

MERMİ NAMLU ÇIKIŞ HIZI VE ENERJİSİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU

Dilara SÜRMELE¹, Süleyman NEŞELİ²

¹Selçuk Üniversitesi, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Konya Türkiye

²Selçuk Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

surmelifilara985@gmail.com (ORCID 0000-0003-1199-5341)

sneseli@selcuk.edu.tr (ORCID 0000-0003-1553-581X)

Özet

Ateşli silahlarda merminin namluyu terk ediş hızını ve merminin enerjisini etkileyen birçok parametre mevcuttur. İç balistik enerjisinin sebep olduğu mermi hareketinin istenilen kararlılık ve performansta gerçekleşmesi, namlu twist/helis (yiv-set) oranına, namlu boyuna ve mermi çekirdeğinin ağırlığına doğrudan bağlıdır. Bu maksatla yapılan çalışmada, kalite karakteristiğini (merminin namluyu terk ediş hızı ve merminin kinetik enerjisi) etkileyen parametrelerin en ideal kombinasyonunun tespiti amaçlanmıştır. Lapua Ballistics yazılımı vasıtasıyla .308 Winchester B466 kalibre 9.72 gram/150 grain, .308 Winchester B476 kalibre 11 gram/170 grain ve .308 Winchester B416 kalibre 13 gram/200 grain mermileri kullanılarak namlu boyu, namlu çapı ve çekirdek ağırlığı giriş parametrelerinin üçer seviyelerinde $L_9(3^{13})$ Taguchi ortogonal tasarımına bağlı sanal atışlar gerçekleştirilmiştir. 1000 m mesafede yapılan atış simülasyonlarından elde edilen mermi çıkış hızı ve mermi çıkış enerjisi değerleri için Taguchi metodu kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Kullanılan giriş parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkililik seviyelerinin tespiti varyans analizi (ANOVA) ile yapılmıştır. Sonuçlar içerisinde hem merminin namluyu terk ediş hızını, hem de merminin enerjisini etkileyen en etkili parametrenin sırasıyla %70.07 ve %93.73 oranlarıyla çekirdek ağırlığı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ANOVA, Mermi Çıkış Hızı, Mermi Çıkış Enerjisi, Taguchi Analizi

OPTIMIZATION OF PARAMETERS AFFECTING THE BULLET MUZZLE VELOCITY AND ENERGY

Abstract

There are many parameters in firearms that affect the speed at which the bullet leaves the barrel and the energy of the bullet. The realization of the bullet movement caused by the internal ballistic energy at the desired stability and performance is directly dependent on the barrel rifling ratio, barrel length and bullet weight. In this study, it is aimed to determine the ideal combination of parameters affecting the quality characteristic (speed of bullet leaving the barrel and energy of the bullet). Using the .308 Winchester B466 caliber 9.72 gram/150 grain, .308 Winchester B476 caliber 11 gram/170 grain and .308 Winchester B416 caliber 13 gram/200 grain bullets through Lapua Ballistics software, barrel length, barrel diameter and core weight are at three levels each of the input parameters. Virtual shots were performed based on the $L_9(3^{13})$ Taguchi orthogonal design. For muzzle velocity and muzzle energy values obtained from firing simulations at 1000 m distance, analysis was performed using Taguchi method. The determination of the effectiveness levels of the input parameters used on the results was made by analysis of variance (ANOVA). In the results, it was observed that the most effective parameter affecting both the muzzle velocity and muzzle energy of the bullet was the core weight with 70.07% and 93.73%, respectively.

Keywords: ANOVA, Muzzle Velocity, Muzzle Energy, Taguchi Analysis

1. Giriş

Ateşli silahlardaki mermi hareketini etkileyen en önemli parametreler namlu boyu, twist/helis (yiv-set) oranı ve çekirdek ağırlığı olarak sıralanabilir. Bu parametrelere bağlı olarak merminin namlu sonrası hareketi önceden tahmin edilebilir. Merminin yüksek hızlardaki hareketinin oluşması, muazzam miktarda başlangıç kuvvetinin var olmasıyla mümkündür. Silah içinde eş çalışan birçok bileşenin performansları, patlama enerjisinden kaynaklanan kuvvetlerin verimli kullanımına bağlıdır.

Namlu bir silahın ana elemanıdır. Prensip olarak bir ucu açık diğer ucu kapalı, değişken basınç ve sıcaklığa maruz bir boru olarak düşünülebilir. Namlu, barutun

yerleştirilmesi ve yanması için gerekli yanma odası hacmine, merminin dönerek stabilize kazanması için gerekli yiv-set'lere ve barut gazı enerjisinin mermiye aktarıldığı bir silindirik boya sahiptir [1, 2]. Mermiyi yataklama özelliğinin en etkin şekilde sağlanabilmesi için en ideal radyal çapa sahip olan mühimmatın güvenle ateşlenebildiği, namlu malzemesinin kesiti boyunca her bir noktasında ortaya çıkan basınç ve sıcaklık değişimlerine uyumlu, arzu edilen kalite seviyelerinde olan bir namlunun tasarımı, halen yoğun araştırma yapılan konular arasındadır.

