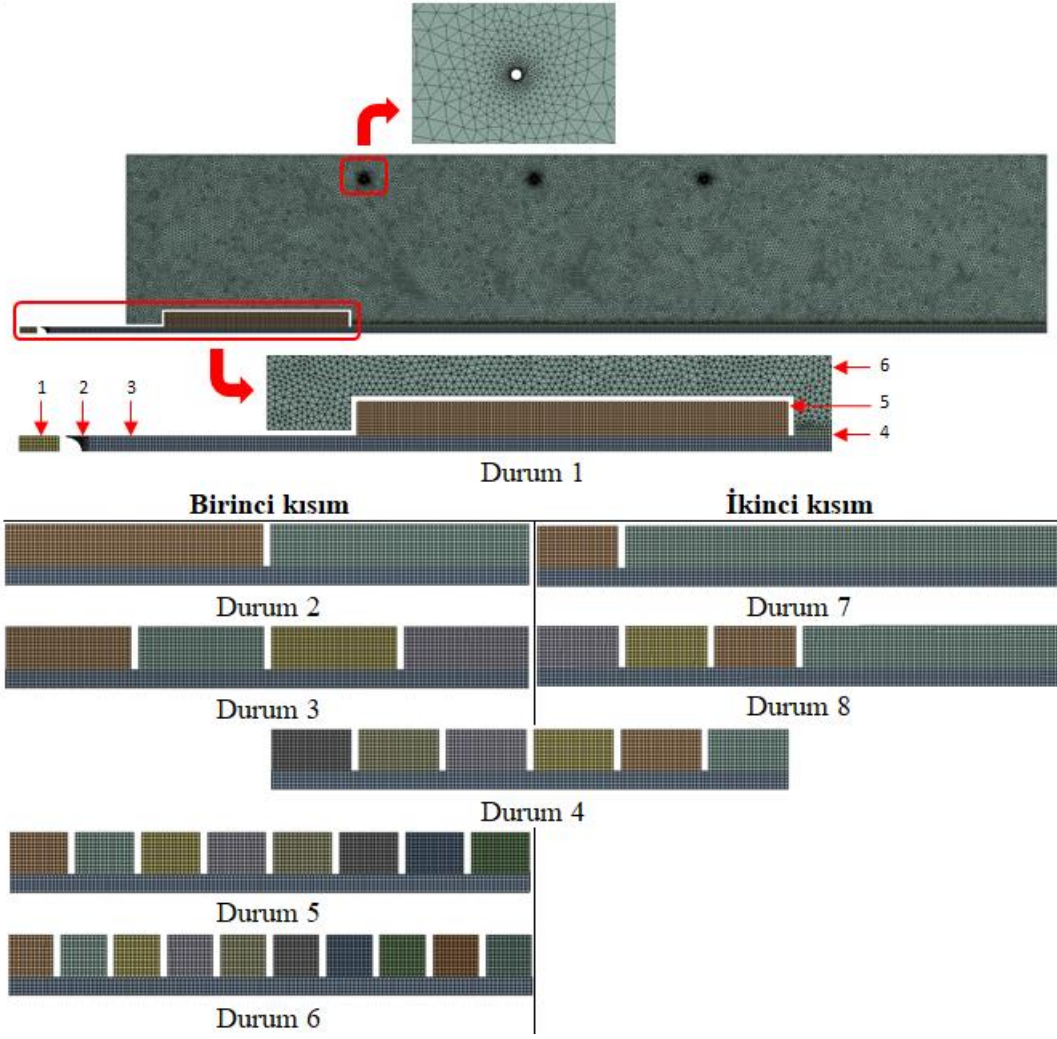
14'te verildi. Namlu çıkışında meydana gelen basınç dalgalanmasını ses sinyallerine çevirebilmek için 3 adet 1 mm çapında dairesel ses kaynağı dış ortam içerisine yerleştirildi.



Şekil 14. Sayısal analizde kullanılan geometrilerin şematik görünümü.

Ağ Yapısı

Geometrilere uygulanan ağ yapıları Şekil 15'te verilmiştir. Farklı eleman türleri ve boyutları kullanmak için hesaplama alanı daha küçük bölgelere bölündü. Bu bağlamda Bölge 1, mermiye ilk hareketi veren fişeği temsil etmektedir. Bölge 2, merminin önündeki eğimli alandır. Bölge 3, namluyu ve merminin yörüngesini göstermektedir. Bölge 4 ve 6 akış olaylarının meydana geldiği dış ortamı temsil etmektedir. Bölge 5, yüksek basıncı emen bastırıcıyı göstermektedir. 1, 3, 4, 5 numaralı bölgelerde ve bastırıcıda dikdörtgen eleman kullanıldı. Bu alanlarda eleman büyüklüğü 1 mm olarak seçildi. Mermi önü kavisli bir yapıya sahip olduğu için 2 numaralı bölgede üçgen eleman kullanıldı ve eleman büyüklüğü 0.5 mm olarak seçildi. 6. bölgede üçgen eleman tipi uygulandı ve eleman boyutu 2 mm olarak tanımlandı. Ses kaynaklarının kenarlarında eleman büyüklüğü 0.1 mm ve artış oranı 1.2 olarak ayarlandı.



Şekil 15. Sayısal analizlerde kullanılan geometrilerin ağ yapısı.

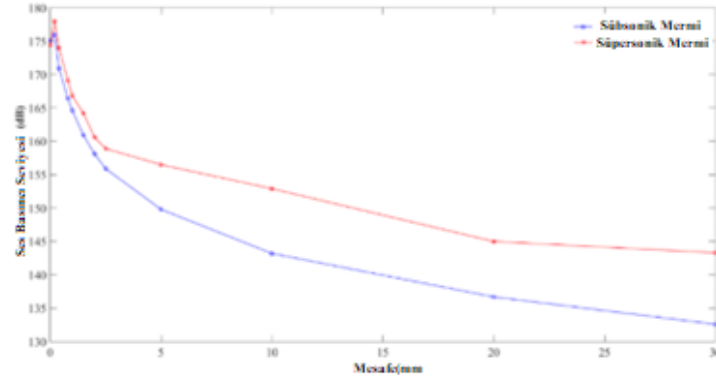
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

Deneysel sonuçlar

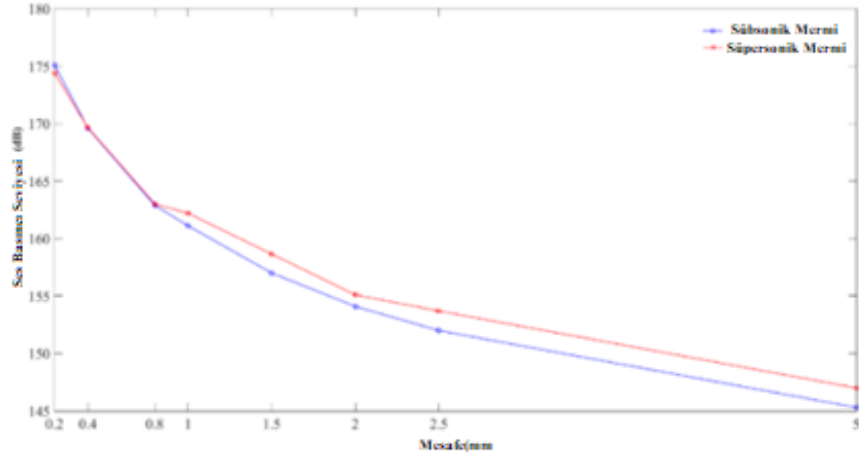
Bu çalışmada, ses altı (sübsonik) ve ses üstü (süpersonik) mermi çıkış hızına sahip mermilerin 9 mm'lik bir tabanca için ses basınç düzeyi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda her durum için düzenek hazırlanmış ve 23 farklı noktadan ölçüm yapılmıştır. Her noktadaki ölçüm için 6 adet atış gerçekleştirilmiş ve bu atışlardan elde edilen değerlerin ortalaması verilmiştir. Bu bağlamda, her iki durumda da (ses altı ve ses üstü) toplam 276 mermi ateşlendi. Şekil 16, x eksen yönü boyunca, mesafe ile değişen SPL değerlerini göstermektedir. Her mesafe için yapılan atışlarda süpersonik mermilerde daha yüksek SPL değerleri elde edildi. En yüksek SPL değerleri her iki mermi için 0.2 m mesafeden yapılan atışta gerçekleşti ve süpersonik (ses üstü) mermide 178 dB, sübsonik (ses altı) mermide 176 dB olarak ölçüldü. Daha sonra, SPL değerleri artan mesafe ile azaldı. Ek olarak, ses altı ve ses üstü mermiler arasındaki farklar, mesafe arttıkça arttı. 30 m mesafede, ses altı mermilerle yapılan deneylerde ortaya çıkan SPL değeri yaklaşık 133 dB iken, süpersonik mermilerin kullanılması durumunda bu değer yaklaşık 143 dB'dir.



