



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Araç koltuğu sırt desteğinin biyomimetik tabanlı tasarımı ve analizi

Biomimetic based design and analysis of vehicle seat back support

Yazar(lar) (Author(s)): Ece Ceren ULAŞ¹, Hüdayim BAŞAK², Adnan AKKURT³

ORCID¹: 0000-0002-1399-1005

ORCID²: 0000-0001-8066-5384

ORCID³: 0000-0002-0622-1352

To cite to this article: Ulaş E.C., Başak H. ve Akkurt A., “Araç koltuğu sırt desteğinin biyomimetik tabanlı tasarımı ve analizi”, *Journal of Polytechnic*, 26(2): 775-785, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Ulaş E.C., Başak H. ve Akkurt A., “Araç koltuğu sırt desteğinin biyomimetik tabanlı tasarımı ve analizi”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 775-785, (2023).

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

DOI: 10.2339/politeknik.1056314

Araç Koltuğu Sırt Desteğinin Biyomimetik Tabanlı Tasarımı ve Analizi

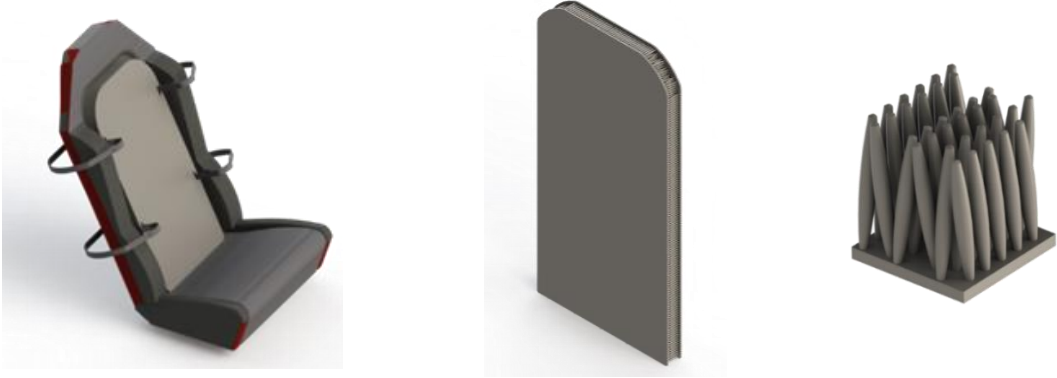
Biomimetic Based Design and Analysis of Vehicle Seat Back Support

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Tasarımda biyomimetik yaklaşım /Biomimetic approach in design
- ❖ Darbe emici yapıların yaşamsal önemi / Vital importance of shock absorbing structures
- ❖ Araç koltuklarında yeni tasarım/New design in car seats
- ❖ Vücuda özel, akıllı ve ergonomik tasarım /Body-specific, smart and ergonomic design
- ❖ Yapıda form değişikliğinin darbe sönümleme yeteneği/Impact damping ability of form change in structure

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada kirpi dikenini formundan esinlenilerek yeni bir araç koltuğu tasarlanmış ve analiz edilmiştir./In this study, a new vehicle seat was designed and analyzed, inspired by the hedgehog spine form.



Şekil. Araç koltuğu sırt desteği tasarımı ve detayı /Figure. Vehicle seat back support design and detail

Amaç (Aim)

Amaç biyomimetik tasarım lensi yaklaşımı ile ideal özellikte sırt desteği tasarımı gerçekleştirmektir./The aim is to perform optimum feature back support design with the biomimetic design lens approach.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Kirpi diken formundan yararlanılarak tasarım gerçekleştirildi. Tasarım analiz edildi ve ergonomik olarak değerlendirildi./The design was made using the hedgehog spine form. The design was analyzed and evaluated ergonomically.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışma biyomimetik tabanlı yaklaşım ile araç koltuğu sırt desteğinin tasarlanmasında literatürde bir ilktir./This study is a first in the literature in the design of vehicle seat back support with a biomimetic-based approach.

Bulgular (Findings)

Bu çalışmanın bulgusu olarak biyomimetik tasarım lensi yaklaşımı ile yeni bir araç koltuğu sırt desteği tasarlanmış ve analiz edilmiştir./As a finding of this study, a new vehicle seat back support was designed and analyzed with the biomimetic design lens approach.

Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmanın sonucunda standardın üzerinde bir tasarım gerçekleştirilmiştir./ As a result of this study, a design above the standard was realized.

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.