Namlu içerisindeki yiv-setler, mermiye dönme hareketi verecek aerodinamik etkinin oluşturulması ve dolayısıyla ilk hareket kuvvetinden en üst seviyede yararlanılması aşamasında askeri maksatlım kullanılacak namluların olmazsa olmazlarıdır. Ateşlenen bir merminin namludayken enerji kaybının önlenmesi ve merminin istenilen dönme açısı ve hızıyla istenilen kararlılıkta hedefe etkili bir şekilde ulaşabilmesi, namlu boyunca uzanan helisel oluklar sayesinde olur [3]. Merminin ilerlemesi gereken bir sarmal doğrultu boyunca öngörülen helis hareketinde belirli oranlarda oluşturulmuş helislerdeki optimum dönme açısının oluşturulması günümüzde halen tartışılan bir sorundur. Bolton-King [4] tarafından yapılan çalışmada, silah namlusunda yararlanılan helis eğrisi ve mermi hareketi arasındaki ilişki araştırıldığında ise ateşlenen merminin dönme hareketine göre namlu iç cidarında dönen bandın gerilimine bağlı merminin ideal twist hareketi için takip etmesi gereken yörüngeye ait hareket analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre varılan sonuçlardan en ilgi çekici olanı, her ateşli silah üreticisinin takip etmesi gereken tolerans bandına göre üretim süreçlerinin disipline edilmesi gerekliliğidir. Bu tolerans bandının işlevinin kullanılan yiv açma yöntemlerine göre farklılık göstereceği ifade edilmiştir.

Baran [5] tarafından yapılan çalışmada, ateşli silah modeli ve sınıf özelliklerine göre üretim yapan birçok üreticinin ortak görüşü, imalat kalitesine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği yönündedir. Bir namluda üretilen bileşenlerin tutarlılığı ve güvenliği esas alınarak, "otlama" yaşanmadan tekrar edilen basınç ve gerilmelere dayanabilmesi için denemelerle neticeye ulaşıldığı ifade edilmiştir. Bu yüzden üreticiler genelde düşük maliyetlere ulaşabilmek için honlama ve parlatma süreçlerini kullanmazlar [4].

Mühimmatın bir bileşeni olan mermi çekirdeği ise hedef üzerinde yıkıcı etkiyi oluşturmak üzere, namlu gerisinde bulunan ateşleme mekanizması içerisinde yer alan

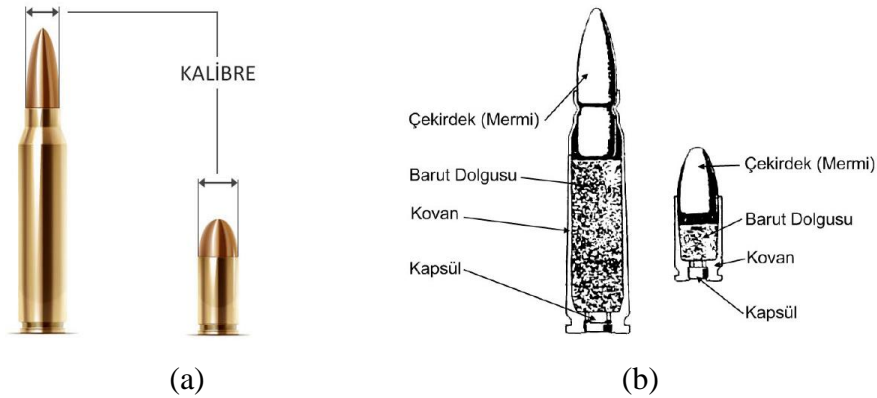
mühimmattaki barutun ateşlenmesiyle ortaya çıkan barut enerjisini taşır [6, 7]. Silah üreticilerinin daha verimli enerji kontrolü sağlayarak istenilen yörünge, süre ve menzilde hedefe ulaştıran muharebe sistem taleplerine nasıl cevap verileceği üzerine akademik ve ilgili sektör uzmanları halen yoğun çaba sarf etmektedirler.