Şekil 16. x eksen yönü boyunca mesafe ile değişen ses basınç seviyesi

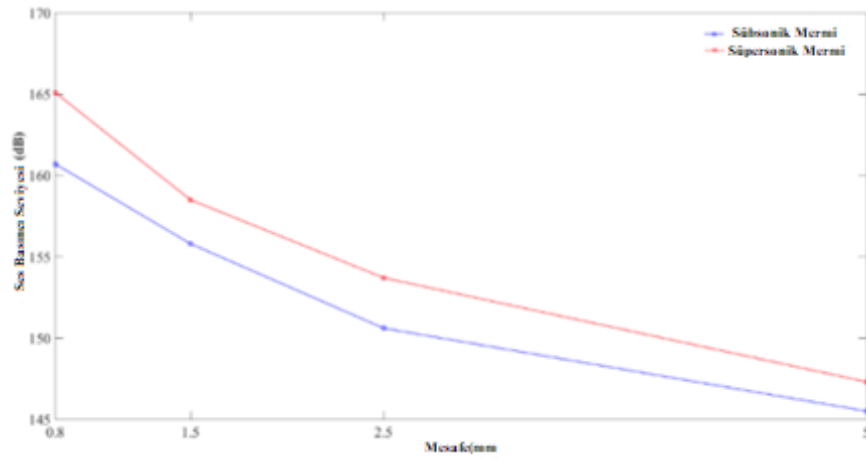
y eksen doğrultusunda mesafeye göre değişen SPL değerleri Şekil 17'de verilmiştir. x eksen yönünde alınan ölçüm sonuçlarının aksine, her iki mermi ile yapılan deneylerde y eksen yönünde benzer sonuçlar vermiştir. Bu, merminin yay şoku gürültüsünün yalnızca silahın önünde, merminin süpersonik hızıyla belirlenen bir bölgede meydana gelmesiyle açıklanabilir (Rehman vd. 2015;). Ancak artan mesafe ile sesüstü merminin ses altı mermiye

göre nispeten daha yüksek sonuçlara sahip olduğu görülmektedir. Özellikle yaklaşık 0.8 m'den sonra her iki mermiden elde edilen sonuçlar arasındaki fark artmaktadır.



Şekil 17. y eksenine doğrultusunda mesafe ile değişen ses basıncı seviyesi

Şekil 18, 45° açı yönleri boyunca mesafe ile değişen SPL değerlerini göstermektedir. Bu şekilde gösterildiği gibi, tüm mesafelerde süpersonik mermi, ses altı mermiden daha yüksek SPL değerlerine sahiptir. SPL değerleri tüm durumlarda x-yönünde elde edilen sonuçlardan daha düşük çıkmıştır.

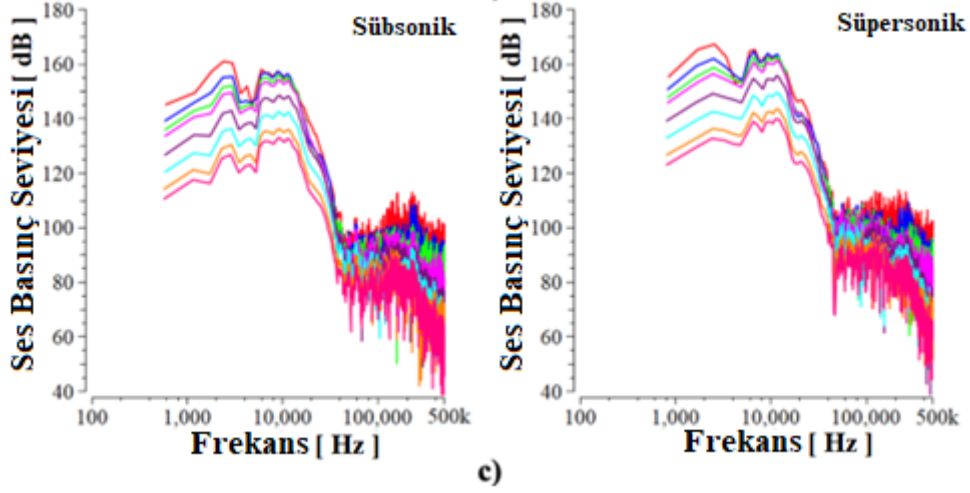
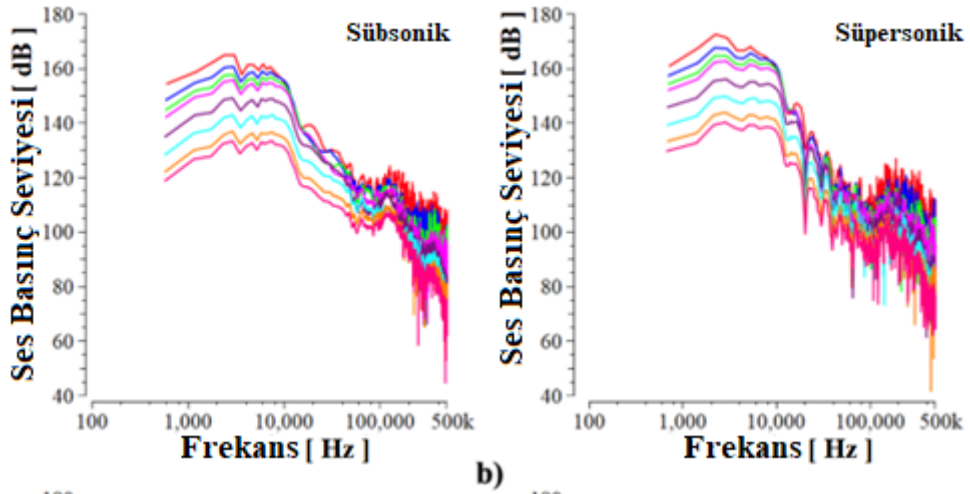
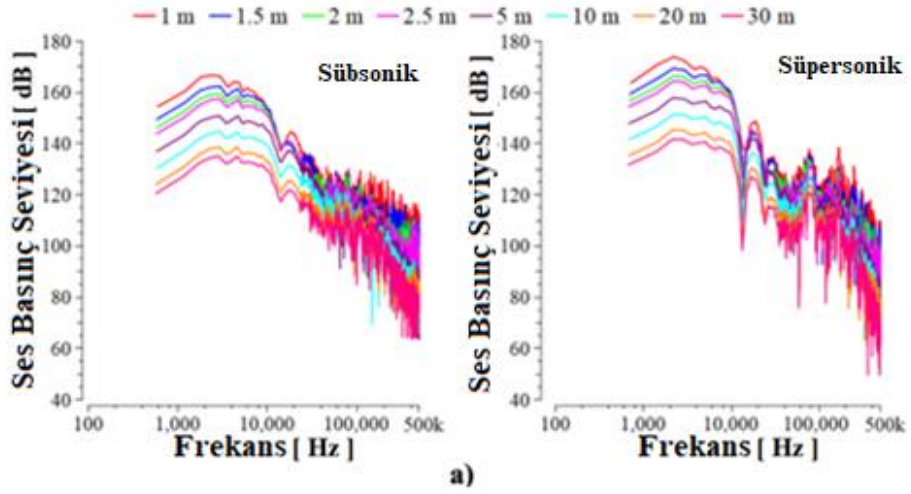


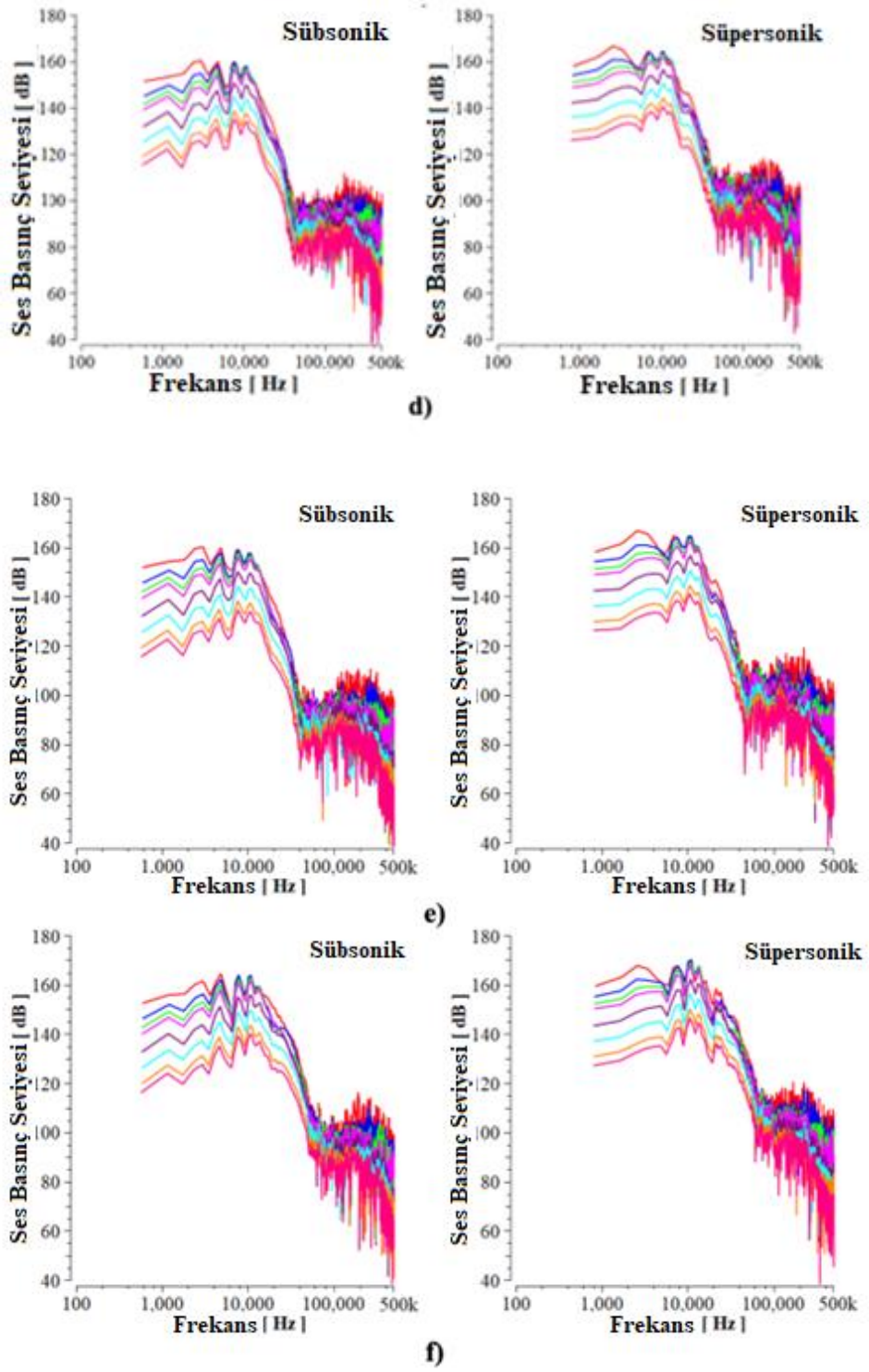
Şekil 18. 45° açı doğrultuları boyunca mesafe ile değişen ses basıncı seviyesi