Araç Koltuğu Sırt Desteğinin Biyomimetik Tabanlı Tasarımı ve Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ece Ceren ULAŞ¹, Hüdayim BAŞAK^{2a*}, Adnan AKKURT^{2b*}

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

² Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.01.2022 ; Kabul/Accepted : 07.02.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 28.02.2022)

ÖZ

Otomotiv üreticileri potansiyel müşterilerinin vücut bütünlüğünü göz önüne alarak araç ve döşeme tasarımlarını gerçekleştirmelerine rağmen çeşitli durumlarda insan bedeninde bir takım ağrıların oluşumu engellenememektedir. Oluşan çeşitli ağrılardan sırt ağrısı problemini çözmek için farklı yöntem ve araçlar kullanılsa da tam anlamı ile bir çözüm sağlanamamaktadır. Bu hedefle biyomimetik tasarım lensi yaklaşımı ile kişi vücut ergonomisine göre şekil alan, bel ve sırt temas yüzeylerine kişinin kilosuna bağlı olarak etki eden yükü absorbe eden standardın üzerinde bir konfor sunacak sırt desteği tasarımı gerçekleştirilmiştir. Doğada bulunan çeşitli çözümler incelenmiş ve kirpi dikenlerinin yüksek darbe sönümleme özelliğine sahip olması sebebiyle hedeflenen tasarımda diken formundan yararlanılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda 3 farklı eylem senaryosu ile yapılan tasarım ve mevcutta kullanılan sırt desteği tasarımı karşılaştırılmıştır. Ayrıca tasarım REBA yöntemi kullanılarak ergonomik açıdan da analiz edilmiştir. Analiz çalışmaları gerçekleştirilirken dikenlerde geri dönüştürülebilir termoplastik elastomer hidrojel malzemesi tercih edilmiştir. Sonuç olarak ortaya konan tasarımın mevcut tasarımlara oranla daha olumlu bir alternatif olacağı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyomimetik, ergonomi, analiz, kirpi diken.

Biomimetic Based Design and Analysis of Vehicle Seat Back Support

ABSTRACT

Although automotive manufacturers realise vehicle and upholstery designs by considering the body integrity of their potential customers, the existence of certain pains in the human body can't be prevented in various situations. Despite different methods and tools are used to solve the problem of back pain from various pains, complete solution can't be provided. With this target, a back support design which is shaped according to the person's body ergonomics has been realized with the biomimetic design lens approach, absorbs the load acting on the waist and back contact surfaces depending on the weight of the person and offer comfort above standard. Various solutions found in nature were examined and it was decided to use the spine form in the targeted design, since hedgehog spines have high impact absorbing properties. In this context, the design made with 3 different action scenarios and the back support design used in present were compared. In addition, the design was analyzed ergonomically using the REBA method. While performing the analysis studies, recyclable thermoplastic elastomer hydrogel material was preferred for spines. Consequently, it has been understood that the proposed design will be a more positive alternative compared to the existing designs.

Keywords: Biomimetics, ergonomics, analysis, hedgehog spine.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Biyomimikri, yaşam problemlerine karşı doğanın zaman süzgecinden geçmiş desen ve stratejilerine öykünerek, sürdürülebilir çözümler aradığı inovatif bakış biçimidir. Başka bir deyişle yöntem problemlerin çözümlerinin doğada var olduğu düşüncesine dayanmaktadır. Bu bağlamda kirpilerin çeşitli özellikleri hakkında yapılan araştırmalar sonucunda diğer hayvanlara kıyasla kirpilerin düşme durumunda ve dikenli bölgeye gelecek herhangi bir darbeye karşı (saldırıya uğradığında vb.) zarar görmediği saptanmıştır. Bunun nedeni kirpi dikenlerinin petek benzeri iç kısımları, uzadıkça sertleşmeleri ve formları nedeniyle bir düşüş ya da darbe

durumunda darbe sönümleyici özelliğe sahip olmasıdır. Ayrıca dikenlerin ortasındaki köpük benzeri yapı, dikenlerde bulunan ince dış duvarları burkulmaya karşı destekler ve yapının bozulmadan daha fazla bükülmesini sağlar [1].

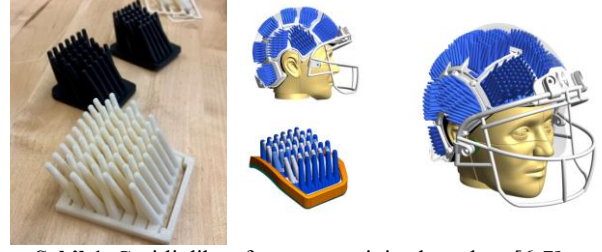
Vincent ve Owers kirpi dikenlerinin ve tüylerinin morfolojisini, tasarımını ve yapısını incelemiştir. Kirpi dikenlerinin büyük miktarlarda mekanik enerjiyi emmesine olanak tanıyan bir iç morfolojiye sahip olduğunu saptamışlardır. Ancak Hystrix hayvanının tüylerinin uçlarının kırılabilir bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Erinaceus'un omurgalarının maksimum yükü destekleyici ve elastik bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kirpiler yüksekte düşüğünde dikenlerinin bir şok emici etkiye sahip olduğu ve darbe enerjisini depolayabildiği anlaşılmıştır. Çalışmada kirpi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ececerenulas@gmail.com

dikenlerinin 1 mm çapında 15-20 mm uzunluğunda ve ortalama 3.5 mg ağırlığında olduğu belirlenmiştir [2].