Mermi barutunun ateşlenmesiyle başlayan, balistik biliminde yoğun olarak kullanılan stokastik yaklaşımlar namlu çıkış hızı, namluyu terk eden mühimmatın başlangıçtaki yalpalaması ve uçuş davranışı vb. gibi etkileyen çok sayıda parametreye bağlıdır. Her bir parametrenin etkileşimli etkisini anlamak gerektiğinde, çözüm bekleyen sorunun ne denli karmaşık olduğu anlaşılır. Dolayısıyla balistik bilimindeki her davranışın stokastik yaklaşımlarla daha anlaşılır hale geldiği varsayılır [8].

Yapılan bu çalışmada, iç balistik enerjisinin tetiklediği merminin kullanılan parametrelere bağlı en ideal namlu çıkış hızı ve enerjisinin tespiti amaçlanmıştır. Bu maksatla istatistiki yaklaşım kullanılmış ve ideal objektif fonksiyonu için parametre kombinasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmayla varılacak sonuçlar, hafif silah sistemlerine ait namlular için uygulanabilir çıktılar şeklinde olacaktır.

2. Namlu Çıkış Hızı

Namlu çıkış hızı, bir merminin silah namlusunun ucunu (namlu ağzını) terk ettiği andaki hızıdır [9]. Şekil 1’de askeri maksatlı kullanılan mermilerin tipik görünüşü ve kesit detayları verilmiştir.

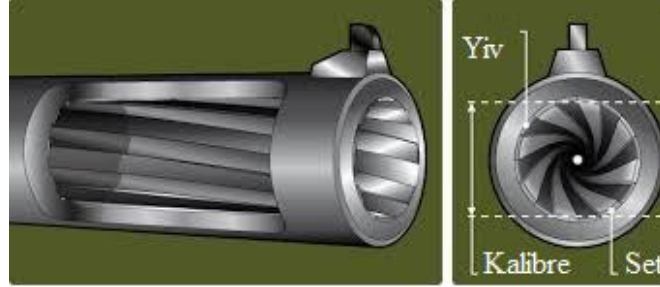


Şekil 1. Uç radyüsü çeşitliliğini ifade eden mermilerin

a) Tipik görüntüsü [10]

b) Kesit görüntüsü [7]

Yivli namluların içlerinde mermiyi döndüren helisel kanallar vardır, böylece mermi uçuş sırasında stabil kalır. Şekil 2’de yiv, set ve kalibre ifadelerini açıklayan namlu kesiti verilmiştir.



Şekil 2. Namlu boyunca uzanan yiv-set görüntüsü ve kalibre ölçüsü [11]

Daha uzun namlular, mermiyi namludan çıkmadan önce dönme stabilitesinin artmasına neden olur. Ayrıca bir namlu ne kadar uzun olursa, merminin namluyu terk ediş hızı o kadar yüksek olacaktır. Yani hız, namlu uzunluğu ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, daha uzun namlular silahın genel hassasiyetini artırır [12]. Herhangi bir kalibre, ağırlık ve balistik katsayısı değerindeki bir mermi için yüksek namlu çıkış hızı, dış balistik performansın tüm ölçümlerini etkiler. Buna paralel olarak aşırı namlu çıkış hızının atış hassasiyeti, doğruluğu ve güvenliği üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini dikkate alınmalıdır [13].

Yunancada zaman anlamına gelen *Chronos* ve yazmak anlamına gelen *Graph* kelimelerinin birleşiminden oluşan “kronograf” ile hareketli bir cismin zamana göre konum değişimine bağlı ortalama hızı hesaplanabilir. Merminin namluyu terk ediş sırasındaki hızı da tipik olarak bir kronograf kullanılarak, merminin saniyedeki ilerlemesi (m/s) şeklinde ölçülür. Ortalama namlu çıkış hızını doğru olarak bilmek için atış sistemine ait namlu çıkış hızındaki değişimin bilinmesi ve sınırlandırılması gerekir. Şekil 3 ile halen yaygın olarak kullanılan kronograflara ait görseller verilmiştir.

Namlu çıkış hızındaki varyasyon veya belirsizlik tipik olarak istatistiksel olarak standart sapma, aşırı yayılma (Extreme Spread) ve namlu çıkışı kinetik enerjisi gibi üç parametre ile ölçülür [13].