Nümerik modellemede kullanılan türbülans modellerinin etkisi

Daha önce de belirtildiği gibi deneyler kapsamında hız ölçümleri de yapılmıştır. Her mermi tipi için yapılan 6 mermi atışında sonuçlar namlu eksenine hizasında okunmuş ve bu sonuçların ortalaması kaydedilmiştir. Sonuçlar, ses altı mermi hızının 317 m/s ve süpersonik mermi hızının 382 m/s olduğunu gösterdi. Üretici verilerine göre, ses altı merminin maksimum hız aralığı 280-300 m/s iken, süpersonik merminin maksimum hız aralığı 360-380 m/s arasındadır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışmada da mermi hızları deneysel olarak ölçülmüş ve namlu çıkışındaki hız ses altı mermi için 317 m/s, süpersonik mermi için 382 m/s olmuştur. Üreticinin verileri ile deneysel ölçümler arasında küçük bir fark vardır ve bu, tabanca modeli ile açıklanabilir. Sayısal çalışmada, farklı türbülans modelleri için mermi hızları yaklaşık olarak aynı değerlere sahipti. Bu bağlamda, ses altı mermi için maksimum hız yaklaşık 301 m/s iken, süpersonik mermi için maksimum hız yaklaşık 375 m/s idi. Merminin bu hızlarda hareket etmesi ve akış alanının sınırlı bir uzunluğa sahip olması nedeniyle akışın namlu dışındaki gelişimi hesaplanırken 0.005 ms zaman adımı seçilmiştir. Bu zaman adımında akustik analizden elde edilen ses basınç grafikleri 100-500000 frekans aralığında çizilmiştir.

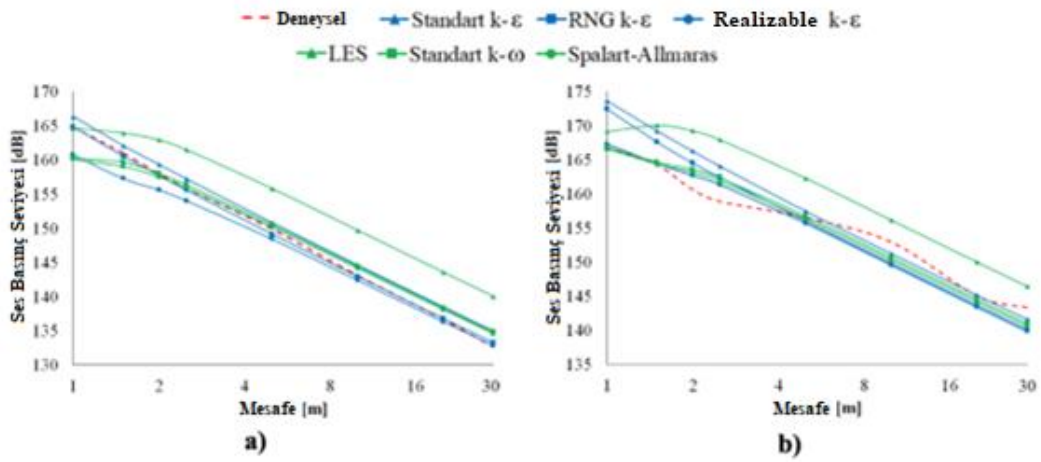
Farklı mesafelerdeki ses altı ve ses üstü mermiler için frekanslı SPL'lerin değişim grafikleri Şekil 19'da verilmiştir. Akustik analizden elde edilen grafiklere göre SPL, düşük frekanslarda pik yaptıktan sonra hızla düşerek kabaca 60-120 dB aralığında salınmıştır. 100k-500k Hz frekans aralığında. Tüm analizlerde mesafe arttıkça SPL azalmış ve beklendiği gibi süpersonik mermiden elde edilen SPL_{peak} değerleri tüm mesafelerde ses altı mermininkinden daha yüksek olmuştur. Grafiklerin trend çizgileri incelendiğinde Standart k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin SPL_{peak} değerlerinin oluştuğu frekans aralıklarında benzer bir trend izlediği görülmüştür. Standart k-ω, Spalart-Allmaras ve LES türbülans modelleri ise SPL_{peak} değerlerinin oluştuğu frekans aralıklarında benzer trend çizgileri izlemiştir. Bu üç model, diğer modellere göre daha fazla salınım eğilimine sahipti. Standart k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinde SPL_{peak} değerleri diğer türbülans modellerine göre daha düşük frekanslarda elde edilmiştir. Bu kapsamda Standard ve RNG k-ε türbülans modellerinde SPL_{peak} 2000-4000 Hz arasında iken diğer türbülans modellerinde 7000-12000 Hz arasında değişmektedir.





Şekil 19. Farklı mesafelerde SPL değişimi. a) Standart $k-\epsilon$, b) RNG $k-\epsilon$, c) Realizable $k-\epsilon$ d) Standart $k-\omega$, e) Spalart-Allmaras ve f) LES

Farklı türbülans modellerinden elde edilen SPL_{peak} değerlerinin ses altı ve süpersonik mermi için deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 20'de gösterilmiştir. SPL_{peak} değerleri her iki mermi modeli için mesafe arttıkça azaldı. Bu duruma istisna olarak süpersonik merminin LES türbülans modeli durumu gösterilebilir. Bu durumda, 1.5 m'de elde edilen SPL_{peak}, 1 m'de elde edilenden biraz daha düşüktü. Bunun, süpersonik hızdaki ses yayılımındaki farklılıklardan kaynaklandığı varsayılmıştır. Ses altı mermi için, RNG k-ε türbülans modeli, deneysel ölçümlere en yakın SPL_{peak} değerlerini verdi. Bu kapsamda 1 m, 10 m ve 30 m mesafelerdeki SPL_{peak} değerleri deneysel olarak 164.8 dB, 143.1 dB, 132.6 dB olarak ölçülmüş ve RNG k-ε türbülans modeli ile sırasıyla 164.8 dB, 142.9 dB ve 133.2 dB olarak tahmin edilmiştir. Öte yandan, ses üstü mermi için deneysel ölçümlere en yakın tepe SPL_{peak} değerleri Spalart-Allmaras türbülans modelinde tahmin edildi. Bu durumda süpersonik mermi için 1 m, 10 m ve 30 m mesafelerdeki SPL_{peak} değerleri deneysel olarak sırasıyla 166.8 dB, 152.9 dB, 143.3 dB olarak ölçülmüş ve sayısal olarak 166.8 dB, 150.6 dB ve 141.0 dB olarak tahmin edilmiştir. Spalart-Allmaras türbülans modeline ek olarak Standart k-ω ve Realizable k-ε türbülans modelleri de süpersonik mermi için deneysel ölçümlere çok yakın sonuçlar vermiştir. Deneysel ölçümlerden ve sayısal çözümlerden elde edilen tepe ses basıncı seviyeleri arasındaki farklar Tablo 3 ve 4'te verilmiştir. Bu tablolardan da görüldüğü gibi özellikle 1 m'nin üzerindeki mesafelerde en kötü SPL_{peak} değerleri hem ses altı hem de ses üstü türbülanslı LES türbülans modelinde elde edilmiştir.



Şekil 20. Farklı türbülans modellerinden elde edilen tepe ses basınçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması, a) ses altı mermi durumu, b) ses üstü mermi durumu

Tablo 3. Farklı mesafelerdeki ses altı mermi için deneysel verilerle tepe ses basıncı seviyelerindeki farklılıkların karşılaştırılması (%)

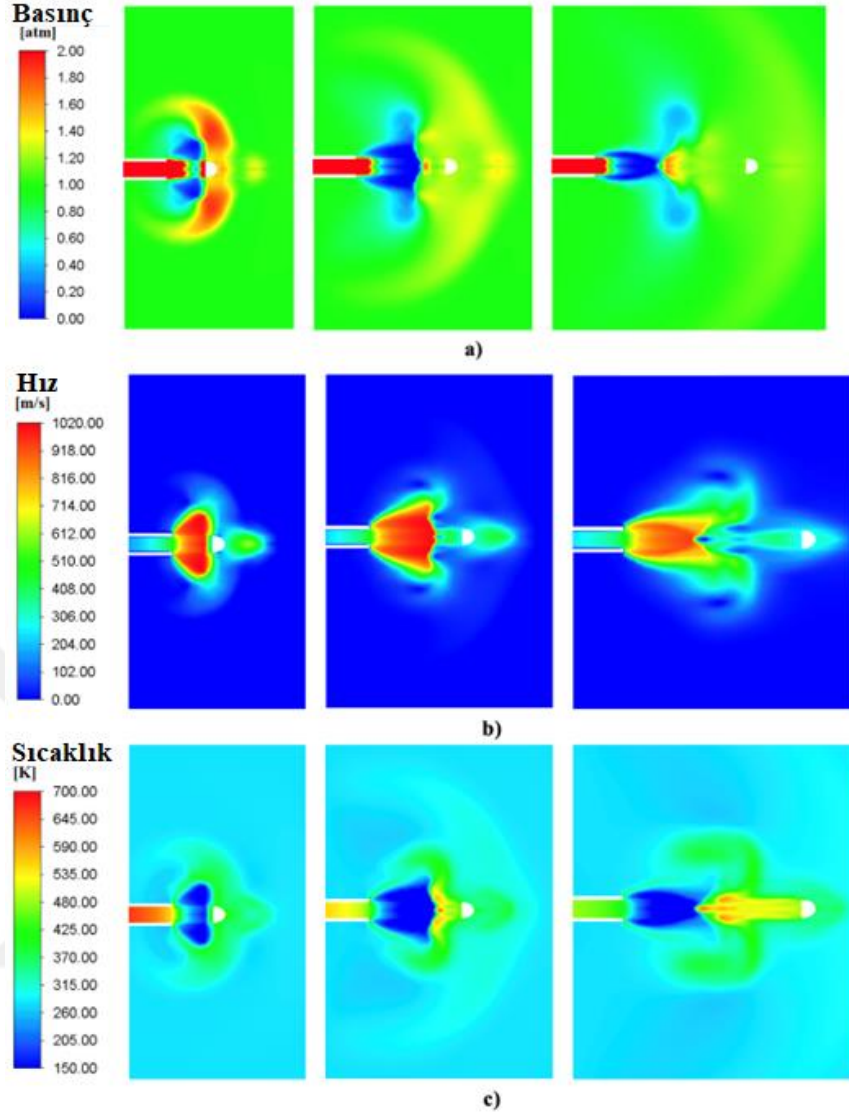
Türbülans modeli	Uzaklık (m)							
	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	5 m	10 m	20 m	30 m
Standard k-ε	0.931	0.664	0.829	0.835	0.606	1.041	1.299	1.760
RNG k-ε	0.012	0.282	0.181	0.212	0.521	0.152	0.048	0.470
Realizable k-ε	2.467	2.313	1.509	1.203	0.994	0.510	0.281	0.139
LES	0.083	1.828	3.117	3.580	3.938	4.594	5.010	5.580
Standard k-ω	2.761	0.825	0.017	0.293	0.404	0.917	1.192	1.657
Spalart-Allmaras	2.861	1.225	0.318	0.005	0.169	0.704	0.988	1.451

