

POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)
URL: http://dergipark.org.tr/politeknik

CLARIVATE ANALYTICS
EMERGING SOURCES CITATION INDEX
INDEXED

Doğada bulunan darbe sönümleme sisteminin yapısal analoji yoluyla geri tepme mekanizmasına entegre edilmesi

Integration of the impact damping system found in the nature to the recoil mechanism through structural analogy

Yazar(lar) (Author(s)): *Ali Onur Şahinoğlu[1], Hüdayim BAŞAK[2]*

ORCID[1]: 0000-0003-0642-1431

ORCID[2]: 0000-0001-8066-5384

ERKEN GÖRÜNÜM

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Sahinoglu A. O., Basak H., "Doğada Bulunan Darbe Sönümleme Sisteminin Yapısal Analoji Yoluyla Geri Tepme Mekanizmasına Entegre Edilmesi", ***Politeknik Dergisi***, *(*): *, (*).

Erişim linki (To link to this article): http://dergipark.org.tr/politeknik/archive

DOI: 10.2339/politeknik.1120892

Doğada Bulunan Darbe Sönümleme Sisteminin Yapısal Analoji Yoluyla Geri Tepme Mekanizmasına Entegre Edilmesi

Integration Of The Impact Damping System Found In The Nature To The Recoil Mechanism Through Structural Analogy

Önemli noktalar (Highlights)

- *Ateşli silahlarda geri tepme dinamiğinin araştırılması. / Researching of recoil dynamics in firearmas.*
- *Darbe sönümleme sistemlerinin araştırılması. / Researching of impact damping systems.*
- *Biyomimetik. / Biomimetics.*
- *Bulguların tasarım ve analizi. / Design and analysis of findings.*

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Ateşli silahlarda gerçekleşen geri tepmenin kullanıcı tarafından deneyimlenen etkisini azaltabilecek nitelikte biyomimetik tabanlı bir çözüm önerisi geliştirilmiştir.



Şekil. Yapısal analoji / **Figure.** Structural Analogy

Amaç (Aim)

Yapısal analoji kullanılarak ateşli silahlardaki hissedilebilir geri tepmeyi azaltmak. / Reducing tanagible recoil in firearms using structural analogy.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Tasarım ve analiz yazılımlar yoluyla gerçekleştirilmiştir. / Design and analysis were carried out through software.

Özgünlük (Originality)

Doğal yöntemlerle mühendislik problemi arasında bağıntı kurulmuştur. / A correlation has been established between natural methods and the engineering problem.

Bulgular (Findings)

İkincil geri tepme ölçülmüştür. / Seconder recoil was measured.

Sonuç (Conclusion)

Bazı tasarımlarda ikincil geri tepme azalmıştır. / Some designs have reduced seconder recoil.

Etik Standartların Beyanı (*Declaration of Ethical Standards*)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Doğada Bulunan Darbe Sönümleme Sisteminin Yapısal Analoji Yoluyla Geri Tepme Mekanizmasına Entegre Edilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ali Onur ŞAHİNOĞLU[a] Hüdayim BAŞAK[b?]
aTübitak Uzay, Ankara, Türkiye Cumhuriyeti
bGazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Ankara, Türkiye Cumhuriyeti

(Geliş/Received : 24.05.2022 ; Kabul/Accepted : 30.05.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 30.06.2022)

ÖZ

Bu çalışmada ateşli silahlarda gerçekleşen geri tepmenin kullanıcı tarafından deneyimlenen etkisini azaltabilecek nitelikte biyomimetik tabanlı bir çözüm önerisi geliştirilmiştir. Bu bağlamda, ağaçkakanların kafa yapısında bulunan darbe sönümleme sisteminin ana bileşenleri yapısal analoji yöntemi ile Remington 870 model ateşli silahın kabza tasarımında kullanılmıştır. Halihazırda kullanılan orijinal kabza modeli ile biyomimetik yaklaşım kullanılarak tasarlanan modeller karşılaştırılıp, eksenel ve toplam deformasyon, reaksiyon kuvveti ve gerilme değerleri birlikte değerlendirilmiş ve silahlarda geri tepmenin en aza indirilebilmesi için kabza tasarımı ile ilgili bazı öneriler getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ateşli silahlar, darbe sönümleme, biyomimetik, geri tepme dinamiği.

Integration Of The Impact Damping System Found In The Nature To The Recoil Mechanism Through Structural Analogy

ABSTRACT

In this study, a solution based on the biomimetic design approach to the recoil in the firearms that users are exposed to is proposed. In this context, main shock absorption principle of the woodpecker's head was investigated and used as a source of inspiration in the handle design of the Remington 870 model firearm by using the structural analogy method. Axial and total deformation, reaction force and stress values were assessed together by comparing the original pistol grip model currently used with the models designed using the biomimetic design approach, and suggestions were brought for grip scanning to minimize the recoil in firearms.

Keywords: firearms, impact damping, biomimetic, recoil dynamics.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geri tepme iki ayrı süreçten oluşmaktadır. İlki, merminin kendi ivmelenmesi nedeniyle oluşan kısımdır. Buna birincil geri tepme denir. İkincisi, yanan barutun ortaya çıkardığı gazların hızlanması ile ilişkilidir. İtici gazların momentumundaki değişim ise iki kısımda ele alınır: namlu çıkışına kadar gazın momentumundaki değişim ve mermi namludan çıktıktan hemen sonra, sekonder geri tepme olarak anılan zamanda, itici gaza verilen momentumdur.

Birincil geri tepme olayı tarafından ateşli silaha aktarılan geriye doğru momentum, ileri yönde merminin momentum kazanımına eşit ve karşıt olacaktır; M_F ve V_F sırasıyla ateşli silahın kütlesi ve hızıdır, M_P mermi kütlesidir, V_P ateşli silahın iç balistiğinin bir fonksiyonu olan mermi hızıdır. Sabit bir mermi momentumu için ateşli silahın büyüklüğünü azaltmaktan başka hiçbir şey yapılamaz.