Kennedy ve arkadaşları kirpi dikenlerinin hafif olduğunu, darbeyi sönmüleyerek düşmeye vb. durumlara karşı koruma sağladığını ve bu özelliklerinden dolayı da dayanıklı yapıların tasarımına elverişli olduğunu ortaya koymuşlardır. 80 °C sıcaklığında nemli bir ortamda bulunan kirpi dikenlerinin oda sıcaklığındaki koşullarda bulunan kirpi dikenine oranla çok daha büyük yüklerle karşı dayanıklı olduğunu tespit etmişlerdir. Renklerine göre yapılan değerlendirmede ise açık renkli dikenlerin çok renkli ve koyu olanlara oranla daha sağlam oldukları saptanmıştır. Yapılan çalışmada 1 mm çapında ve 16 mm uzunluğundaki kirpi dikenlerinin sıcaklık ve nem koşullandırma parametresi için, kirpi dikenlerinin aynı çaptaki AISI 201 paslanmaz çelik çubuktan dayanım olarak daha güçlü ve kendinden daha büyük çaplı stiren çubuklar (styrene roods) kadar da esnek olduğu ifade edilmiştir [3].

Swift ve arkadaşları kirpi üzerindeki doğal omurga düzenini taklit etmek için kabaca 130 keratin dikeninden oluşan örnekleri ince cidarlı alt tabakalara dikey olarak monte etmiştir. Nem etkisi, darbe enerjisi ve alt tabaka (substrate) sertliği gibi çeşitli parametrelerin etkisini değerlendirmek için numunelere çarpışma sarkacı uygulanmıştır. İşlem sonucunda daha sert numunelerin yüksek enerji sönmüleme performansı gösterdikleri ancak yumuşak yapıdaki (nem koşullandırma ve/veya kullanılan alt tabaka malzemesi nedeniyle) numunelerin çok sayıda tekrarlanan darbelere karşı daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca futbol kaskında kullanılan darbe emici köpük ile dikenlerin karşılaştırılması sonucunda benzer enerji sönmüleme özellikleri gösterdikleri saptanmıştır [4]. Futbol kaskına yönelik yapılan araştırmalar incelendiğinde kirpi dikenlerinin sarsıntıları sönmülemesi özelliği esas alınarak kask tasarımı yapıldığı tespit edilmiştir. Hedgemon şirketi futbol kaskı astarı için yeni bir tasarım oluşturmak amacıyla doğayı incelemiştir. Akron Üniversitesi'nde yüksek lisans programında eğitim gören öğrenciler ile yapılan ortak çalışma sonucunda çeşitli hayvanlar araştırılmıştır. Araştırma neticesinde optimum çözüme sahip canlıların kirpi olduğu belirlenmiştir. Biyomimikri alanında çalışan Hedgemon'un CEO'su Emily Kennedy, kirpi dikenlerinin bir düşüşle büküldüğünü, ancak kırılması için 200 kat daha fazla baskı gerektiğini belirlediklerini açıklamıştır. Yapılan çeşitli diken formu prototipi çalışmasının ardından sonra optimum sonucu veren nihai tasarım belirlenmiştir. İlerleyen yıllarda ortaya çıkan tasarım birlikte çalıştıkları araştırmacıların katkılarıyla daha da geliştirilmiştir [5-7]. Şekil 1 ' de kask prototipi için hazırlanan diken prototip çalışmaları görülmektedir.



Şekil 1. Çeşitli diken formu prototipi çalışmaları [6-7]
(Various spine form prototype studies)

Drol ve arkadaşları kirpi dikenlerinin flekzural (bükülme) performansını X-ışını mikro-bilgisayarlı tomografi (ICT), bilgisayar destekli tasarım (CAD), sonlu eleman analizi (FEA) ve flekzural analitik modelleme yardımıyla incelemiştir. Bunun için 1 mm çapında 16 mm uzunluğunda diken formu esas alınmıştır. Sonuçlar, dikenli omurgaların uzunlamasına kırılganlığının toplam ekzural sertliği önemli ölçüde arttırdığını, enine merkezi kırılganlığın ise dikenlerin bükülmesini ve çökmesini önlemek için destek ve sertlik sağladığını göstermiştir. Çalışma ile gerçek kirpi omurgasına en gerçekçi şekilde benzeyen 3D modelin en yüksek özgül bükülme sertliğine sahip olduğu tespit edilmiştir [8].

Li ve arkadaşları esnek tekstil bazlı süper kapasitörlerin (SC'ler) çeşitli hiyerarşik substratlara sahip olabilmesi için araştırma yaparak kirpi dikenlerinin yapılarının "kavrama etkisinden" esinlenerek biyonik lifli mikrodizi yapısına sahip çok boyutlu bir hiyerarşik kumaş elektrot modeli tasarlamışlardır[9].

Pan ve arkadaşları doğadaki malzemelerde bulunmayan özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanan yapay malzemelerin (metalmalzemelerin) orijinal performanslarından ödün vermeden daha fazla esnekliğe ve sağlamlığa sahip olmalarını amaçlamış ve kirpi dikenlerinden ilham almışlardır. Kirpiler darbe nedeniyle oluşabilen omurgadaki hasarı nadiren diğer omurgalara yayar böylece daha fazla tahribatı önler. Bu nedenle taklit edilebilecek kilit noktanın, makroskopik deformasyonun bireylerin birbiriyle bağlantısız deformasyonlarından kaynaklandığı, doğada her yerde bulunan dizi yapısı olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak şekli yeniden yapılandırılabilirlik, mekanik programlanabilirlik ve yeniden kullanılabilir enerji emilimi özelliklerine sahip çok kararlı metalmalzeme oluşturmak için bir 3D pikseli tasarım stratejisi sunulmuştur [10].