Tablo 4. Farklı mesafelerdeki süpersonik mermi için tepe ses basıncındaki değişimlerin boyutlarıyla karşılaştırılması (%)

Türbülans modeli	Uzaklık (m)							
	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	5 m	10 m	20 m	30 m
Standard k-ε	4.086	3.049	3.519	3.229	0.607	1.080	0.108	1.170
RNG k-ε	3.352	2.053	2.420	2.196	0.310	2.026	0.902	2.196
Realizable k-ε	0.293	0.124	1.284	1.504	0.536	2.209	1.116	2.424
LES	1.410	3.550	5.375	5.652	3.678	2.111	3.448	2.196
Standard k-ω	0.157	0.091	1.567	1.821	0.147	1.760	0.603	1.896
Spalart-Allmaras	0.014	0.277	1.862	2.122	0.145	1.472	0.308	1.599

Bir silah ateşlendiğinde, merminin arkasındaki yüksek basınçlı gaz mermi çekirdeğine bir itme kuvveti uygular ve bu etki ile mermi hedefe doğru hareket eder. Bu hareket ile namlu çıkışında ilk ve öncü şok dalgası oluşur. Bu durumu bir dizi sıkıştırma dalgası takip eder. Ses altı mermi için sayısal olarak elde edilen basınç, hız ve sıcaklık konturları Şekil 21'de gösterilmiştir. Bu şekilde, yalnızca SPLpeak değerlerinin en iyi tahmin edildiği RNG k-ε türbülans modelinin sonuçları verilmiştir.

Şekil 21.a'da mermi etrafındaki basınç dağılımlarının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi, namlu içindeki yüksek basınç ve sıcaklıktaki gaz, namlu çıkışından sonra radyal olarak genişlemiş ve namlu, birincil ve ikincil şok dalgalarından oluşan tipik bir jet akış yapısı oluşturmuştur. Mermi namludan ilk çıktığında merminin önünde ve yanında yüksek basınç, merminin arkasında negatif basınç oluşmuştur. Namlu çıkışından güçlü bir şekilde boşalan gaz, dış ortamla etkileşime girmiştir ve bu durum gürültü oluşumuna neden olmuştur. Mermi namlu çıkışından uzaklaştıkça şok dalgaları daha geniş bir alana yayılmış ve yavaş yavaş gücünü kaybetmiştir.



Şekil 21. Ses altı mermi için RNG k- ϵ türbülans modelinde elde edilen a) Basınç, b) hız ve c) sıcaklık konturları: sırasıyla soldan sağa 0.46 ms, 0.56 ms ve 0.68 ms

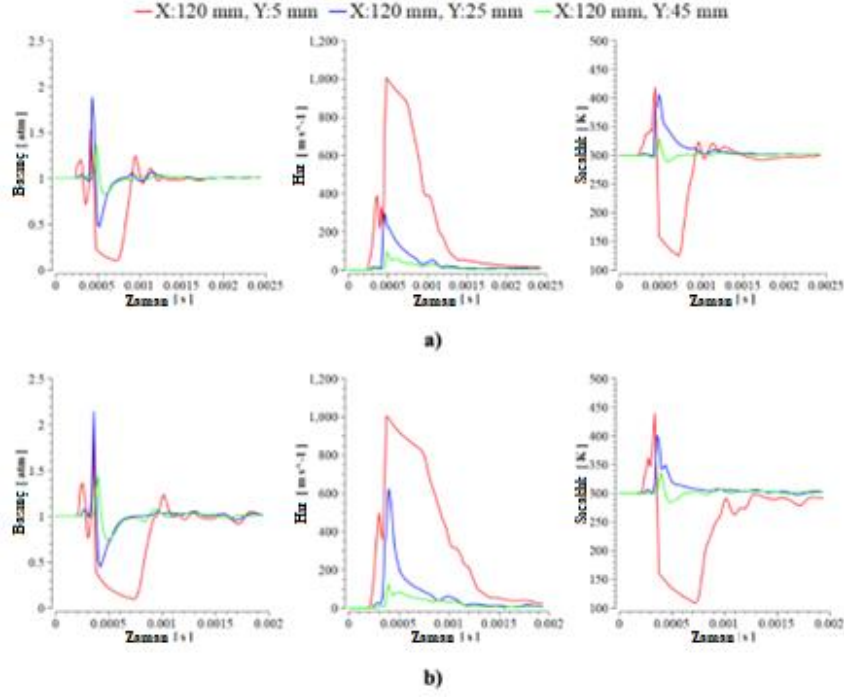
Şekil 21.b'de mermi etrafındaki hız dağılımlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Mermi namludan çıktığında yüksek basınçlı hava dış ortamla etkileşime girmiş ve basınç farkından dolayı merminin arkasında yüksek hızlar meydana gelmiştir. Şekilde incelenen süre boyunca, merminin arkasındaki hızlar, 0.46 ms'de zirveye ulaştıktan sonra kademeli olarak azalmıştır. Merminin arkasında meydana gelen en yüksek hız değerleri 0.46 ms'de 990-1020 m/s, 0.56 ms'de 980-1015 m/s ve 0.68 ms'de 900-940 m/s aralığında olmuştur. Ek olarak, jet akışı daha uzağa yayıldıkça, çevreleyen hava ile aksenal yön boyunca sürtünmeye maruz kalmıştır. Bu durum yerel akışın ters yönde hareket etmesine neden olmuştur.

Şekil 21.c'de mermi etrafındaki sıcaklık dağılımlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Mermi namludan çıktığında, merminin hemen arkasındaki sıcaklıklar, bu

alandaki ani basınç farkından dolayı önemli ölçüde düşmüştür. Şekilde incelenen süre boyunca mermi hareket ettikçe etrafındaki sıcaklıklar artmıştır. Bu kapsamda mermi çevresinde oluşan en yüksek sıcaklıklar 0.46 ms'de 400-420 K, 0.56 ms'de 540-560 K ve 0.68 ms'de 560-580 K aralığında gerçekleşmiştir.

Ses altı ve ses üstü mermiler için farklı noktalarda (x:120 mm, y:5 mm, 25 mm, 45 mm) basınç, hız ve sıcaklığın zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 22'de gösterilmiştir. Ses altı mermi için RNG k-ε türbülans modeli ve süpersonik mermi için Spalart-Allmaras türbülans modeli verildi ve SPL_{peak} değerleri deneylere kıyasla en iyi şekilde tahmin edildi. Grafikler incelendiğinde, y-mesafesi arttıkça ses altı ve ses üstü mermiler için tepe sıcaklık ve hız değerlerinin düştüğü görülmüştür. Öte yandan, her iki mermi modelinde de en yüksek tepe basıncı x:120 ve y:25'te meydana geldi. Merminin hesaplama alanının sonuna ulaşma süresi, ses altı mermi için yaklaşık 2.5 ms sürerken, süpersonik mermi için bu süre yaklaşık 2 ms idi. Benzer şekilde, ses altı mermi için tepe basınç, sıcaklık ve hız değerleri yaklaşık 0.5 ms'de meydana gelirken, süpersonik mermi için tepe değerleri yaklaşık 0.4 ms'de meydana geldi. Her iki mermi tipinde de en yüksek hızlar, ani basınç ve sıcaklık düşüşleri anında meydana gelir. Her iki mermi tipinde de tepe basınç, hız ve sıcaklık değerleri farklı zaman ve konumlarda meydana geldiğinden aynı noktalarda karşılaştırmak zordu.

Ancak fikir vermesi açısından iki mermi modeli aynı noktalarda karşılaştırıldı. Bu bağlamda, süpersonik mermi için tüm noktalardaki tepe basınçları daha yüksekti. En yüksek tepe basıncı, ses altı mermi için 1.88 atm iken, süpersonik mermi için 2.13 atm idi. Her iki mermi türünde de x:120 mm ve y:5 mm noktasındaki tepe hız değeri birbirine çok yakın ve yaklaşık 1004 m/s olmuştur. Sıcaklık grafiği incelendiğinde x:120 mm ve y:5 mm noktalarındaki tepe sıcaklık değeri süpersonik mermi için daha yüksek olurken, diğer noktalarda birbirine çok yakın olmuştur. En yüksek tepe sıcaklığı, ses altı mermi için 419.45 K iken, süpersonik mermi için 440.09 K idi.