Şekil 3. Optik kronograf örneği

3. Namlu Çıkış Enerjisi

Namlu çıkış enerjisi veya merminin kinetik enerjisi, ilk patlama sonrası merminin üzerinde bulunan enerjisinin namlu içerisindeki kayıplardan sonraki taşıdığı enerji miktarıdır. Bu enerji yalın olarak mermi kütlesiyle, mermi hızının karesinin çarpımıyla orantılıdır. Dolayısıyla merminin hızı, namlu çıkış enerjisinin daha önemli bir belirleyicisidir. Karşılaştırma amacıyla aerodinamik ve yerçekimi gibi faktörler dikkate alınmadan, namlu çıkış enerjisi, belirli bir ateşli silah veya fişegin yıkıcı potansiyelinin kaba bir göstergesi olarak kullanılır. Mermi ne kadar ağır ve özellikle de ne kadar hızlı hareket ederse, namlu enerjisi o kadar yüksek ve daha fazla zarar verici olur. Buna mukabil mermiler hafif olsalar dahi ölümcül olmalarının nedeni, sahip oldukları momentum kuvvetinden kazanmış oldukları yüksek hızlardır. Kinetik enerji özellikle atıcının, merminin hedef üzerindeki hasar etkisine (öldürmek, yaralamak gibi) ve istenilen menzil hedefinin tutturulmasının önemli olduğu belirli uygulamalar için dikkate alınır [13]. Merminin namluyu terk ediş enerjisinin analitik tespitinde, mermiye yataklık yapan namlunun uzunluğuna bağlı olarak gerçekleşecek olan hız değişkenliği dikkate alınmalıdır [14, 15].

4. Deneysel Çalışma

Bir ürün veya sürecin kalitesini istatistiki olarak iyileştirmek için kaliteyi doğrudan etkileyen birçok parametre ve etkileşimlerinin ya da bu parametrelerin etkililik seviyelerinin bilinmesi gerekir. Bu maksatla bireysel öngörü, tecrübe ve deneylerin değerlendirmeleri yapılabilir. Denenmiş ve doğrulanmış analizlerde

kullanılan parametrelerin etkililik seviyelerini artırmak/azaltmak adına referans sağlayarak, uygun çözüme ulaşabilmekteki maksat, zaman ve maliyetten tasarruf sağlamaktadır.

Askeri maksatlı kullanılan silahlarda mermi çıkış hızı ve terminal enerjisinin tespitinde etkili olan optimal parametre kombinasyonunun belirlenmesi namı boyuna, yiv-set oranına, mermi çekirdek ağırlığına, silahın kullanım amacı ve daha birçok kritere bağlıdır. Literatürde bu konuda yapılan çalışma olmamasına ilaveten çalışılan tez konumuz parametrik optimizasyon içermektedir. Optimizasyon için gerekli parametre tasarımı Taguchi ortogonal dizinler kullanılarak yapılmıştır. Buna göre deneysel kombinasyon $L_9(3^{13})$ tasarımına bağlı olup yaklaşık 1.594.000 adet deneyi temsil eden toplamda 9 adet deney ihtiva etmektedir. Yapılan çalışmada kullanılan giriş parametreleri namı boyu, yiv-set oranı ve çekirdek ağırlığı olmak üzere üçer seviyeli üç parametre şeklinde uzman görüşler yardımıyla seçilmiştir. Giriş parametrelerine bağlı çıkış parametreleri ise, ortalama değer şeklinde namı çıkış hızı (MVort) ve mermi terminal enerjisi (Eort) olarak yine uzman görüşler ışığında seçilmiştir. Tepki olarak da adlandırılan çıkış verilerinin elde edilmesi süreci Lapua Ballistics programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Yazılımda her bir atış denemesi için menzil 1000 m ve hava sıcaklığı 21 °C olarak alınmıştır. Elde edilen veriler Minitab istatistik yazılımı kullanılarak Taguchi metodu ile analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan giriş parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkililik seviyelerinin tespiti için varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiş ve sonuçlar tablo içerisinde % seviyeler şeklinde sunulmuştur. Analizin geçerliliği R^2 değerine göre kararlaştırılmıştır.

4.1. Deneysel Tasarım

Gerçekte fiziksel deney şartları göz önüne alındığında sistemi etkileyen birçok faktör vardır. Ancak Latin karesi dizilişi kullanılarak tüm faktör ve seviyelerinin etkisini temsil eden indirgenmiş faktör sayılarına bağlı az sayıda deney yapılmasına imkan sağlanır. Böylece zaman ve maliyetlerden son derece büyük tasarruf sağlanmış olur. Bu çalışmada kullanılan parametre ve seviyeleri Tablo 1’de verilmiştir. Verilen tablo belirlenen çekirdek ağırlığı .308 Winchester B466 kalibre 9.72 gram/150 grain, .308 Winchester B476 kalibre 11 gram/170 grain ve son olarak .308 Winchester B416 kalibre 13 gram/200 grain’lik mermiler dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 1. Çalışılan parametreler ve seviyeleri

Parametreler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Namlu boyu	mm	610	660	710
Yiv-set (twist) oranı	inch	1:10	1:11	1:12
Çekirdek ağırlığı	grain	150	170	200