Ancak ikincil geri tepme için durum farklıdır. Newton'un üçüncü kanunundan, ateşli silahın atıcıya ilettiği kuvvetler, atıcının ateşli silah üzerinde uyguladığı kuvvetlere eşit ve zıttır. Bu kuvvetlerin büyüklüğü ve zaman tarihçeleri, atıcının fizyolojisine ve atış tarzına bağlıdır. Bu nedenle, tüm atıcılar ve atış durumları için geçerli bir evrensel geri tepme standardı oluşturmak mümkün değildir. [1]

Ateşli silahlardaki geri tepme mekanizmasının işlevi, 5 ila 20 ms'lik bir zaman aralığında yanan barutun etkisi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : hbasak@gazi.edu.tr

ERKEN GÖRÜNÜM

ile namlu içinde hasıl olan yüksek seviyelerdeki balistik kuvvetlerin 0,2–0,5 s'lik bir sürede ve nispeten düşük şiddetli bir kuvvet şeklinde vasıta ya da kullanıcıya iletilmesini sağlamaktır. Bu yüzden geri tepme sistemlerinden genel olarak beklenen, mevcut dinamik özelliklerden faydalanılarak kısa süre içerisinde oluşan tepme kuvvetlerini daha uzun zaman aralıklarında düşük kuvvetlere dönüştürmektir.

Geri tepme mekanizması tasarımının başlangıç aşamasında silah mekanizması destek bölümünün sabit olduğu kabul edilir. Geri tepme hareketi bir serbestlik dereceli model ile temsil edilir. Bir serbestlik dereceli model geri tepme hareketinin olduğu yöndeki doğrusal hareketi tanımlar. Atışı takip eden süreçte, geri tepen namlu ve diğer parçaları durdurucu bir etkiye sahip olan kuvvet geri tepme mekanizması tarafından uygulanmaya başlar. Ateşlemeden sonra geri tepen parçaların sıfır noktasından hareket mesafesi "L" mesafesidir. Geri tepen parçalar L mesafesine ulaştıklarında anlık olarak dururlar ve atış pozisyonunu almak için tekrar ileri doğru sıfır noktasına hareketlenirler. Geri tepilen maksimum mesafeden tekrar sıfır konumuna gelinen hareket ise toplam hareketin ikinci kısmını, yerine gelme hareketini oluşturur.

Geri tepme hareketinde başlıca üç kuvvet mevcuttur:
• **Beşik Kuvveti**; Mühimmata hareketi verecek olan patlayıcının patlaması sonucu ortaya çıkan basınçtan dolayı oluşur. Etkisi kısa sürelidir. Geri tepme hareketini başlatan kuvvettir.
• **Yerçekimi Kuvveti**; Geri tepen parçaların farklı namlu atış açılarında aldıkları pozisyona göre ağırlıklarından dolayı oluşan bir kuvvettir. Geri tepen parçalar atış pozisyonunda sabit durumda oldukları için yer çekiminin kaynaklı kuvvet de sabittir.
• **Net Durdurucu Kuvvet;** Ateşleme yapıldığı anda mühimmatın ilerlemesi başlar. Gaz basıncı ve ağırlık birleşiminden dolayı geri tepen parçalar geriye doğru hareket etmeye başlarlar. Bu harekete karşı sürtünme kuvveti ve geri tepme mekanizması tarafından direnç gösterilir. Durdurucu bir kuvvet ortaya çıkar.[2]

Farklı silah tasarımlarında kullanılan birçok geri tepme mekanizması ve onları oluşturan birçok alt parça vardır. Geri tepme mekanizması, silah performansını ve ağırlığını doğrudan etkilediği için duruma uygun biçimde tasarlanması gerekmektedir. Geri tepme mekanizmaları aşağıdaki üç temel kısımdan oluşur:

• Geri tepen parçaları durduran frenleme sistemi
• Geri tepen parçaları atış pozisyonuna getiren sistem
• Yerine gelmede hız ayarlayan yastıklama sistemi

Yastıklama sistemi; geri tepme frenine benzer biçimde çalışmaktadır. Ondan farkı daha düşük enerji seviyesinde çalışmasıdır. Sistemde yastıklama olmazsa mekanizma yerine gelirken çok kuvvetli bir çarpma oluşur ve bu da silaha zarar verir. Yastıklama sistemi olmayan silahlarda yastıklama işlevini kayan yüzeyler ile conta ve keçelerde meydana gelen sürtünme kuvveti yerine getirmektedir. [3]

Bonzi ve Martarelli ortak çalışmalarında [4] geri tepme dinamiğinin direkt olarak açığa çıkan şok ile alakalı olduğunu belirtirler. Yuan ve Lee'nin [5] atış performansı ve ergonomisi üzerine yaptıkları çalışmada Osborne ve Smith'e (1986) ait araştırmaya verdikleri referansta bir çok kayda değer atıcının uzun kabze yapısı ve ağır tüfekleri tercih ettiğine değinirler. Böyle bir tüfek genel standartlara göre hala ergonomik bir tüfek olarak değerlendirilir. Sekulova'nın araştırmasında ise [6] ergonomik bir ateşli silahı etkileyen en önemli faktörün kabze eğimi olduğu belirtilip, bütün ırklar için uygun bir silah yapmanın mümkün olmadığı, bunun yerine olası en büyük kesime hitap edebilecek bir tasarımın tercih edilmesi gerektiği ileri sürülür.