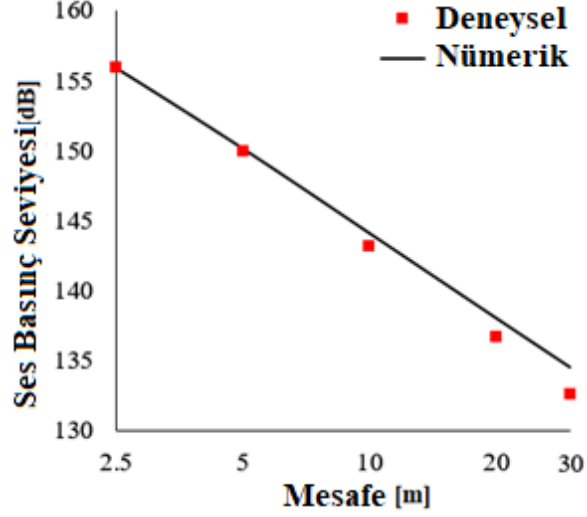


Şekil 22. Farklı noktalarda basınç, hız ve sıcaklığın zamanla değişim grafikleri, a) ses altı mermi durumu, b) ses üstü mermi durumu

4.2. Farklı Sayıda Bastırıcı İçin Elde Edilen Nümerik Sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında, uzak alanda meydana gelen SPL_{peak} değerlerine, bastırıcıdaki bölmeler arasındaki mesafenin ve bölme sayısının etkisi değerlendirilmiştir. Tüm analizler, çalışma boyunca ses altı mermi hızlarında yapıldı. Aeroakustik ve akış alanını bir arada çözebilen akıcı paket program kullanılmıştır. Akustik analiz, Ffowcs Williams ve Hawkings modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu modelden elde edilen akustik basınç sinyalleri, hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak sonradan işlendi.

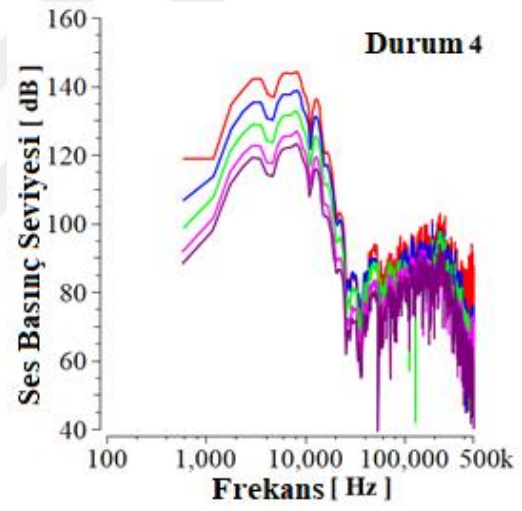
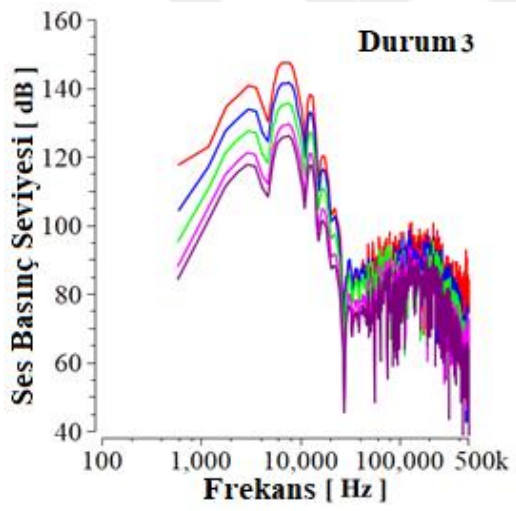
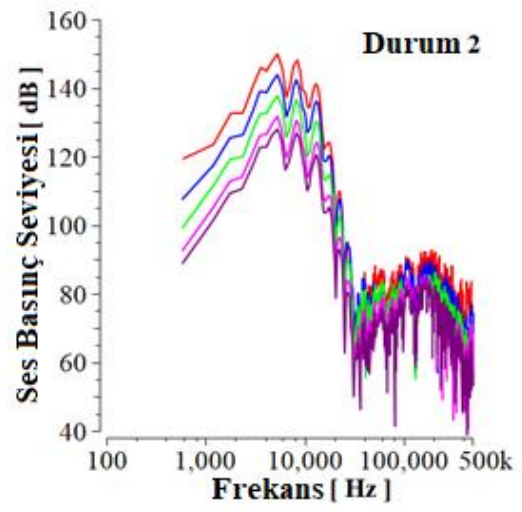
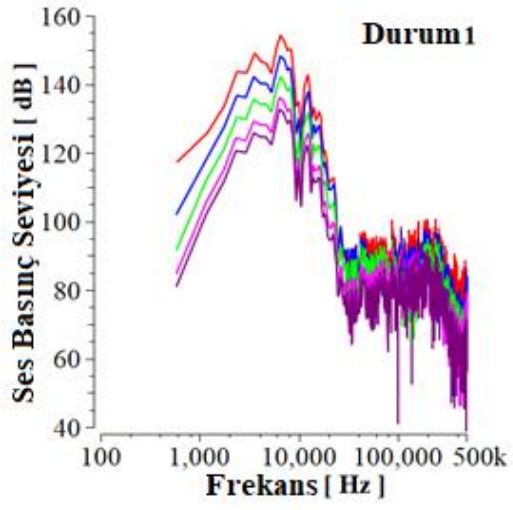
9x19 mm'lik bir merminin bastırıcı olmadan ateşlenmesi sonucunda elde edilen SPL_{peak} değerleri Gürdamar ve diğerlerinin çalışmasından alınan deneysel ölçümlerle karşılaştırılarak sayısal modelin geçerliliği sağlanmıştır (Gürdamar vd. 2022:). Bastırıcısız 9 mm'lik mermi deneysel ve sayısal SPL_{peak} değerlerinin karşılaştırılması Şekil 23'te verilmiştir. Sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında en yüksek hatanın 30 m mesafede % 1.45 değere sahip olduğu bulunmuştur.

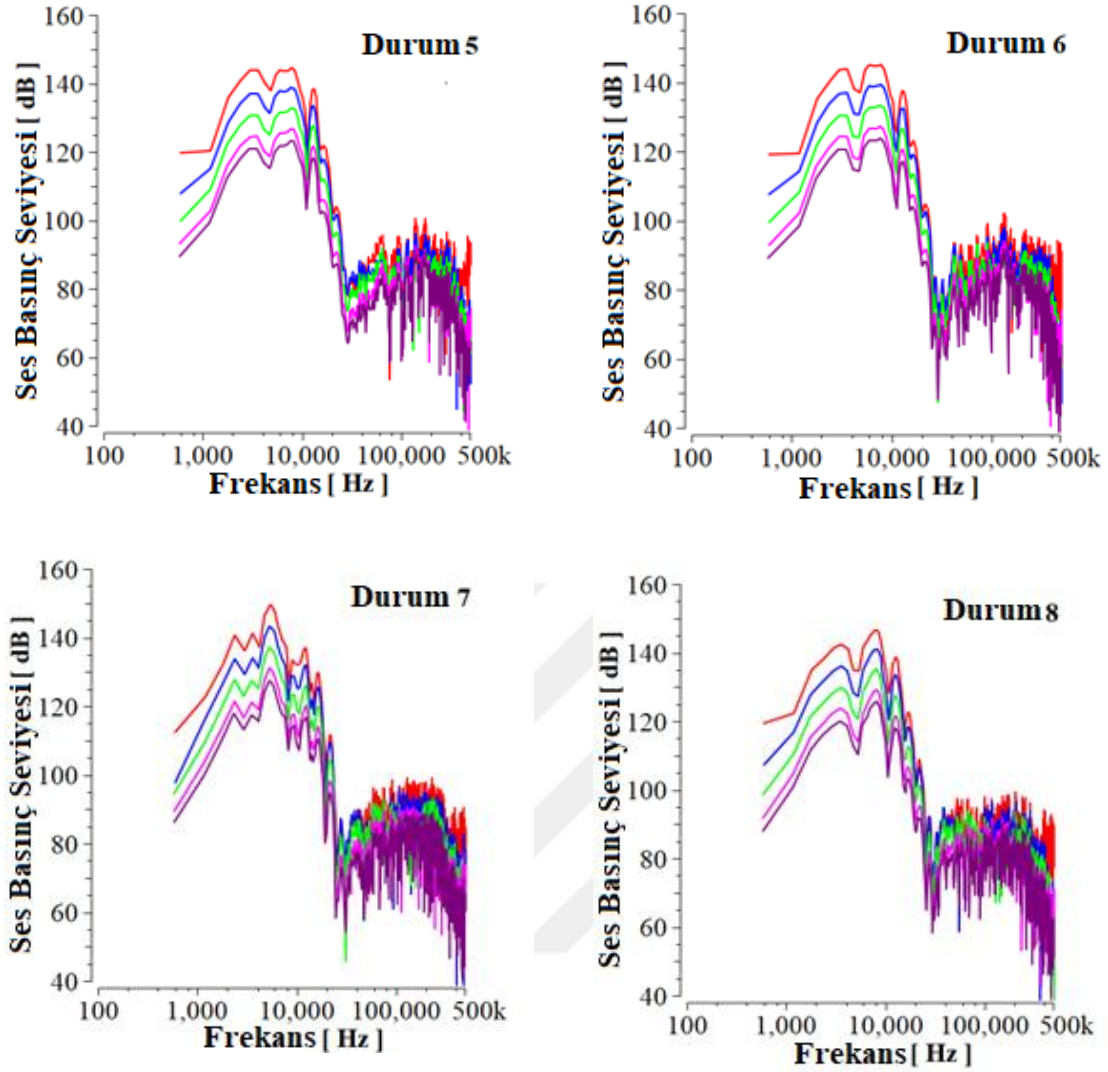


Şekil 23. Bastırcısız 9 mm mermi ile yapılan deneysel ve sayısal SPL_{peak} değerlerinin karşılaştırılması.