Ribeiro ve arkadaşları kısa lifli dokunmamış kirpi kestane dikenlerinin güçlendirilmiş polyester kompozit performansındaki bazı faktörlerin etkisini incelemiştir. İnceleme için Taguchi tarafından geliştirilen deney tasarımı (DOE) yaklaşımı kullanılmıştır. Yaklaşım ile fiber / matris kütle oranı veya ağırlık fraksiyonu ile tanımlanan fiber dispersiyonu, bir alkali-silan muamelesi kullanılarak geliştirilebilen arayüz mukavemeti ve fiberlerdeki nem seviyesi faktörleri kontrol edilmiştir [11].

Ayrıca literatürde kirpi davranışlarını inceleyen çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda kirpilere GPS veya başka cihazlar yerleştirilerek türleri hakkında

gözlemler gerçekleştirilmiş, doğaya etkileri incelenmiş ve kirpi dikenlerinin doğal hayatta da darbelere karşı koruyucu özelliği gözlemlenmiştir [12-16].

Literatürde kirpi dikenlerinin boyutları, formu ve özellikleri hakkında çalışmalar mevcut iken dikenlerin dokuya yerleşim planlaması hakkında yapılan çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Dikenlerin genellikle çeşitli yönere ve birbirlerine çakışarak dokudan uzaklaştığı bilinmektedir. Ayrıca dikenlere yük uygulandığında bu dikenlerin büküldüğü ve çevredeki dikenlerin birbiri ile etkileşime geçerek bükülme miktarını arttırdığı anlaşılmıştır. Böylece dikenlerin birden fazla yöne hareketini sağlayan serbestliğinin darbe sönümlemeyi kolaylaştırdığı ve dolayısıyla kirpiye etki etken kuvvetin hafiflediği sonucuna varılmıştır. Kirpi dikenlerinin bu özelliği çeşitli tasarımlarda kullanılmaya uygundur. Bu tasarımlardan biri de araç koltuklarında kullanılan ek sırt destekleridir. Bilindiği üzere bazı insanlar yolculuk sırasında (özellikle uzun süreli yolculuklarda) çeşitli ağrılar yaşarlar. Bunlardan biri de sırt ağrısıdır. Bu ağrıyı azaltmak amacıyla araç koltuklarına ek sırt destekleri takılır. Araç koltuğu sırt destek aparatlarının kirpi dikenini formunda olması ürünü daha işlevsel bir hale getireceği ön görüldüğünden; geliştirilecek tasarım sonucunda kullanıcının ergonomik ve düşük sarsıntılı bir yolculuk deneyimlemesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda modelleme çalışmaları, modellenen yapıların çeşitli senaryolar ile yapısal analizleri ve ergonomik incelemeler gerçekleştirilmiştir.

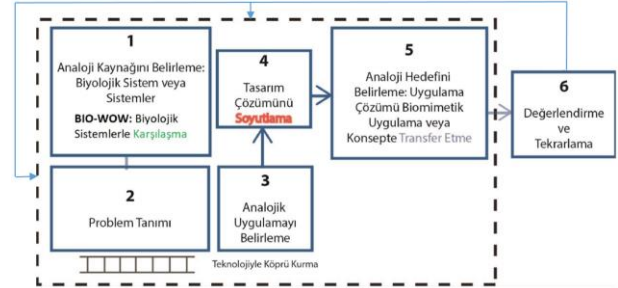
2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Hedeflenen çalışma kapsamında Şekil 2’ de görülen biyolojiden mühendisliğe ilkesi ile biyomimetik tasarım süreci uygulanmıştır. Özetle darbe sönümleme özelliği esas alındığında doğada bulunan çeşitli çözümler incelenmiş ve optimum çözümün kirpi dikenini formunda olduğu tespit edilmiştir. Çözümün uygulanabileceği problemler değerlendirilerek çalışmada belirlenen tasarım fikri oluşmuştur. Dolayısıyla doğadan tasarıma ilkesi esas alınarak çalışmanın gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Şekil 2’ deki biyolojiden mühendisliğe tasarım algoritması aşamaları aşağıda verilmiştir.

1. Aşama: Analogik kaynak kirpidir.
2. Aşama: Problem darbe sönümlemesinin arttırılmasıdır.
3. Aşama: Analogik uygulama kirpi dikenlerinin darbe sönümlemesini arttırmasıdır.

4. Aşama: Tasarım çözümü araç koltuklarına eklenen aparatın diken formunu barındırmasıdır.
5. Aşama: Analogik hedef sonucu oluşan uygulama dikenlerin darbe esnasında etkileşime geçerek darbeyi sönümlemesidir.
6. Aşama: Gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda etkili bir çözüm üretilmiştir.