Yukarıda belirtilen, kullanıcıyı ilgilendiren geri tepme dinamiği kaynaklı sorunlara çözüm aranırken, doğada rastlanan darbe sönümleme sistemlerine değinmek faydalı olacaktır.

Pomelos (citrus maxima), önemli miktarda kinetik enerjiyi dağıtabilen köpük benzeri kalın bir kabuğa sahiptir ve bu nedenle meyve, biyomimetik darbe sönümleme yapılarını geliştirilmesi için ideal bir rol modelidir. [7] Kirpi dikenleri, petek yapılı özleri ve uzunlamasına sertleşmeleri sayesinde düşmeler sırasında amortisör işlevi görür. [8]

Öteleme ve dönme ivmeleri de ağaçkakanların ve koçların kafa darbeleri sırasında oluşur; ancak kafalarında sarsıntılara neden olmazlar. Bir koç boynuzunun konik spiral geometrisinin, boyuna (normal veya birincil) dalgaları enine (kesme) dalgalarına dönüştürerek ve kesme dalgalarının da boynuz ucu salınımlarıyla sönümlemesiyle, mekanik darbenin dağıtılmasında rol oynadığı bilinmektedir. [9]

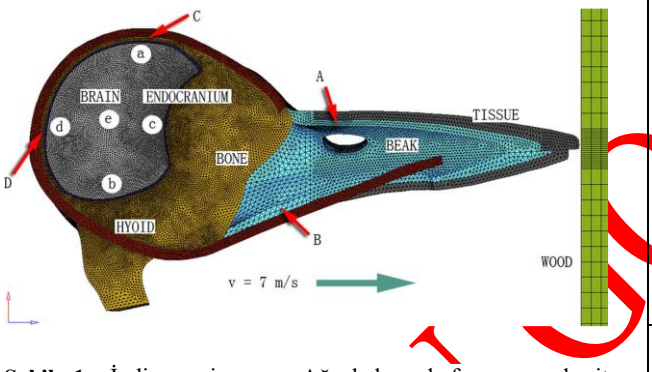
Araştırmacılar bir ağaçkakanın kafasına aldığı darbelerden nasıl korunduğunu araştırarak biyonik bir şok absorbe sistemi geliştirirken yararlanabilecek kilit noktaları ortaya koymaktadırlar. [10]

Bu çalışmada, yukarıda örnekleri verilen darbe sönümleme sistemlerinden biri ele alınarak, ağaçkakanlardaki çoklu darbelere ve sürekli titreşime karşı beynin hasar görmesini engelleyen, sert ve esnek gaga, hyoid kıkırdak yapı, kafatasının önünde yer alan süngerimsi kemik doku olmak üzere üç ana kısımdan oluşan koruyucu kemik ve kas yapısı araştırılarak, tespit edilen mevcut doğal çözüm, ilgili matematiksel dönüşümler gerçekleştirilerek, özellikle belirlenen tüfeklerde hissedilen geri tepmeden kaynaklanan ergonomik problemlere bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

ERKEN GÖRÜNÜM

2. BİOMİMETİK UYARLAMA (BIOMIMETIC ADAPTATION)

Biyomimikri, yaşam problemlerine karşı doğanın zaman süzgecinden geçmiş desen ve stratejilerine öykünerek, sürdürülebilir çözümler aradığı inovatif bakış biçimidir. Biyomimetik yaklaşım ise doğadaki bir doku, form veya işlevin tersine mühendislik yoluyla mühendislik tasarımlarına entegre edilmesi süreci olarak tanımlanabilir [11-12]. Ağaçkakanlar yuva yapmak ve yiyecek bulmak gibi yaşamsal fonksiyonları için ağaç kabuklarına birbiri ardına seri vuruşlar yaparlar. Bu vuruşlar esnasında açığa çıkan koşullar çok kısa bir zaman diliminde vuku bulur. Öyle ki, Jung ve Nalleway'in [13] belirttiği gibi gagalama eylemi bazen 7 m/s'lik hızlara ulaşır ve 1200 g'lik bir ivmelenme yaşanır. Jun Ma ve Dan Zhu ise yayınladıkları çalışmalarında [14] gagalama eyleminin saniyede 25 kerelik bir tekrara ulaştığını ve kuşun beyninin maruz kaldığı titreşim frekansının bir kaç Hz'den 25 Hz'e kadar uzadığını ortaya çıkarmışlardır. Çalışmada sonlu elemanlar modeli oluşturmak için yararlanılan indirgenmiş şema ise Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İndirgenmiş şema-Ağaçkakan kafa yapısı kesit görüntüsü (reduced schema-Woodpecker skull cutaway view)[11]

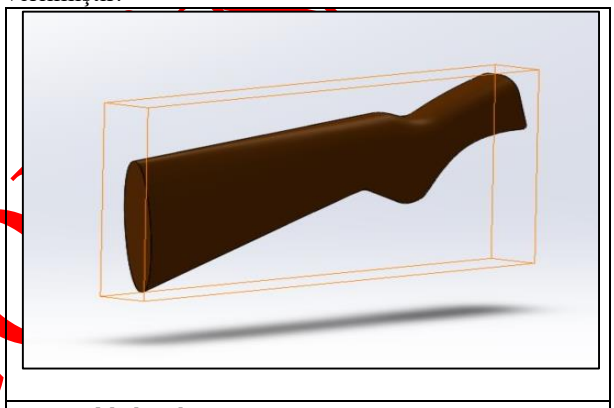
Gibson [15] ağaçkakanların sahip olduğu sönümleme mekanizmasının üç ana başlıktan oluştuğunu dile getirmiştir. Bunlar, küçük kafatası, kısa eylem zamanı ve beyin ile kafatası arasında kalan büyük boşluktur.