Farklı mesafelerde SPL'lerin frekansla değişim grafikleri Şekil 24'te verilmiştir. Tüm grafiklerde SPL, 5000-8000 Hz frekans aralığında zirve yaptıktan sonra hızla düşmüştür. SPL tüm durumlarda 30k-500k Hz frekans aralığında kabaca 60-100 dB aralığında salınım yaptı. Tüm durumlarda alıcıların mesafesi arttıkça SPL_{peak} değerleri azalmıştır. Bastırcıdaki bölme sayısı arttıkça, SPL_{peak}'in elde edildiği frekans aralıklarındaki dalgalı eğilimi azaldı.

—2.5 m —5 m —10 m —20 m —30 m

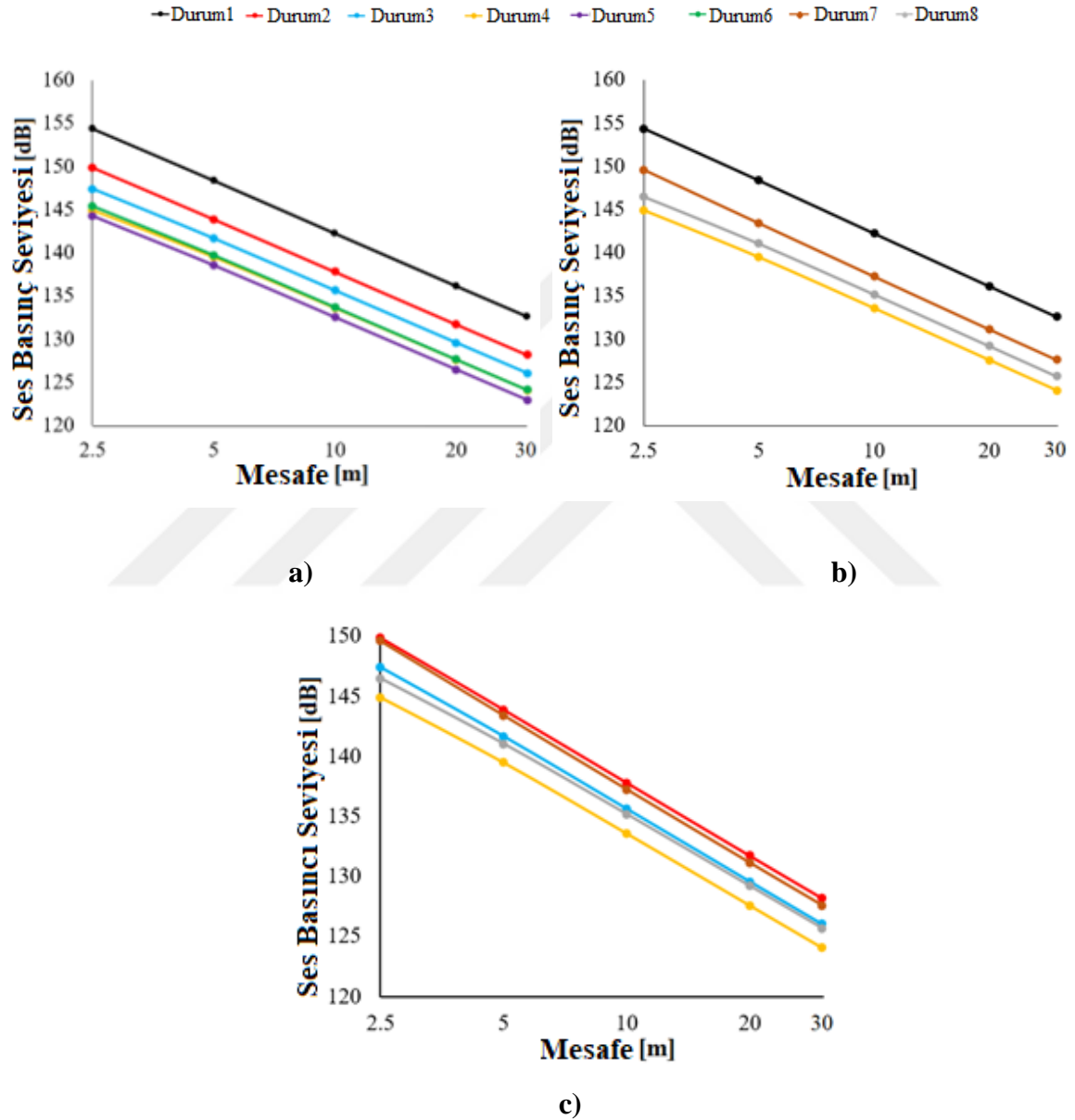




Şekil 24. Farklı mesafelerde SPL'lerin frekansla değişim grafikleri.

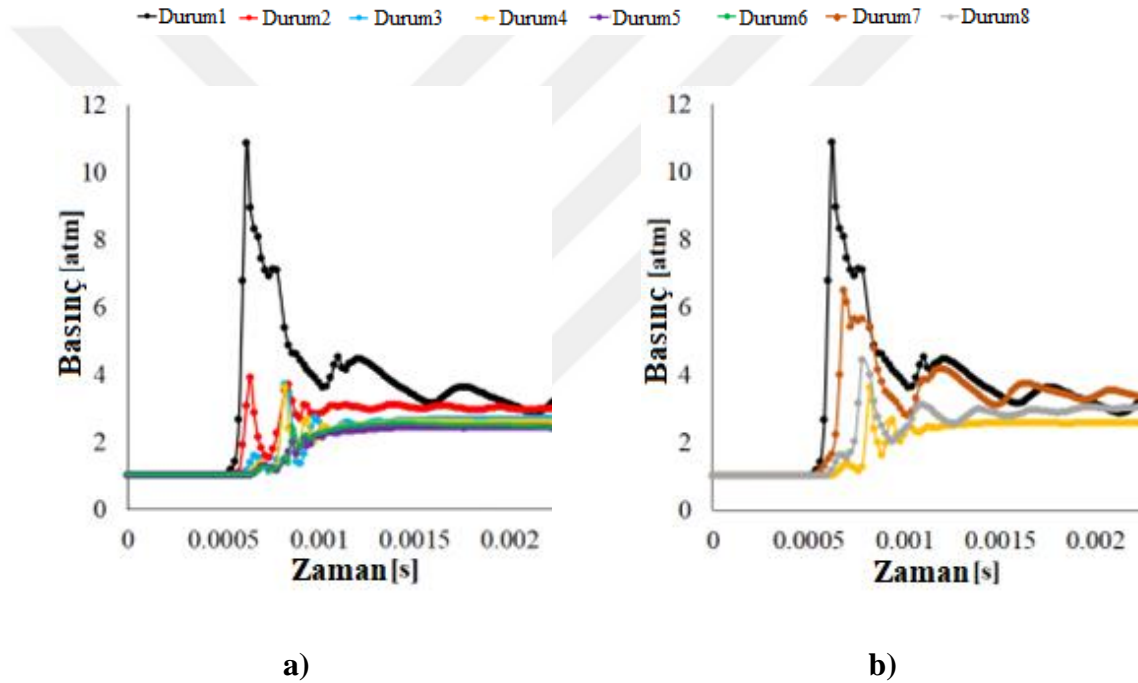
Birinci ve ikinci yapılandırma durumları için farklı mesafelerdeki SPL_{peak} değerlerinin karşılaştırılması Şekil 25'te verilmiştir. Her iki yapılandırma durumunda da namlu çıkışına olan mesafe arttıkça SPL_{peak} değerleri azalmıştır. İlk konfigürasyon durumlarında en yüksek SPL_{peak} değerleri Durum 1'de, en düşük SPL_{peak} değerleri ise Durum 5'te meydana geldi. Durum 1'de 2.5 m, 5 m, 10 m, 20 m ve 30 m'deki SPL_{peak} değerleri sırasıyla 154.3 dB, 148.3 dB, 142.2 dB, 136.1 dB ve 132.5 dB elde edilmiştir. Aynı mesafelerde Durum 5 için SPL_{peak} değerleri sırasıyla 144.2 dB, 138.5 dB, 132.5 dB, 126.5 dB ve 122.9 dB olarak elde edilmiştir. Durum 1 ve 5 karşılaştırıldığında, SPL_{peak} değerleri tüm mesafelerde kabaca 10 dB azaldı. Sonuç olarak, SPL_{peak} değerleri bastırıcıda yedi bölmeye kadar düştü ve bastırıcıya yediden fazla bölme eklendiğinde yükselmeye başladı. İkinci yapılandırma durumlarında, birinci yapılandırma durumlarında olduğu gibi en yüksek

SPL_{peak} değerleri Durum 1'de meydana geldi. Bastırıcıdaki bölme sayısı arttıkça SPL_{peak} değerleri azaldı. Bu kapsamda en düşük SPL_{peak} değerleri 2.5 m, 5 m, 10 m, 20 m ve 30 m'deki SPL_{peak} değerleri sırasıyla 144.9 dB, 139.5 dB, 133.6 dB, 127.5 dB ve 124.0 dB olan Durum 4'te elde edilmiştir. Bastırıcıdaki aynı sayıda bölme için birinci ve ikinci yapılandırma durumları karşılaştırıldığında, ikinci yapılandırma durumlarında bölme düzenlemesi ile biraz daha düşük SPL_{peak} değerleri elde edilmiştir.