Şekil 2. Biyomimetik tasarım süreci: biyolojiden mühendisliğe [17] (The biomimetic design process: biology to engineering)

Yapılan çalışmada araç koltuğu sırt desteği biyomimetik tasarım lensi yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuş bu amaçla oluşturulan kirpi dikenlerinin planlanan biyomimetik özellik sınıflandırılması Çizelge 1’de verilmiştir. Ayrıca tasarımın oluşumunda kirpinin diken formunun taksonomisi incelenmiştir. Biyomimikri taksonomisi, dünya üzerindeki incelenmiş canlılardan bir kısmının biomimikri baz alınarak sınıflandırılması ile oluşturulmuştur. Kirpinin analogi ile taklit edilmesi planlanan özelliklerinin; “Fiziksel Zarardan Korumak (Protect From Physical Harm)” ana grubu içerisinde, “Yapısal Güçleri Yönetmek (Manage Structural Forces)” alt grubunda ve “Darbe (Impact)” fonksiyonuna karşılık geldiği görülmektedir [18].

Tasarım sürecinin doğruluğu açısından öncelikle tasarım lensi yaklaşımı irdelenmiştir. Biyomimikride tasarım lensi, tasarım yaklaşımının temelini temsil eden görsel diyagramlar koleksiyonudur. Bu yaklaşım temel elemanlar, yaşam prensipleri ve biyomimetik düşünceyi içeren temel bileşenleri barındırır. Temel elemanlar parametreleri biyomimikri felsefesinin temeli, canlı türlerinin etkileşimlerinin önemi ve derinliği, doğadan esinlenilerek sürdürülebilir bir bütünlüğün oluşturulmasıdır. Yaşam prensipleri, dünyadaki türlerin devamlılığının bağlı ve bağımlı olduğunu ayrıca türler arasındaki kalıpları temsil eder. Biyomimetik düşünme ise probleme biyomimetik entegre etmeye nereden, nasıl, neden başlanacağına veya neyin probleme uyduğuna dair içerik ile biyomimetik herhangi bir tasarım sürecine dâhil etmek için bir çerçeve sunar [19-20].

Çizelge 1. Kirpi için özellik temelli biyomimetik sınıflandırma (Trait-based biomimetic classification for hedgehogs)

Organizma	Organizma nedir?	Kirpi dikenini
Zorluk	Kirpi hangi zorluğa karşılık vermektedir?	Herhangi bir düşüş veya darbe sırasında zarar görmemesi.
Strateji	Kirpi bu zorluğa nasıl karşılık vermektedir?	Kirpi dikenleri yapısı gereği büyük oranda bükülebilmektedir. Böylece darbe sırasında dikenler darbeyi sönümleyerek amortisör görevi görmektedir.
Fonksiyon	Kirpi neden bu stratejiyi uygulamak zorundadır?	Yaşamını sürdürülebilmek için doğada meydana gelebilecek her türlü darbeden kendini korumalıdır.

21]. Bu bileşenlerin değerlendirilmesinin ardından Şekil 3'te görülen tasarım stratejisi bileşenleri tasarım metodolojisine dâhil edilmiştir. Tasarım lensi metodolojisi kapsamında Çizelge 2 ve 3'te bu çalışma için tasarım eylemi ve yaşam prensipleri aşamaları verilmiştir.

Biyomimetik tasarım lensi yaklaşımının devamında Solidworks programında modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmasında oluşturulan diken formunun oluşturulmasında literatürde bulunan çalışmalardan ilham alınmıştır. Şekil 4'te görülen diken formu buna bir örnektir.



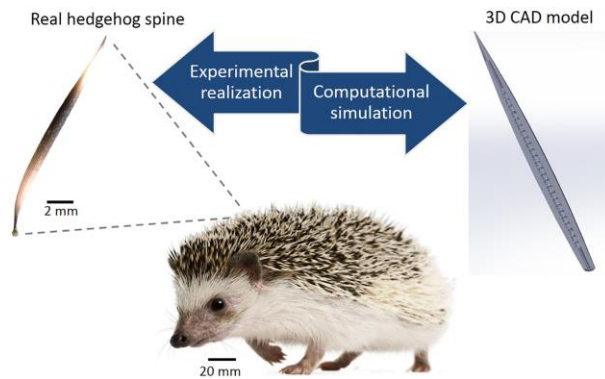
Şekil 3. Tasarım stratejisi (Design strategy) a) Tasarım eylemi (Design action) b) Yaşam prensipleri (Life principles) [22]

Çizelge 2. Tasarım eylemi (Design action)

1. Keşif Doğal Modeller	Kirpi dikenlerinin yapısı gereği darbeyi sönmüleyerek amortisör benzeri işlev gördüğü fark edilmiştir.
2. Beyin Fırtınası Biyolojiden esinlenen fikirler	Kirpi dikenlerinin özelliğini araç koltuğu sırt desteğine nasıl entegre edileceği irdelenmiştir.
3. Benzetme Tasarım prensipleri	Kirpilerin dikenlerinden esinlenilerek araç koltuğu sırt desteği tasarımı geliştirilmiştir.
4. Ölçme Yaşam prensiplerini kullanarak	Tüm süreçler daha ergonomik ve darbe sönmüleme özelliği daha fazla olan araç koltuğu sırt destek aparatının tasarlanmasını sağlamıştır.