Yapılan başka bir çalışmada [16] Yubo ve ekibi konuya biraz daha genelleyici bir yaklaşım sergilemiş ve ağaçkakanın beyninin bu darbelerden korunmasının tek bir sebebi olmadığını, birçok bileşenin etkili olduğunu yinelemişlerdir. Bu sebepler ise başlıca şu başlıklar altında toplanmıştır:

1. Sert ve esnek gaga
2. Dil kemiği: Kafatasını çevreleyen, kemik ve elastik dokudan oluşan bir yapı
3. Kafatasının ortasındaki süngerimsi kemik
4. Beyin-omurilik sıvısının bulunduğu, kafatasıyla beyin arasında normalden küçük olan boşluk

Wang ve diğerleri [17] yaşayan bir ağaçkakan üzerinde yaptıkları bir araştırmada bazı yeni verilere ulaşmış ve gagalama kuvveti 8.1 m/s ve ivmelenme ise 7.1 m/s olarak güncellenmiştir. Vincent, Şahinkaya ve O'Shea [18] ise ağaçkakanın keski şekilli gagasının keratin kaplı olduğunu belirtip, burun deliklerinin vuruş esnasında açığa çıkan kuvveti yaydığını eklemişlerdir. Liu ve Qui [19] ise kafatasını saran hyoid kemiği, alt ve üst parçaları eşit olmayan bir gaga subdural boşluk ve pürüzsüz bir kafatasının darbeye karşı koymada etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu aşamada birbirinden bağımsız olarak bileşenleri verilen mühendislik probleminin ve doğada benzer problemlere yönelik olarak geliştirilen çözüm mekanizmalarının uygulanabilirliği tartışılmaya açılmıştır. Bu tartışmanın yürütülmesinde ilk adım olarak tasarım modelleri ortaya konulacak, ardından analiz modelleri oluşturulup sonuçların kararlılığının matematiksel olarak sağlamasına çalışılacaktır. Bir kundağa sahip klasik ateşli silahlarda, atıcıların fiziksel özelliklerinin farklılığından dolayı benzer standartları yakalayabilmek adına mutlaka hesaplanması gereken ölçüler vardır. Bu çalışmanın konusu olan Remington 870 silahının şekli ve kabza ölçüleri Şekil 2'de verilmiştir.



Orijinal kabza hacmi:769542.03 mm3 Kütle:769.54 gr Yüzey alanı:75329.21 mm2
Tasarımların yapıldığı kesitin boyutları Uzunluk:368.49 mm Genişlik:50 mm Yükseklik:115 mm

Şekil 2. Tasarım modellerinin içinde kalacağı sınırları belirten ana boyutlar (The main dimensions that specify the limits within which the design models will remain.)

Belirtilmesi gereken diğer bir önemli husus ise kafatasındaki bölgelerin ve sönümlemeye yardımcı unsurların, yapısal analoji yoluyla nasıl tasarım versiyonlarına aktarıldıklarıdır. Bu bölgeler Şekil 3'de kafatası enine görünüşünde renkler ile çerçevelenmiştir. Çizelge 1'de ise kullanılan renk kodlarının modeldeki karşılığı ve modelin bu bölümünün hangi malzeme ile temsil edileceği belirtilmiştir. Kullanılan bu kodlama bütün tasarım modelleri için geçerli olmaktadır.

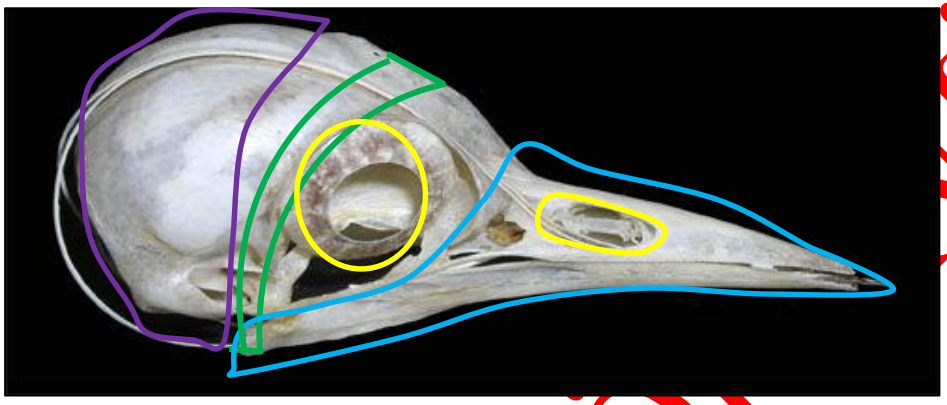
3. TASARIM MODELLERİ VE ANALİZ (DESIGN MODELS AND ANALYSIS)

3.1. Tasarım ve modelleme (Design and modeling)

Tasarım yapılırken, ilk olarak Remington 870 ateşli silahın, gerçek boyutlara sadık kalarak 3 boyutlu modellemesi yapılmıştır. Daha sonra ağaçkakan kafatası ve ateşli silahın kabzası arasındaki oran bulunmuştur. Bulunan bu oran, ilgili ateşli silahın kabza bileşen boyutlarına yansıtılarak tasarım çözümleri ortaya çıkarılmıştır. Çizelge 2'de tasarım çözümleri görselleri ve ilgili tasarımların yoğunlaştığı noktalar verilmiştir.