Yukarıdaki tabloda verilen parametrelerle yapılan çalışmaya uygun $L_9(3^{13})$ deneysel parametre tasarım kombinasyonları ile bunlara karşılık gelen tepkiler ve “*en büyük en iyi*” kalite karakteristiği amaç fonksiyonu dikkate alınarak elde edilen S/N oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel sonuçlar ve S/N oranları

Deney No	Namlu boyu (mm)	Twist oranı (inch)	Çekirdek ağırlığı (grain)	MVort (m/s)	Eort (Joule)	MVort için S/N (dB)	Eort için S/N (dB)
1	1	1	1	581.333	1845.833	55.2885	65.324
2	1	2	2	564.667	1933.167	55.0358	65.725
3	1	3	3	345.42	397.5	50.7669	51.987
4	2	1	2	439.87	1933.167	52.8665	65.725
5	2	2	3	411.32	462.667	52.2836	53.305
6	2	3	1	621.52	3679.167	55.8691	71.315
7	3	1	3	465.47	466.167	53.3578	53.371
8	3	2	1	673.33	1845.833	56.5646	65.324
9	3	3	2	624.66	1933.167	55.9129	65.725

5. Sonuçların Analizi

5.1. Giriş parametrelerinin optimizasyonu

Taguchi analizinde standart sapmayı en aza indiren, S/N oranını ve ortalamayı maksimize eden faktör seviyelerini seçmek için S/N tepki tablosu kullanılır. Bu amaçla Tablo 3 ve Tablo 4’te hem MVort hem de Eort faktörlerine ait tepki tabloları verilmiştir. Verilen bu tablolarda kullanılan her bir seviye için delta ifadesiyle, bir faktör için en yüksek ve en düşük karakteristik ortalama arasındaki fark alarak etkinin boyutu ölçümlendirilir. Delta değerlerinin en yüksek olduğu parametre, tepki üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Etki sıralaması, S/N tepki tablosundaki *Rank* olarak tablo altlarında gösterilmiştir. Rank ifadeleri, hangi faktörlerin en büyük etkiye sahip olduğunun hızlı bir şekilde belirlenmesine yardımcı olur.

Buna göre Tablo 3’te verilen optimum MVort değerine ulaşabilmek için muhtemel parametre kombinasyonunun, namlu boyu 710 mm, twist oranı 1:11 inch ve

çekirdek ağırlığı 150 grain şeklinde olması gerektiği tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, en düşük ağırlıktaki mermiyi kullanmak suretiyle en yüksek ortalama namlu çıkış hızına ulaşabilmek için namlu boyunun maksimum ve twist oranının ise orta seviyede olması öngörülmüştür. Ateşli silahlarda namlu çıkış hızının artırılması namlu boyunun uzun olmasıyla sağlanabilir. İlâveten tezde değerlendirilen orta seviye twist oranı ise mermi çıkış hızının istikrarını artırıcı bir unsurdur. Dolayısıyla tezde ulaşılan sonuç literatür ile uyusmaktadır [12].

Tablo 3. MVort için ortalama S/N tepki tablosu (en büyük en iyi) (dB)

Seviye	Namlu boyu	Twist oranı	Çekirdek ağırlığı
1	53.70	53.84	55.91
2	53.67	54.63	54.61
3	55.28	54.18	52.14
Delta	1.61	0.79	3.77
Rank	2	3	1

Tablo 4’de verilen optimum Eort değerine ulaşabilmek için muhtemel parametre kombinasyonuna göre, namlu boyunun 660 mm, twist oranının 1:12 inch ve çekirdek ağırlığının 150 grain olması gerektiği tespit edilmiştir.

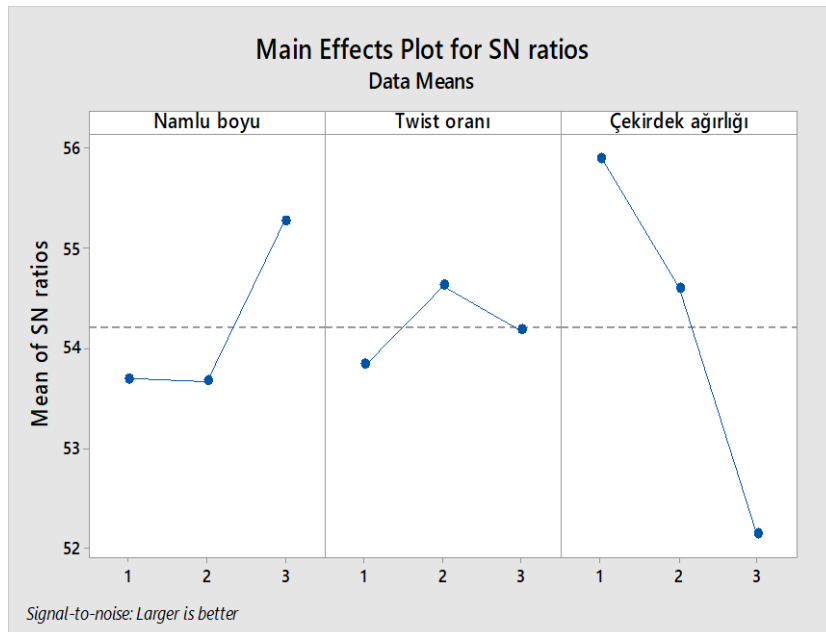
Bu sonuca göre yine en büyük ortalama terminal enerjisine ulaşabilmek için ise orta seviyede namlu boyu ve en büyük twist oranının kullanılması öngörülmüştür. Terminal enerjisinin yüksekliği, merminin namluyu daha rahat (12 inch uzunlukta 1 yiv-set oluşumundan dolayı) terk edişiyile yakından ilgilidir. Bu durumda ortalama namlu boyunda merminin namlu iç yüzeyine temas baskısı daha az olacak ve merminin enerjisinden sürtünmelere daha az harcanacaktır. Dolayısıyla tezde ulaşılan sonucu var olan teorik olgular doğrulamaktadır.