Çizelge 3: Yaşam prensipleri (Life principles)

1. Değişime Adapte Ol Mevcut kullanıma alternatif	Tüklenen kaynaklar ve sektördeki rekabet endüstriyi daha verimli ve daha işlevsel ürünler için zorlamaktadır.
2. Uyum Sağla ve Sorumlu Ol Doğaya bakış	Araç koltuğu sırt desteğinin daha konforlu ve yolculuk sırasında oluşan darbeyi daha iyi sönmülemesi için kirpi dikenlerinin yapısının yardımcı olabileceği düşünülmüştür.
3. Kaynakların Verimli Olsun Sürdürülebilir	Kirpi dikenlerinden esinlenilerek geri dönüştürülebilir malzemeden tasarlanan ürün kaynakların verimli kullanılmasını ve hayatta kalmak için evrimleşmeyi sağlamıştır.
4. Gelişime Büyüme ile Adapte Ol Endüstriye uyum	Daha işlevsel bir ürün oluşturulmasının yanı sıra çalışan stratejilere adapte olan geri dönüştürülebilir bir ürün elde edilmiştir.



Şekil 4. Literatürde bulunan kirpi dikenini formu [8] (The hedgehog spine form found in the literature)

Kirpi dikeninden esinlenilerek hazırlanan tasarımın, mevcut tasarımlarla karşılaştırılması için Ansys programında 3 farklı senaryo için kuvvet analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Analiz için belirlenen yüksek elastikiyete sahip geri dönüştürülebilir termoplastik elastomer hidrojel ve mevcut tasarımlarda bulunan hafızalı köpük (viskoelastik poliüretan köpük) malzemelerinin bazı mekanik özellikleri Çizelge 4'te verilmiştir [23-24].

Çizelge 4. Malzeme özellikleri [25-26] (Material properties)

Malzeme	Shear Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Termoplastik elastomer hidrojel	0.18	0.38
Viskoelastik poliüretan köpük	0.7	0.227

Mevcut ürünler ile tasarımı gerçekleştirilen ürün arasındaki deformasyon farklılığını ortaya koymak için aynı şartlar (fiziksel geometri) altında ve 3 çeşit eylem senaryosu kullanılarak uygulanacak kuvvetler saptanmıştır. Şekil 8’de kuvvetin tasarımlara uygulanmış hali kesit görünüşü olarak verilmiştir.

Tasarlanan ürünün insan ile etkileşimli ergonomik bir ürün olmasından dolayı tasarım çalışmalarında ergonomik analiz uygulamasının da yapılması gerektiği tespit edilmiştir. RULA (Hızlı Üst Vücut Değerlendirme), REBA (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi), biyomekanik analiz uygulamaları sonucunda en doğru sonucu REBA yöntemi ile elde edileceği belirlenmiş ve çalışmada REBA yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yöntemin seçilmesinin nedeni; vücut bölümlerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi ve bu değerlendirmeler sonucunda tasarımın etkinliğinin arttırılacak olmasıdır. RULA yöntemi insan ile etkileşimdeki okul mobilyası, montaj fikstürü vb. bir tasarımda kullanıcının duruş pozisyonu itibarıyla oluşan ergonomik bozukluğun değerlendirilmesinde tercih edilmektedir [27-28]. Yöntemin bu çalışmada tasarlanan ürünün ergonomik olarak tam anlamı ile incelenmesine katkı sağlamadığı anlaşılmış bu nedenle tercih edilmesinin uygun olmadığına karar verilmiştir.

Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (REBA) yöntemi, tüm vücut için MSD (Kas-İskelet Bozuklukları) risklerini ve yapılan işle ilgili ergonomik tasarımla ilişkili riskleri değerlendirmek için gözleme dayalı olan sistematik bir süreç kullanır. Yöntem vücudu parçalara ayırır ve böylece hareket düzlemine göre ayrı ayrı değerlendirebilir. REBA yöntemi, statik, dinamik, değişen veya dengesiz duruşların neden olduğu kas aktivitesi için bir puanlama sistemi sağlar. Risk derecelendirme tablosu acil durumları gösterir ve bir müdahale sınırı verir [29]. REBA yöntemi için vücut A ve B olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. A grubunda bacaklar, gövde ve boyun bulunurken B grubunda üst kol, alt kol ve bilek bulunmaktadır. Vücut bölümlerinin skor değerlerinin belirlenmesinin ardından A tablosu ve