Şekil 25. Farklı mesafelerdeki SPL_{peak} değerlerinin karşılaştırılması. a) Birinci yapılandırma durumları, b) ikinci yapılandırma durumları ve c) birinci ve ikinci yapılandırma durumları

Bastırıcı çıkışındaki basıncın zamanla değişim grafikleri Şekil 26'da verilmiştir. Durum 6 hariç tüm durumlarda, bastırıcıdaki bölme sayısı arttıkça tepe basınçları azaldı. Durum 6'da, perdeler arasındaki yetersiz mesafe nedeniyle bastırıcı çıkışındaki tepe basıncı arttı. Ayrıca bastırıcıdaki perde sayısının artması ile tepe basınçların oluşma süreleri de artmıştır. Her iki yapılandırma durumunda da en yüksek tepe basıncı 0.62 ms'de 10.85 atm ile Durum 1'de meydana geldi. İlk yapılandırma durumlarında en düşük tepe basınç Durum 5'te, 1.98 ms'de 2.43 atm olarak elde edilmiştir. İkinci yapılandırma durumlarında, en düşük tepe basıncı 0.82 ms'de 3.61 atm ile Durum 4'te meydana geldi. Mermi hareketinin incelendiği süre boyunca bastırıcı çıkışındaki basınç değerleri tepe noktasına ulaştıktan sonra kabaca 2 atm ile 4 atm arasında salınım yapmaktadır.



Şekil 26. Bastırıcı çıkışındaki basıncın zamana bağlı değişim grafikleri. a) birinci yapılandırma durumları, b) ikinci yapılandırma durumları

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. Sonuç ve Öneriler

Temel olarak bir silahın yok edici etkiye sahip olması gerekir ve yok edici etki artırılmak istendiğinde ses seviyeleri de yükselir ve bu durumun incelenmesi gerekir. Bu çalışma kapsamında 9x19 mm mermi ateşleyen silahta ses altı ve ses üstü mermilerin ses seviyesi üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Daha sonra nümerik bir program yardımıyla farklı model kullanımlarının deneysel sonuçlarla kıyaslaması yapılmıştır. Son olarak, patlama sonucu meydana gelen seslerin düşürülmesi için kullanılan bastırıcılardaki bölme plakalarının sayısının ve mesafesinin akış alanı ve uzak alan gürültü seviyeleri üzerindeki etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Hesaplamalar iki boyutlu ekstenel simetrik, zamana bağlı şartlarda gerçekleştirilmiş ve uzak alan gürültüsünü tahmin etmek için Ffowcs Williams ve Hawkins akustik analogi (FW-H) denklemleri çözülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmadan şu sonuçlara varılmıştır:

- Süpersonik mermiler, tüm ölçüm konumlarında ses altı mermilerden daha yüksek tepe ses basıncı seviyelerine sahiptir.
- Pik ses basıncı seviyeleri, namlu çıkışından uzaklaştıkça azaldı.
- En yüksek SPL değerleri her iki mermi ile yaklaşık 0,2 m mesafeden yapılan atışta, süpersonik mermide 178 dB, ses altı mermide 176 dB olarak ölçüldü.
- Ses altı ve ses üstü mermiler namlu ile y ekseni yönünde aynı seviyede birbirine yakın sonuçlar verir.
- Artan mesafe ile, süpersonik merminin y ekseni yönünde ses altı mermiye göre nispeten daha yüksek sonuçlara sahip olduğu görülmektedir.
- Özellikle yaklaşık 0,8 m sonra her iki mermiden elde edilen sonuçlar arasındaki farklar y ekseni yönünde artmaktadır.
- Silah namlusu ekseni ile aynı seviyede ses altı mermi hızı 317 m/s ve süpersonik mermi hızı 382 m/s idi.

Deneysel ve nümerik sonuçlar kıyaslandığında şu sonuca varılmıştır:

- Deneysel çalışmada namlu çıkışındaki mermi hızları ses altı mermi için 317 m/s, süpersonik mermi için 382 m/s olarak ölçülmüştür. Sayısal modelde namlu çıkışındaki ses altı ve ses üstü mermi hızları sırasıyla 301 m/s ve 375 m/s olarak hesaplanmıştır.

- Deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında en iyi SPL_{peak} sonuçları ses altı mermi için RNG k- ϵ türbülans modeli ve süpersonik mermi için Spalart-Allmaras türbülans modeli ile elde edilmiştir.

- Ses altı mermi için 1 m, 10 m ve 30 m mesafelerdeki SPL_{peak} değerleri deneysel olarak 164.8 dB, 143.1 dB, 132.6 dB olarak ölçülmüş ve RNG k- ϵ türbülans modeli ile sırasıyla 164.8 dB, 142.9 dB 133.2 dB olarak sayısal olarak tahmin edilmiştir. Öte yandan, süpersonik mermi için 1 m, 10 m ve 30 m mesafelerdeki tepe ses basınçları deneysel olarak 166.8 dB, 152.9 dB, 143.3 dB olarak ölçülmüş ve Spalart-Allmaras türbülans modeli ile sayısal olarak sırasıyla 166.8 dB, 150.6 dB ve 141.0 dB olarak hesaplanmıştır.

- SPL_{peak} değerleri en iyi sonuçların alındığı türbülans modelleri ile değerlendirildiğinde en yüksek fark %0,52 ile 5 m mesafede RNG k- ϵ türbülans modelinde görülmüştür. Spalart-Allmaras türbülans modelinde ise en yüksek fark 2.5 m mesafede %2,12 olarak gerçekleşmiştir.

- Standart k- ϵ ve RNG k- ϵ türbülans modellerindeki SPL_{peak} değerleri, diğer türbülans modellerine göre daha düşük frekanslarda oluşmuştur.

Bastırıcı kullanımı durumunda elde edilen nümerik sonuçlar değerlendirildiğinde ise şu sonuçlara varılmıştır:

- Merminin namludan çıkış hızı deneysel olarak 317 m/s olarak ölçülmüş ve 304 m/s civarında sayısal olarak hesaplanmıştır.

- Tüm durumlar arasında en yüksek ve en düşük SPL_{peak} değerleri sırasıyla Durum 1 ve 5'te elde edildi. Durum 1'de, 2.5 m, 5 m, 10 m, 20 m ve 30 m mesafelerdeki SPL_{peak} değerleri sırasıyla 154.3 dB, 148.3 dB, 142.2 dB, 136.1 dB ve 132.5 dB'dir. Durum 5 için aynı mesafelerdeki SPL_{peak} değerleri sırasıyla 144.2 dB, 138.5 dB, 132.5 dB, 126.5 dB ve 122.9 dB elde edilmiştir.

- Bastırıcısız ve bölmesiz bastırıcılı durumlar benzer sonuçlar göstermiştir. Bununla birlikte, bölmesiz bastırıcı kullanmak, bastırıcısız kullanmaya göre nispeten daha az gürültüye oluşumuna sebep olmuştur.

- Bastırıcısız durumda SPL değeri 2.5 m mesafede 156.1 dB olurken, yedi bölmeli bastırıcı durumunda bu değer yaklaşık %6 düşmüş ve 144.2 dB değerine ulaşılmıştır.

- Yapılandırma durumu 1 ve 2 aynı sayıda bölme için karşılaştırıldığında, yapılandırma durumu 2'deki bölme düzenlemesi SPL_{peak} değerlerini biraz azaltmıştır.

- Pik basınçlar açısından ilk yapılandırma durumları değerlendirildiğinde, optimum bölme sayısı yedi olarak belirlenmiştir. Yedi bölmeden sonra tepe basıncı ve dolayısıyla SPL_{peak} değerleri artmıştır.

Gelecekteki çalışmalarda, ses seviyesi değerlerini düşürmek için farklı geometrilere ve özellikler sahip baskılayıcılar analiz edilebilir. Bu çalışma, ateşli silahlarda akış ve akustik analizlerin birlikte yapılması konusunda literatüre bir yöntem kazandırmıştır ve ateşli silahların imalatı konusunda araştırmacılara ve üreticilere fikir vermesi açısından değerlidir.

KAYNAKÇA

- [1] Rehber Ansiklopedisi kitap.hakikatkitabevi.com
<https://web.archive.org/web/20070521021749/http://kitap.hakikatkitabevi.com/cgi-bin/cgi.exe/rehber/query%3D!28limid%2B!7C%2Bbalistik%2B/doc/%7B@10883%7D>
(Erişim tarihi: 05.02.23)
- [2] Wikipedia https://tr.wikipedia.org/wiki/Ses_h%C4%B1z%C4%B1
(Erişim tarihi: 05.02.23)
- [3] Makine Kimya Enstitüsü Web sitesi
[https://urunler.mke.gov.tr/Urunler/9-mm-x-19-Tabanca-Fi%C5%9Fe%C4%9Fi-Parabellum\)/30/265](https://urunler.mke.gov.tr/Urunler/9-mm-x-19-Tabanca-Fi%C5%9Fe%C4%9Fi-Parabellum)/30/265) (Erişim tarihi: 05.02.23)
- [4] Turaç firması Web sitesi <https://turac.com.tr/urun/sterling-9x19-mm-subsonic-fmj-tabanca-fisegi/> (Erişim tarihi: 05.02.23)
- [5] Özbektaş Ş, Sungur B, Mermi Hareketinin Modellenmesinde Kullanılan Noble-Abel ve İdeal Gaz Denklemlerinin Akış Alanına Etkisinin Nümerik İncelenmesi: Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 28, S. 1093-1101, Kasım 2021
- [6] Susantez Ç, Vallier-Heydenreich Metodu ile Silahların Namlu İç Balistiğinin İncelenmesi: Savunma Bilimleri Dergisi The Journal of Defense Sciences Mayıs / May 2020, Cilt/Volume 19/1, Sayı/Issue 37. ISSN (Basılı): 1303-6831 ISSN (Online): 2148-1776
- [7] Bozdemir M, Havalı Silah Sistemleri İçin Tek Parçalı Susturucu Tasarımı: Savunma Bilimleri Dergisi The Journal of Defense Sciences Mayıs/May 2019, Cilt/Volume 18, Sayı/Issue 1. ISSN (Basılı) : 1303-6831 ISSN (Online): 2148-1776
- [8] Işık H, Namlu İçerisindeki Balistik Parametrelerin Modellenmesi: Savunma Bilimleri Dergisi The Journal of Defense Sciences Kasım/November 2016, Cilt/Volume 15, Sayı/Issue 2, 157-177. ISSN (Basılı) : 1303-6831 ISSN (Online): 2148-1776
- [9] Akçay M, Yükselen M, Namlu Malzemesi Isıl Karakteristikleri Homojen Olmayan Silah Namlularının İç Balistik Çevrim Sırasında Zamana Bağlı Isıl İncelenmesi: Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 34, 2, 75-81, 2014 J. of Thermal Science and Technology ©2014 TIBTD Printed in Turkey ISSN 1300-3615
- [10] Özgüder O, Özbay M, Adin H Namlu İçi Balistik Davranışın Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi: Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Cilt: 8, 3, 3-9 Temmuz 2017
- [11] Zhuo, C., Feng, F., Wu, X., Liu, Q., & Ma, H. (2014). Numerical simulation of the muzzle flows with base bleed projectile based on dynamic overlapped grids. *Computers & Fluids*, 105, 307–320. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2014.08.006>
- [12] Xavier, S. (2011). Numerical Analysis of Gun Barrel Pressure Blast Using Dynamic Mesh Adaption.