Tablo 4. Eort için ortalama S/N tepki tablosu (en büyük en iyi) (dB)

Level	Namlu boyu	Twist oranı	Çekirdek ağırlığı
1	61.01	61.47	67.32
2	63.45	61.45	65.73
3	61.47	63.01	52.89
Delta	2.44	1.56	14.43
Rank	2	3	1

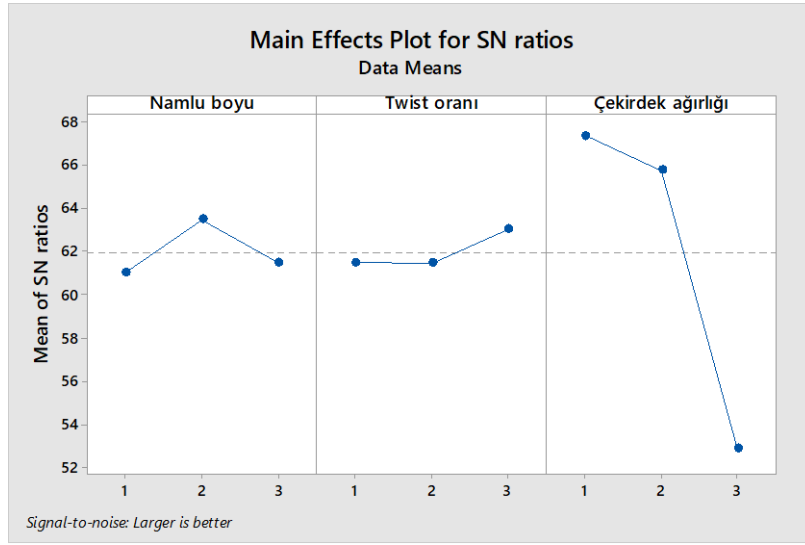
S/N tepki tablolarıyla tespit edilen her bir parametreye ait seviyelerin daha anlaşılır olarak ifadesini yapabilmek için MVort ve Eort için S/N tepkilerinin grafikleri

Şekil 4 ve Şekil 5’te verilmiştir. Grafiklerdeki eğimlerin en yüksek olduğu yerler parametrelerin seviye etkinliklerini göstermektedir. Seviyeler arasındaki çizgilerin eğimi ne kadar yüksek olursa etkinliğin o nispette yüksek olduğu grafiklerden anlaşılır. Buna göre namlu boyuna ait ilk iki seviye değişimi, MVort üzerinde çok etkili değilken üçüncü seviye oldukça etkili görülmektedir. Öyle ki; yapılan çalışmada dikkate alınan namlu boyu, ilk seviye değerinin 1/5 oranında artırılması halinde merminin namluyu terk ediş hızı, S/N değerlerine bağlı, %97 oranında etkilenmektedir. Namlu boyunun ikinci seviye değerinden itibaren artırılması durumunda ise trajik olarak eğimin artışı, MVort üzerindeki seviye etkisinin arttığını da göstermektedir. Twist oranındaki ters çanak görüntüsü için orta seviyenin MVort parametresini diğer seviyeler göre daha fazla etkilediği düşünülebilir. Ancak ortalama S/N seviye değerlerinin grafik üzerindeki ortalama çizginin yakınlarında konumlanması, twist oranı parametresinin MVort üzerinde ılımlı seviyede etkilidir denebilir. Çekirdek ağırlığına ait Tablo 4’te verilen en sağ hücredeki seviyeler arası çizgilere ait açılma büyüklüğün diğer hücrelerde verilen açılardan daha büyük olduğu dikkat çekicidir. Buna göre, çekirdek ağırlığı seviyelerinin seçimi, MVort parametresinin değişimini en belirgin şekilde ortaya çıkartacak nicel değerler şeklinde seçildiği sonucuna varılabilir. İlaveten Şekil 4’teki çekirdek ağırlığı seviyelerine bağlı S/N oranları ortalama değerlerindeki düşüşten yola çıkarak, çekirdek ağırlığı artışının MVort değerinin düşmesine neden olduğu Tablo 2’den de görülebilir.