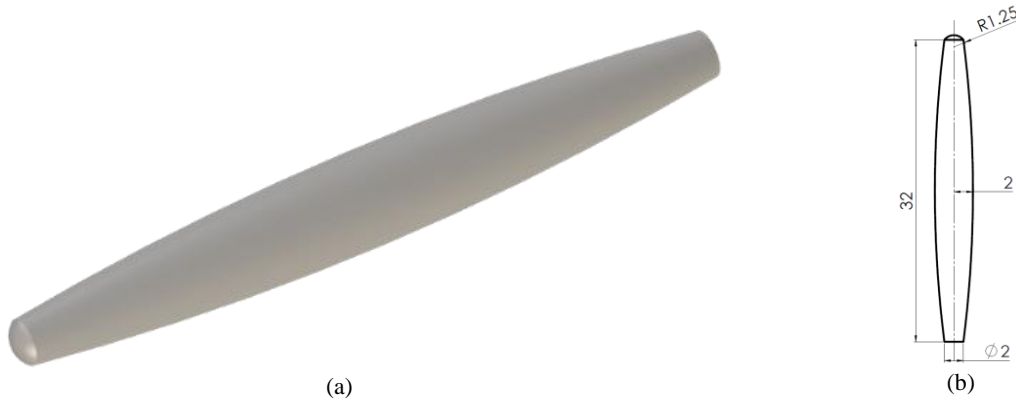
B tablosunun yardımıyla A ve B skor değerleri saptanır. A skoruna eklenen yük/kuvvet skoru ve B skoruna eklenen kavrama skorunun ardından C tablosu yardımıyla elde edilen C skoruna da aktivite skorunun eklenmesiyle REBA skoru elde edilir [30-32]. Yöntem endüstride bulunan bir atölyede çalışma duruşu nedeni ile oluşan rahatsızlık gibi çeşitli ergonomik rahatsızlıkların incelenmesinin yanı sıra mevcut çalışma gibi tasarımlarda da kullanılmaya uygundur[33].

3. TASARIM, MODELLEME ve ANALİZ

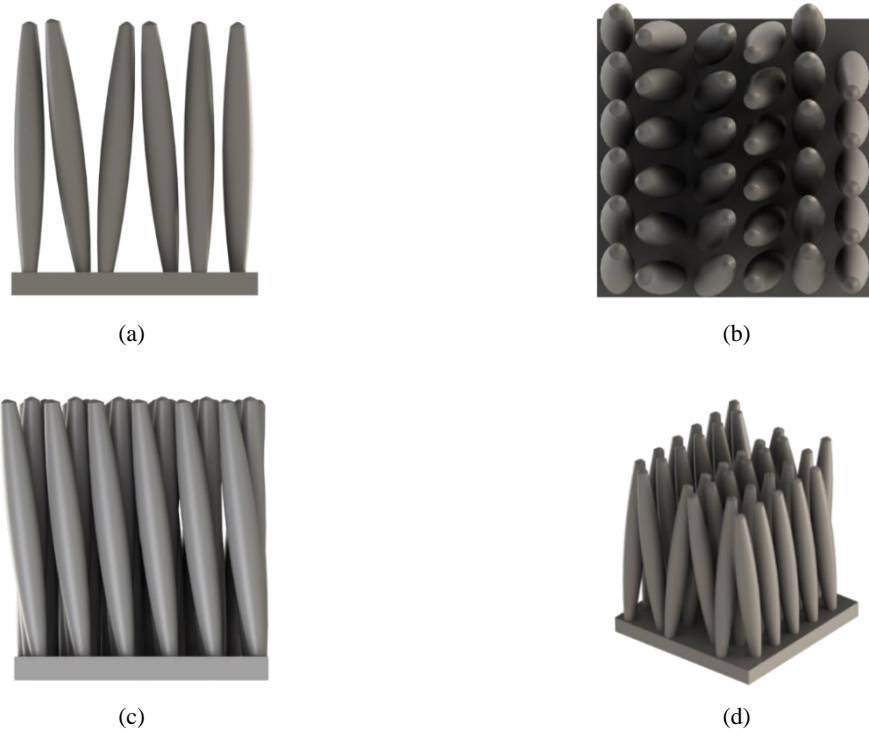
Biyomimetik tasarım lensi yaklaşımı ile tasarlanan araç koltuğu sırt desteğinin modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modelleme işlemlerinde yapılmış çalışmalarda kirpi dikenini formu esas alınarak tasarımdaki dikenler 2:1 ölçekte modele aktarılmıştır. Şekil 5’de kirpi dikenini formu ve modelde kullanılan boyutları verilmiştir.

Diken formu oluşturulmasından sonra Şekil 6’da görüldüğü gibi dikenler çok yönlü ve birbirleriyle etkileşim içinde olacak şekilde dizilmişlerdir. Modelde diken malzemesi olarak seçilmiş olan temoplastik elastomer hidrofil malzemesi alt tabaka malzemesi olarak da kullanılmıştır. Dizilim formu literatürde karşılaşılan modellerin değerlendirilmesi sonucu çalışmanın hedeflenen işlevselliği düşünülerek ve kask modeli de göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Tasarım sonucu ortaya çıkan ürünü kullanan kişilerin beklenmedik bir darbeye maruz kalmaları ile sırt desteğini oluşturan dikenler birbirleriyle etkileşime geçerek darbenin yayılmasını sağlayacak, bunun sonucunda da birey üzerindeki etkisi azalacaktır. Özetle dikenlerin sabit bir yerleşim planı veya açıları bulunmamakla birlikte (Şekil 6) etki eden kuvvete bağlı olarak doğrultuları devamlı olarak değişkenlik gösterecektir. Dolayısıyla kuvvetin sönümlenmesi sağlanmış olacaktır.