Çizelge 1. İlk tasarım modelini oluşturan parçaların doğadaki çözümde bulunan karşılıkları (The equivalents of the parts forming the first design model in the solution in nature)

Renk kodu	Model parçası	Kafatasındaki yapı	Malzeme
	Kapalı hücreli köpük	Süngerimsi kemik doku (Trabeküler kemik)	Ahşap veya polimer
	Kasa	Kafatası	Ahşap veya polimer
	Dolgu malzemesi	Gaga	Ahşap veya polimer
	Cut-out	Göz ve burun boşluğu	Mevcut malzemeden çıkarma



Şekil 3. Tasarımda karşılık gelecek parçaların renk kodlarıyla kafatası üzerinde gösterimi (Representation of the corresponding parts in the design on the skull with color codes)

3.2. Analiz Sonuçları Ve Değerlendirme (Analysis Results and Evaluation)

Veriler elde edilirken, modellerin üç boyutlu tasarım çalışmasını takiben, ilk olarak gerekli el hesaplamaları yapılmıştır. Momentumun korunumu, enerjinin korunumu ve etki tepki prensibinden hareketle kinetik enerji KE, silaha aktarılan kuvvet (F), hamlu içindeki ivme (a), ateşli silahın sahip olduğu maksimum hız vektörü (V_f) altı tasarım çözümü için ayrı olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler Çizelge 3'te sunulmuştur.

Sınır şartlarından biri olan uygulanan yükün değiştirilmesiyle birlikte, yük olarak kuvvet uygulanması ve yük olarak ivme uygulanması olmak üzere iki tip analiz modellemesi yapılmıştır.

Belirtilen sınır şartları Çizelge 3'ten alınmıştır. Sabitleme yapılan yer ise ateşli silahın kullanıcıyla ara yüzü konumundaki, yani omuza dayandığı kısımdır. Buraya yardımcı bir koordinat ekseni yerleştirilmiş, yardımcı geometri olarak bir yüzey oluşturulmuş, bu yüzeyde oluşan reaksiyon kuvvetleri ölçülmüştür. Reaksiyon kuvveti, eksenel deformasyon ve toplam deformasyon bütün modeller için elde edilmiştir. Tasarım modellerinin dayanıklılığını sağlayabilmek için gerilme değerleri bulunarak değerlendirilmeye alınmıştır.

Karşılaştırma yapmak ve sağlıklı bir yoruma ulaşmak amacıyla ilk olarak orijinal model için analiz yapılmıştır. İndirgenen orijinal modelden, basitleştirmek, mesh kalitesini iyileştirmek ve çözüm süresini kısaltmak amacıyla ek olarak bazı parçalar daha çıkarılmıştır. Çıkarılan bu parçalar tasarım modelindeki ağırlık merkezleri dikkate alınarak kütle değeri olarak analiz modeline eklenmiştir. Dip levha denilen bölgede sabitleme sınır şartı uygulanmış, x eksenindeki bağlantı noktasından kuvvet ve ivme değerleri sırayla uygulanmıştır. Modelin basitleştirilmesi adına çıkartılan metal kısmın ağırlık merkezi tayin edilerek analiz modeline point mass eklenmiştir. Burada kullanılan ağırlık değeri ise yine Çizelge 3'ten alınmıştır. Modelde seçilen malzemeler Çizelge 4'te verilmiştir.

Seçilen malzemelerde orijinal olanlara sadık kalınmıştır. Diğer malzemelerin aksine ateşli silahın orijinalinde kabzanın yapımında kullanılan ceviz malzemesinin analizlerin yürütüleceği Ansys yazılımına tanıtılması gerekmektedir. Zira anizotropik özellik gösteren ahşap malzemelerin X, Y ve Z'de olmak üzere analizde yararlanılacak mühendislik özelliklerinin 3 eksende tanıtılması gerekmektedir. Bu özellikler elastikiyet modülü (G), Poisson oranı (v) ve burulma modülü'(G) dür. Ceviz için bu değerler daha

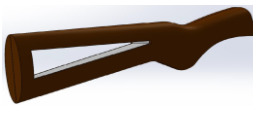
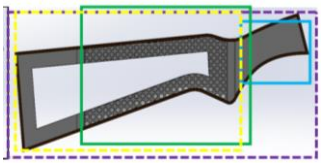
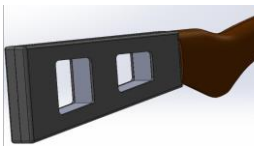
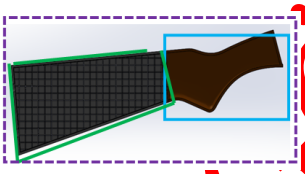
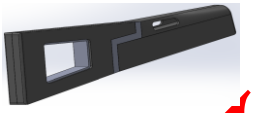
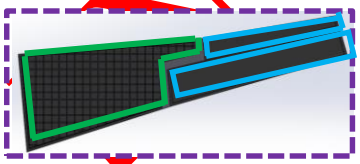
ERKEN GÖRÜNÜM

önce verilen kaynaktan tespit edilerek optimize edilmiştir.

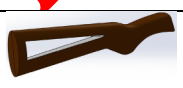
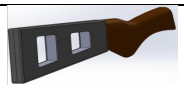
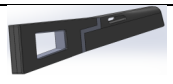
Analiz modeli oluşturulurken uygulanan yükler ve sınır şartları Çizelge 5'te verilmiştir. Bu değerlere tepme dinamiğine ait hesaplamalar yoluyla ulaşılmıştır.

Analiz sonuçları, tasarım modellerinin analizleri ile karşılaştırılacak referans değer olarak kullanılmıştır. Model, x ekseninde uygulanan yük neticesinde yine x eksenine göre belirtilen oranda deformasyona uğrarken, yine uygulanan ivme neticesinde 0,004269 m'lik bir deformasyona uğramıştır. X, Y ve Z eksenlerindeki deformasyonların toplamının bir çıktısı olan toplam deformasyon ise kuvvet uygulandığında 0.022676 m, ivme uygulandığında ise 0,010855 m olmuştur. Ateşli silahın insanla olan ara yüzündeki güç aktarımını gösteren reaksiyon kuvveti sonuçları ise 1871.18 N ve 1657.7 N olarak kaydedilmiştir. Reaksiyon kuvvetlerinin x, y ve z eksenlerindeki dağılımı ise Çizelge 6'da gözlemlenebilir.