Şekil 4. MVort için S/N oranlarının tepki grafikleri

Şekil 5'te verilen Eort için için S/N oranlarının tepki grafikleri incelendiğinde, MVort parametresi üzerine yapılan değerlendirmelere paralel olarak çekirdek ağırlığı parametresi seviyelerinin Eort üzerinde diğer giriş parametrelerine ait seviyelere göre çok daha etkili olduğu görülebilir. Hem namlu boyu, hem de twist oranı parametre seviyelerinin ortalama çizgisine yakın konumlanmalarından ve dramatik eğimlere sahip olmamalarından dolayı Eort üzerinde ılımlı seviyede etkili oldukları düşünülebilir.



Şekil 5. Eort için S/N oranlarının tepki grafikleri

5.2. S/N oranları için Varyans analizi (ANOVA)

ANOVA analizinin amacı, belirlenen çıktılar üzerine deneyler içerisinde kullanılan en önemli parametrelerin veya etkileşimlerinin etkililik seviyelerini belirlemektir.

ANOVA analizinde bir parametrenin tepki üzerinde etkili olup olmadığı P (önem/olasılık) değerine bakılarak kararlaştırılır. %95 güven aralığı göz önüne alınarak $P < 0.05$ (%5 önem değeri) olduğunda parametrenin tepki üzerinde etkili olduğu sonucuna varılır. Bu çalışmada yapılan ön analiz sonucu faktör etkileşimlerinin sonuçlar üzerine etkisinin az olduğu görülerek, etkileşimler ihmal edilmiştir. Toplam varyasyon üzerine her bir faktörün katkısı çizelgelerin en sağ sütunlarında % olarak gösterilmiştir. Tablo 5 ve 6'da MVort ve Eort için ayrı ayrı etkili süreç parametrelerin (namlu boyu, twist oranı, çekirdek ağırlığı) etkililikleri gösterilmiştir.

Tablo 5. MVort S/N oranları için ANOVA sonuçları

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	PC(%)	R ² (%)
Namlu boyu	2	5.078	2.539	1.64	0.379	16.30	
Twist oranı	2	0.942	0.471	0.30	0.767	3.02	
Çekirdek ağırlığı	2	22.014	11.007	7.09	0.124	70.70	90.03
Kalan hata	2	3.104	1.552				
Toplam	8	31.138					

DF: Serbestlik derecesi, SS: Kareler toplamı, F:F-testi değeri, P:Hataların varyansı

Buna göre Tablo 5 incelendiğinde, MVort için en etkili parametrenin %70.70 oranında çekirdek ağırlığı ve akabinde %16.30 ile namlu boyu ve etkisi en az olan parametre ise %3.02 etki oranıyla twist oranıdır.

Tablo 6. Eort S/N oranları için ANOVA sonuçları

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	PC (%)	R ² (%)
Namlu boyu	2	10.051	10.051	5.026	0.506	2.51	
Twist oranı	2	4.785	4.785	2.392	0.683	1.19	
Çekirdek ağırlığı	2	375.672	375.672	187.836	0.027	93.73	97.43
Residual Error	2	10.313	10.313	5.156			
Total	8	400.821					

Kısaltmalar için Tablo 5'e bakınız

Tablo 6 ile verilen Eort S/N oranları için ANOVA tablosunda ise en etkili parametrenin sırasıyla %93.73 etki oranıyla çekirdek ağırlığı olduğu gözlemlenmiştir. Merminin namluyu terk ederken hedefe varıncaya kadar kazanmış olduğu kinetik enerjisi için, etkisiz diyemeyeceğimiz fakat bu faktör kadar etkili olmayan iki parametre ise sırasıyla %2.51 ile namlu boyu ve %1.19 ile twist oranı olduğu görülür. Verilen her ANOVA tablosu için etki seviyeleri belirtilen parametreler haricinde parametre etkileşimlerinin etkileri ihmal edilerek analizler yorumlanmıştır.

Yapılan ANOVA analizi sonucu MVort ve Eort değerlerinin oluşumu esnasında süreçte kullanılan faktörler içerisinde en etkisiz faktörün twist oranı olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde daha önce yapılmış olan bazı çalışmalarda da bulunan sonuçlara paralel yaklaşımların olduğu gözlemlenebilir.