[13] Luo, Y., Xu, D., & Li, H. (2020). Analysis of the Dynamic Characteristics of the Muzzle Flow Field and Investigation of the Influence of Projectile Nose Shape. *Applied Sciences*, Vol. 10. <https://doi.org/10.3390/app10041468>

[14] Jiang, Z. (2003). Wave dynamic processes induced by a supersonic projectile discharging from a shock tube. *Physics of Fluids*, 15(6), 1665–1675. <https://doi.org/10.1063/1.1566752>

[15] Jiang, Z., Huang, Y., & Takayama, K. (2004). Shocked flows induced by supersonic projectiles moving in tubes. *Computers & Fluids*, 33(7), 953–966. <https://doi.org/https://>

[16], M. Keith Hudson, Chris Luchini, J. Keith Clutter, Wei Shyy (2001). The Evaluation of Computational Fluid Dynamics Methods for Design of Muzzle Blast Suppressors for Firearms

[17] Zhuo, C., Feng, F., Wu, X., Liu, Q., & Ma, H. (2014). Numerical simulation of the muzzle flows with base bleed projectile based on dynamic overlapped grids. *Computers & Fluids*, 105, 307–320. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2014.08.006>

[18] Le, G., Ma, D., Feng, Y., Shi, G., Zhu, Z., & Song, X. (2004). Numerical simulation of muzzle blast flowfields of large caliber guns. 25, 19–22.

[19] Türk Ceza Kanunu(2014), Kanun No:5237 Madde 6. <https://www.tbmm.gov.tr/kanunlar/k5237.html>

[20] Kara barut <https://tr.wikipedia.org/wiki/Karabarut>

[21] L. Pater, J. Shea, Techniques for Reducing Gun Blast Noise Levels: An Experimental Study, (1981) 61.

[22] X.Y. Zhao, K.D. Zhou, L. He, Y. Lu, J. Wang, Q. Zheng, Numerical Simulation and Experiment on Impulse Noise in a Small Caliber Rifle with Muzzle Brake, *Shock Vib.* 2019 (2019) 5938034. <https://doi.org/10.1155/2019/5938034>.

[23] S.-W. Lo, C.-H. Tai, J.-T. Teng, Axial-Symmetry Numerical Approaches for Noise Predicting and Attenuating of Rifle Shooting with Suppressors, *J. Appl. Math.* 2011 (2011) 961457. <https://doi.org/10.1155/2011/961457>.

[24] Y. Luo, D. Xu, H. Li, Analysis of the Dynamic Characteristics of the Muzzle Flow Field and Investigation of the Influence of Projectile Nose Shape, *Appl. Sci.* . 10 (2020). <https://doi.org/10.3390/app10041468>.

[25] M. Czyżewska, R. Trębiński, Wpływ urządzenia wylotowego lufy na przyrost prędkości pocisku w okresie balistyki przejściowej, *Probl. Mechatronics. Armament, Aviat. Saf. Eng.* 6 (2015) 87–98. <https://doi.org/10.5604/20815891.1157779>.

[26] Z. Jiang, Wave dynamic processes induced by a supersonic projectile discharging from a shock tube, *Phys. Fluids.* 15 (2003) 1665–1675. <https://doi.org/10.1063/1.1566752>.

- [27] Y. Kikuchi, N. Ohnishi, K. Ohtani, Experimental demonstration of bow-shock instability and its numerical analysis, *Shock Waves*. 27 (2017) 423–430. <https://doi.org/10.1007/s00193-016-0669-5>.
- [28] K.-J. Kang, S.-H. Ko, D.-S. Lee, A study on impulsive sound attenuation for a high-pressure blast flowfield, *J. Mech. Sci. Technol.* 22 (2008) 190–200. <https://doi.org/10.1007/s12206-007-1023-8>.
- [29] S. Xavier, Numerical Analysis of Gun Barrel Pressure Blast Using Dynamic Mesh Adaption, in: 2011.
- [30] J. Huerta-Torres, U. Silva-Rivera, V. Verduzco-Cedeño, L. Flores-Herrera, J. Sandoval-Pineda, Numerical and Experimental Analysis of Sound Suppressor for a 5.56 mm Calibre, *Def. Sci. J.* 71 (2021). <https://doi.org/10.14429/dsj.71.14957>.
- [31] M. Hudson, C. Luchini, K. Clutter, W. Shyy, CFD approach to firearms sound suppressor design, (1996). <https://doi.org/10.2514/6.1996-3020>.
- [32] R. Pääkkönen, Environmental noise reduction means of weapons, *J. Acoust. Soc. Am.* 123 (2008) 3822. <https://doi.org/10.1121/1.2935577>.
- [33] H. Rehman, H. Chung, T. Joung, A. Suwono, H. Jeong, CFD analysis of sound pressure in tank gun muzzle silencer, *J. Cent. South Univ. Technol.* 18 (2011) 2015–2020. <https://doi.org/10.1007/s11771-011-0936-7>.
- [34] W. Murphy, G. Flamme, A. Campbell, E. Zechmann, S. Tasko, J. Lankford, D. Meinke, D. Finan, M. Stewart, The reduction of gunshot noise and auditory risk through the use of firearm suppressors and low-velocity ammunition, *Int. J. Audiol.* 57 (2018). <https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1407459>.
- [35] E. Lobarinas, R. Scott, C. Spankovich, C. Le Prell, Differential effects of suppressors on hazardous sound pressure levels generated by AR-15 rifles: Considerations for recreational shooters, law enforcement, and the military, *Int. J. Audiol.* 55 (2016) 1–13. <https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1122241>.
- [36] A. Nakashima, A comparison of metrics for impulse noise exposure Analysis of noise data from small calibre weapons [DRDC-RDDC-2015-R243], 2015.
- [37] J. Bin, M. Kim, S. Lee, A numerical study on the generation of impulsive noise by complex flows discharging from a muzzle, *Int. J. Numer. Methods Eng.* 75 (2008) 964–991. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/nme.2291>.
- [38] I.C. Lee, D.-J. Lee, S.H. Ko, D.S. Lee, G.J. Kang, Numerical Analysis of a Blast Wave Using CFD-CAA Hybrid Method, in: 12th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conf. (27th AIAA Aeroacoustics Conf., American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006. <https://doi.org/doi:10.2514/6.2006-2701>.
- [39] Y. Wang, X.-H. Jiang, X.-P. Yang, Z.-Q. Guo, Numerical simulation on jet noise induced by complex flows discharging from small caliber muzzle, *Baozha Yu Chongji/Explosion Shock Waves*. 34 (2014) 508–512. [https://doi.org/10.11883/1001-1455\(2014\)04-0508-05](https://doi.org/10.11883/1001-1455(2014)04-0508-05).

[40] X. Zhao, Y. Lu, A Comprehensive Performance Evaluation Method Targeting Efficiency and Noise for Muzzle Brakes Based on Numerical Simulation, *Energies* . 15 (2022). <https://doi.org/10.3390/en15103576>.

[41] O. Gurdamar, S. Ozbektas, B. Sungur, Experimental Investigation of the Projectile type on Sound Pressure Levels Fired with 9 mm Gun, *Khazar J. Sci. Technol.* 6 (2022) 96–104.

[42] A. Inc., *Ansys Fluent User's Guide, Ansys Fluent Tutorial Guide*, Canonsburg, PA, 2017.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur GÜRDAMAR

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2005, Denizli Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği (2011 Mezun)
- 2022, Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans
- 2012,2016 Samsun Yurt Savunma Sanayi, Arge Mühendisi
- 2016, 2021 Samsun Yurt Savunma Sanayi, Arge Uzman Mühendisi
- 2021, 2023 Samsun Yurt Savunma Sanayi, Ürün Geliştirme ve Proje Şefi
- 2023, Samsun Yurt Savunma Sanayi, Orta Kalibre Silah Sistemleri Kule Yöneticisi

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Patentler: Window Mounting Adapter For M134 Minigun Type Guns
- Yayınlar: Gurdamar, O, Ozbektaş, Ş, Sungur, B,(2022). Experimental Investigation of the Projectile type on Sound Pressure, Khazar Journal Of Science And Technology (KJSAT) Vol. 6, №1, 2022 ISSN 2520-6133