Çizelge 2. Tasarım çözümleri (Design Solutions)

CAD Model	Yapısal Analoji	Tasarım Mantığı
		İndirgenmiş model üzerinden yapılan çalışmalarda kundak kısmına yoğunlaşılmış, bu kısımda süngerimsi kemik dokunun yerine geçebilecek köpük malzeme modellenmiştir. Köpüklü malzemenin dolgu yapıldığı alan ile asıl malzemenin dolgu yapıldığı alan bir sınırla ayrılmıştır. Kafatasının yüzeysel alanında oldukça büyük bir paya sahip olan boşluklar ise yine modele eklenmiş, beyin ile kafatası arasındaki küçük boşluk dıştaki kasa vasıtasıyla modelde minimize edilmiştir.
		İkinci tasarım modelinin oluşturulmasında, bir önceki modelde de yararlanılan delikli dolgunun yapısı metalik köpük malzemeye benzetilmiştir. Açık hücreli ve kapalı hücreli olabilen metalik köpük çeşitlerinden yapı itibariyle bu modelde açık hücreli tip seçilmiştir. Bağlantı noktalarında ilk tasarım modelinde olduğu gibi yapıştırıcı olarak epoksi kullanılmıştır.
		Üçüncü tasarım modelinin oluşturulmasında geleneksel yapılardan taktiksel yapılara kayılmış, bu nedenle parça sayısı artırılmış, polimer malzemeler seçilerek ağırlık açısından kazanım sağlanmaya çalışılmış, metal bağlayıcılar yerine epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Kabza tipleri de kendi arasında birçok farklı bölüme ayrılmaktadır. Üçüncü tasarım modelindeki kabza düz tip denilen tutucu kısmı olmayan bir modeldir. Bu amaç doğrultusunda elle tutuş yeri ve kundak ayrı olarak hesaplanmış, kundağın iç yapısalında ikinci versiyondaki açık hücreli köpük malzeme korunarak tekrar tercih edilmiştir. Üçüncü tasarım modellenmesinde önemli bir nokta ise plastik ve tahta kısımların birleştirilmesinde bağlayıcı yerine epoksi kullanılmasıdır. Bilinen yöntemlerin en ideali konumundaki bu teknikten, kompozit malzemelerin üretiminde de sıklıkla yararlanılmaktadır.

Çizelge 3. Hesaplamalardan elde edilen sınır şartları (Boundary conditions obtained from calculations)

Model No	Ağırlık (kg)	Geri tepme kuvveti (N)	İvme vektörü (m/s^2)	Geri tepme zamanı (s)
Orijinal model	3,4	5202	1530	0,005
Model1 	3,45	5202	1507,8	0,005
Model2 	3,3	5202	1576,3	0,005
Model3 	3,3	5202	1539,05	0,005

ERKEN GÖRÜNÜM

Çizelge 4. Orijinal modeli oluşturan parçalar için seçilen malzemeler ve uygulanan yükler (Materials selected and applied loads for the parts that make up the original model)

Parça No	Parça Adı	Malzeme	Uygulanan yükler		
			Sabit destek	İvme	Kuvvet
1	Namlu Tertibatı	Çelik		x ekseninde -1530 m/s^2	
2	Kabza	Ahşap-Ceviz		x ekseninde -1530 m/s^2	
3	Kabza Dibi	Kauçuk		x ekseninde -1530 m/s^2	x ekseninde -5202 N
4	Dip Levha	Çelik (tercihen kauçuk)	-	x ekseninde -1530 m/s^2	

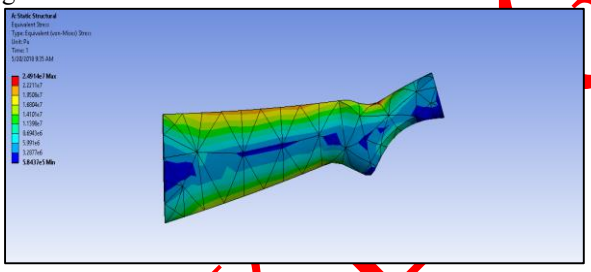
Çizelge 5. Orijinal model analiz sonuçları (Original model analysis results)

Uygulanan yük	Eksenel deformasyon(m)	Toplam deformasyon(m)	Reaksiyon kuvveti(N) (max)
Kuvvet	0,0017217	0,022676	1871,18
İvme	0,004269	0,010855	1657,7

Çizelge 6. Orijinal modeldeki sabitleme yüzeyinde oluşan eksenel reaksiyon kuvvetleri (Axial reaction forces generated on the fixing surface in the original model)

Süre [s]	Reaksiyon kuvveti (X) [N]	Reaksiyon kuvveti (Y) [N]	Reaksiyon kuvveti (Z) [N]	Reaksiyon kuvveti (Toplam) [N]
5,00E-03	38,906	5,084E-005	-1,1209E-005	38,906

Oluşan reaksiyon kuvvetlerinin bu çalışmadaki ana göstergesi, atıcıyla kundak dibinin birleştiği yüzeyde, yani arayüzde ne kadarlık bir tepki kuvveti oluştuğunu göstermesidir. Analizin yapıldığı zaman aralığı olan 0.005 sn'de burada oluşan tepki kuvveti değerleri, kullanıcının, omuzunda ne kadar yük hissettiğini de göstermektedir.



Şekil 4. Orijinal model gerilme analizi sonuçları (Original model stress analysis image)

Gerilme analizi sonuçlarına bakıldığında aktarılan yükün kabzanın üst ve alt bölgelerinde yoğunlaştığı, orta bölgelere doğru bu oranın gittikçe azaldığı gözlenmiştir. Uygulanan yükler neticesinde modelin z ekseninde (üst tarafa doğru) bir hareketlenme içine girmesi ise pratikteki kullanımla büyük benzerlik göstermektedir (Şekil 4.).