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Taguchi metodu ve ANOVA analizi kullanılarak askeri maksatlı uzun namlulu hafif personel silahları için 1000 m atışa göre Lapua Ballistics yazılımından yararlanılarak alınan merminin maksimum namluyu terk ediş hızı ile

enerjisi verilerine bağlı giriş parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Giriş parametreleri ise yaygın olarak kullanılan silahlardaki üç adet namlu boyu, twist oranı ve mermi çekirdek ağırlığı olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucu varılan neticeler aşağıda sıralanmıştır:

- I. Yapılan deneysel çalışmada kullanılan üç farklı parametre ve bunlara ait üç seviyenin kullanılmasıyla oluşturulan $L_9(3^{13})$ Taguchi ortogonal dizinine bağlı 9 deney gerçekleştirilmiştir. Bu sayede oldukça pahalı olan askeri maksatlı yapılması gereken testlerin maliyetlerinin indirgenebileceği ve bu haliyle yapılan istatistiki verilerin yüksek geçerlilikte güvenilirliğinin olduğu ispatlanmıştır.
- II. S/N oranlarının ortalamalarına ait grafikler yardımıyla MVort için optimum parametre kombinasyonu 710 mm namlu boyu, 1:11 inch değerinde twist oranı ve 150 grain değerinde çekirdek ağırlığı tespiti yapılmıştır. Eort için ise optimum parametre kombinasyonu 660 mm namlu boyu, 1:12 inch değerinde twist oranı ve 200 grain değerinde çekirdek ağırlığı olarak bulunmuştur.
- III. MVort ve Eort üzerine parametre etkilerinin rakamsal büyüklük olarak tespiti için sadece lineer ilişkinin dikkate alındığı ANOVA analizi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre MVort ve Eort için en etkili parametrelerin sırasıyla %70.70 ve %93.73 etkililik oranı ile çekirdek ağırlığı olduğu tespit edilmiştir. Diğer parametre etkililiklerinin ise düşük olduklarından dikkate alınmadığı ifade edilebilir.
- IV. Son olarak, delik delme operasyonlarında meydana gelen MVort ve Eort analizi ve optimizasyonları için Taguchi metodunun sistematik, sade ve verimli bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İlâveten bu çalışmanın akademik çalışmalara ve sınıf içi eğitim ortamlarında yapılan Taguchi uygulamalarına ışık tutulacağı umulmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. Akçay, M., "Balistik", Ankara, 90-94, 157,172, 176, 194, 281, 2010
- [2]. Keegan, John, , *A History of Warfare*, Vintage, Publisher:Random House, 1993
- [3]. Krupski, S.J., Taylor, B.R. ve Audino, F.J., *Measurement Of Rifling Twist In Gun Tubes, Technical Report*. 1979

- [4]. Bolton-King, R.S., Classification of Barrel Rifling Transitions for the Forensic Identification of Firearms, *Nottingham Trent University*. 2012
- [5]. Baran, D., Namlularda Kendi Kendine Ateşleme Süresinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2018
- [6]. U.S. Army Materiel Command, "Engineering Design Handbook, Ammunition Series, Design For Terminal Effects", The Engineering Handbook Office of Duke University, Durham, North Carolina, USA, 1964
- [7]. Allsop, D.F., Toomey, M.A., "Small Arms: General Design", Brassey's (UK) Ltd., London, 1999
- [8]. D.E. Carlucci, S.S. Jacobson, Ballistics Theory and Design of Guns and Ammunition, CRC Press, 2008
- [9]. <https://web.archive.org/web/20100515022156/http://www.militarydictionary.com/definition/muzzle-velocity.html>
Erişim tarihi: 21.02.2020 <https://www.lafsozluk.com/2010/10/kalibre.html>
Erişim tarihi 03.07.2020
- [10]. <https://forums.autodesk.com/t5/fusion-360-design-validate/modelling-a-rifled-barrel-in-fusion-360/td-p/7110416>
Erişim Tarihi:17.12.2019
- [11]. https://en.wikipedia.org/wiki/Muzzle_velocity#cite_note-2.
Erişim tarihi:10.09.2020
- [12]. Bryan Litz, Applied Ballistics For Long Range Shooting 3rd Edition, ISBN:978-0-9909206-1-8, 2015.
- [13]. <http://www.ballisticsbytheinch.com/>
Erişim tarihi: 06.11.2020
- [14]. https://en.wikipedia.org/wiki/Muzzle_energy#:~:text=Muzzle%20energy%20is%20the%20kinetic,a%20given%20firearm%20or%20cartridge
Erişim tarihi: 31.12.2020