Diğer modeller için hesaplanan sınır şartları daha önce Çizelge 3'te verilmişti. Çizelge 8'de uygulanacak yükler ve ilgili tasarım modellerine yapılan malzeme atamaları verilmiştir.

3.3 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

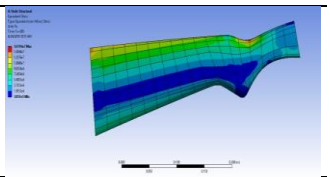
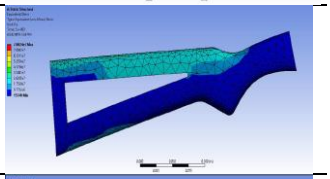
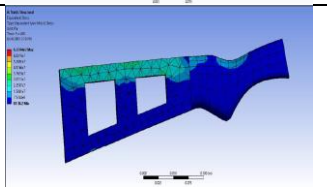
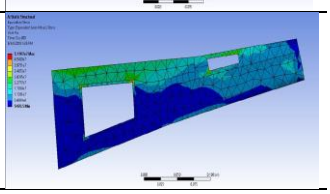
İlk üç tasarım modeli için yürütülen analizlerden elde edilen sonuçlara göre ikinci ve üçüncü modellerin istenen sonuca ulaşma yolunda daha verimli kaldıkları gözlemlenmiştir. İlk üç tasarım modelinden alınan eksenel deformasyon, toplam deformasyon ve reaksiyon kuvveti verileri Çizelge 9'da toplu olarak verilmiştir.

ERKEN GÖRÜNÜM

Çizelge 8. Bütün tasarım modelleri için sınır şartları ve malzeme seçimi (Boundary conditions and material selection for all design models)

Parça No	Parça Adı	Malzeme	Uygulanan yükler		
			Sabit destek	İvme	Kuvvet
Model 1					
1	Namlu Tertibatı	Çelik		x / -1508 m/s^2	
2	Kabza	Ahşap (Dolgu)		x / -1508 m/s^2	
3	Kabza Dibi	Kauçuk		x / -1508 m/s^2	x / -5202 N
4	Dip Levha	Çelik (Kauçuk opsiyonel)	-	x / -1508 m/s^2	
Model 2					
1	Namlu Tertibatı	Çelik		x / -1576 m/s^2	
2	Kabza	Nylon 66 (Dolgu)		x / -1576 m/s^2	
3	Kabza Dibi	Kauçuk		x / -1576 m/s^2	x / -5202 N
4	Dip Levha	Çelik (Kauçuk opsiyonel)	-	x / -1576 m/s^2	
Model 3					
1	Namlu Tertibatı	Çelik		x / -1540 m/s^2	
2	Kabza	Nylon 66 (Dolgu)		x / -1540 m/s^2	
3	Kabza Dibi	Kauçuk		x / -1540 m/s^2	x / -5202 N
4	Dip Levha	Çelik (Kauçuk opsiyonel)	-	x / -1540 m/s^2	

Çizelge 9. Tasarım modeli analiz sonuçları (Design model analysis results)

	Uygulanan sınır şartı	Eksenel deformasyon (max)	Toplam deformasyon (max)	Reaksiyon kuvveti (max)	Gerilme analizi sonuçları
Orijinal model	İvme	0,004269	0,010855	1657,7	
	Kuvvet	0,0017217	0,022676	1871,18	
Model 1	İvme	0,0039462	0,01003	484,82	
	Kuvvet	0,00073671	0,015686	762,6	
Model 2	İvme	0,0041692	0,0093844	444,18	
	Kuvvet	0,0031286	0,036291	931,36	
Model 3	İvme	0,0036396	0,0088368	450,17	
	Kuvvet	0,00015555	0,011725	494,3	
	Kuvvet	0.00011	0.00020	50.65	
	Kuvvet	0.00311	0.00606	248.0	

ERKEN GÖRÜNÜM

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada doğadaki darbe sönümleme sistemi yapısal analoji kullanılarak, örnek bir mühendislik probleminin çözümünde kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak darbe sönümleme sistemi ile mühendislik problemini ilgilendiren yapısal sistem arasında modelleme yoluyla bağlantı kurulmuştur. Oluşturulan bu farklı tasarım modelleri ile analizler gerçekleştirilerek gerçerlilikler kontrol edilmiştir.

Orijinal ürün ve biyomimetik yaklaşımla tasarlanan ilk üç model karşılaştırılıp, eksenel ve toplam deformasyon, reaksiyon kuvveti ve gerilme değerleri birlikte değerlendirildiğinde en uygun çözümlerin ikinci ve üçüncü tasarım modelleri olduğu ortaya çıkmıştır.

İlk tasarım modelinde kullanılan kapalı hücreli idealize edilmiş hücreli yapı, orijinal modele göre ağırlıkta bir azalmaya sebebiyet vermesiyle birlikte dayanım açısından da bir azalmaya sebep olmuş ve modelde plastik deformasyon gözlenmiştir. İlk tasarım modelinde kafatasındaki boşluk içeren yapıyı temsil eden eksiltilen malzemenin, uygulanan ivme ve kuvvet yüklerinde dayanımı azalttığı sonucuna varılmıştır.

İkinci tasarım modeli, kundak dibinde oluşan tepki kuvvetleri göz önünde bulundurulduğunda, atıcının ergonomik olarak en rahat edebileceği model olabileceği değerlendirilmiştir. Modelin reaksiyon analizi sonuçlarında arayüz bölgesinde orijinal model rastlanandan daha düşük değerlere ulaşılmıştır. İkinci tasarım modelinde ön kısmında gerilme değerlerinin yüksek çıkması, korunan orijinal ahşap malzeme nedeniyledir.

Üçüncü tasarım modeli ve ikinci tasarım modeli analiz sonuçlarının birbirine çok yakın çıkmasında, gerilme analizi sonuçları da hesaba katıldığında, iki tasarım modelinde de kullanılan idealize edilmiş açık hücreli gözenekli yapının etkili olduğu düşünülmektedir. Üçüncü tasarım modelinde, diğer tasarım modellerinin aksine tasarıma yatay yönde uygulanan alt ve üst gaga benzetimleri beklenen sonuçların elde edilmesine sebep olmuştur.

Dördüncü tasarım modelinde, boyutları artırılan boşaltmalar ve ilk tasarım modelinde olduğu gibi köpük dolgu malzemesinin bahsedilen boşaltmalarla birlikte kulanıması neticesinde değerler etkilenmiş ve sonuçlar buna göre alınmıştır. Beşinci tasarım modelinde, kafatası yapısına sadık kalınması, alınan sonuçlarda etkili olmuştur. Ergonomik açıdan çıkabilecek bazı aksaklıklar giderildiğinde, daha sağlıklı sonuçların alınması muhtemeldir. Altıncı tasarım modelinde, ağaçkakan kafatasının anatomik yapısı organik formlar korunarak modellenmiştir. Analiz sonuçları ise kullanılan malzemeye bağlı olarak diğer organik formlardan bağlılık gösterdiği düşünülebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

2013-024 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Hüdayim BAŞAK: Modellemeleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. / Performed the Models and analyse the results.

Ali Onur Şahinoğlu: Modellemeleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. / Performed the Models and analyse the results.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Hall, M.J., "Measuring felt recoil of sporting arms", ***International Journal of Impact Engineering*** 35: 540–548, (2008).

[2] Tuncer D.G., Alli H., "*Ağır Silahların geri tepme mekanizmalarının tasarımında iç balistik modelinin olusturulması ve kama kuvvetinin hesaplanması", **2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi***, Balıkesir, 413-425, (2010).

[3] Yalamanchili R., "***New Concepts in Recoil Mechanism***", Large Caliber Weapon Systems Laboratory US Army Armament Research and Development Command, Pg:425-427.

[4] Lonzi B., Martarelli M., *"**Measurement of firing impulse force in rifles**", Proceedings Of Isma2014 Includıng USD2014*, Pg: 2066-2075, (2014).

[5] Yuan K.C., Lee Y.H., "*Effects of rifle weight and handling length on shooting performance", **Applied Ergonomics,*** 28:2, 121-127, (1997).

[6] Sekulova K. C., Bures M., "*Ergonomic Analysis of a Firearm According to the Anthropometric Dimension", **Applied Ergonomics Procedia Engineering***, 100: 609 – 616. (2015).

ERKEN GÖRÜNÜM

[7] Thielen M., Schmitt1 C.N.Z., Eckert S., Speck T., Seidel R., "*Structure–function relationship of the foam-like pomelo peel (Citrus maxima)—an inspiration for the development of biomimetic damping materials with high energy dissipation."* ***Bioinspiration& Biomimetics 8(2):025001***

[8] https://asknature.org/strategy/spines-work-as-shock-absorbers/

[9] Nayeon L., Zhen L., Sungkwang M., Johnson K.L., Horstemeyer M.F., "*The* Function of Horn Ridges for Impact Damping", Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3322822 or http://dx .doi.org/10.2139/ssrn.3322822

[10] Wang L, Lu S, Liu X, Niu X, Wang C, Ni Y, Zhao M, Feng C, Zhang M, Fan Y., "*Biomechanism of impact resistance in the woodpecker's head and its application.*" ***Sci China Life Sci***. 56:8, 715-719. 2013.

[11] Ulaş, E. C. , Başak, H. & Akkurt, A., "*Araç Koltuğu Sırt Desteğinin Biyomimetik Tabanlı Tasarımı ve Analizi*." ***Politeknik Dergisi***, 2022. DOI: 10.2339/politeknik.1056314

[12] Akter A.Y., Basak H., *"Design and analysis of biomimetics based excavator bucket and tooth."* ***Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering***. 236:3, 1167-1175, 2022.

[13] Jung Y.E., Naleway S.E., Yaraghi N.A., Herrera S., Sherman V.R., Bushong E. A, Ellisman M.H., Kisailus D., McKittrick J., "*Structural Analysis of Tongue and Hyoid Apparatus of Woodpeckers"*. ***Acta Biomaterialia*** 37: 1-13, (2016).

[14] Zhu, D.Z., Ma. G.J., "*Numerical Study of the Impact Response of the Woodpecker's Head*." ***AIP Advances***, 042173. (2012).

[15] Gibson L.J., "*Woodpecker pecking: how woodpeckers avoid brain injury*", ***Journal of Zoology***. 270: 462-465 (2006).

[16] Fan Y., etc. "*Biomechanism of impact resistance in the woodpecker's head and its application*", ***Science China Life Sciences***. 56: 715-719. (2013).

[17] Wang L., Cheung J.T., Pu F., Li D., Zhang M., Fan Y., *"Why Do Woodpeckers Resist Head Impact Injury: A Biomechanical Investigation"*, ***PlosONE***,6:10, 1-8, (2011).

[18] Vincent, J. F. V., Sahinkaya, M. N., O'shea W. "*A woodpecker hammer"*. ***Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science***, 221:10, 1141-1147, (2007).

[19] Liu Y. Qui, X., "*Response of Woodpecker's Head During Pecking Process Simulated by Material Point Method*", ***PlosONE***, 10:4, 1-8. (2015).

ERKEN GÖRÜNÜM