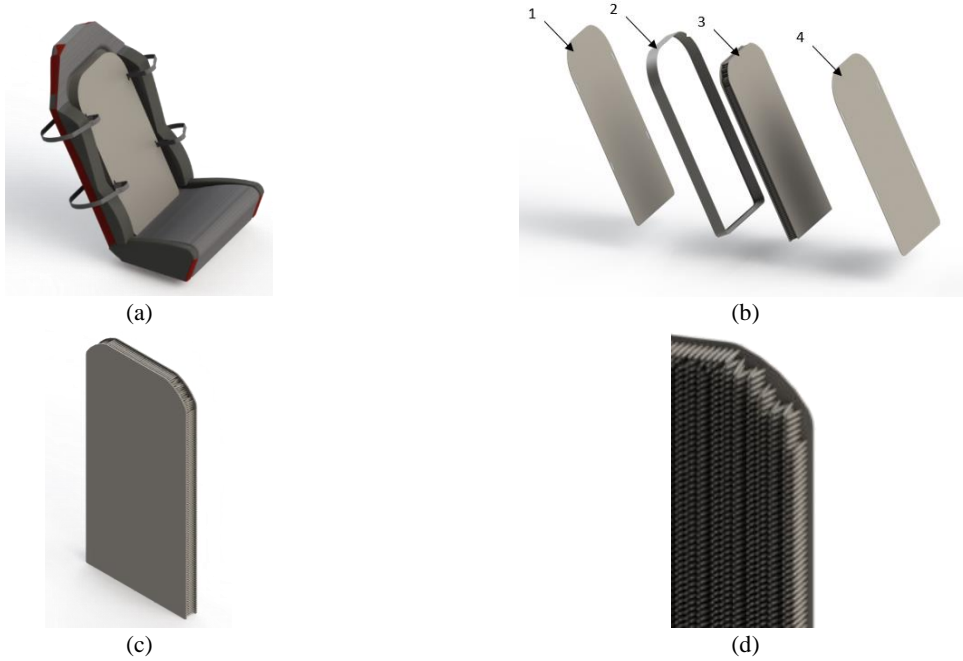
Şekil 7.a ’da sırt desteğinin araç koltuğuna bağlanmış hali görülmektedir. Hedefler doğrultusunda üretilmiş desteğin kayışlar ve tokalar kullanılarak koltuk bağlantısı yapılacaktır. Şekil 7.b ’de ürünün dağıtılmış görüntüsü



Şekil 5. a) Kirpi dikeninden esinlenilerek oluşturulan yapı (Structure inspired by hedgehog spine) b) Yapının teknik resm (Technical drawing of the structure)



Şekil 6. Darbe sönümleyici yapı kesitinin görünüşleri (Views of the shock absorber structure section) a) Önden görünüş (Front view) b) Üstten görünüş (Top view) c) Sol yandan görünüş (Left side view) d) Perspektif görünüş (Perspective view)



Şekil 7. Araç koltuğu sırt desteği tasarım çalışması (Vehicle seat back support design study) a) Araç koltuğu sırt desteği tasarımı (Vehicle seat back support design) b)Tasarımın dağıtılmış görüntüsü (Exploded view of the design) c) Darbe sönümleyici yapı (Shock absorbing structure) d)Detay görünüş (Detail view)

verilmiştir. Şekil üzerinde 3 numara ile belirtilen kirpi dikenli formuna sahip termoplastik elastomer hidrofilden üretilmiş bölümün dışında kalan tüm bileşenler dönüştürülebilir özellikteki polyester bazlı triko kumaştan üretilmiştir. Şekil 7.c’de hedef doğrultusunda

oluşturulan darbe sönümleyici yapı verilmiştir. Hedeflenen ürün bireyin yolculuk sırasında maruz kalabileceği beklenmedik darbeler ve seyahat kalitesine bağlı olarak hissedebileceği sarsıntıları azaltacak niteliğe sahip olacaktır. Bireyler mevcut şartlara oranla çok daha

konforlu bir yolculuk yaşayacaktır. Şekil 7.d'de kullanıcıya bu konforu sağlayacak olan tabaka görüntüsü verilmiştir.

Yeni tasarımın mevcut kullanımda bulunan sırt destekleri ile karşılaştırılabilmesi için belirlenmiş olan 3 farklı senaryo ANSYS analiz çalışmaları ile gerçekleştirilmiştir. 1. senaryoda araç koltuğunda 15 derece açı ile oturan 80 kg ağırlığa sahip bir kişinin ürünlere uygulayacağı kuvvet hesaplanmıştır. Senaryoda esas olarak kişinin gövdesi ürün ile etkileşimdedir. Ancak hem de gövde ağırlığı hem de kafa ağırlığı ürünü etkilediğinden, ürünü etkileyen son ağırlık yüzdelik olarak de Leva'nın segment ağırlık verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda bir insanın gövdesi vücut ağırlığının ortalama %43.02'sini kapsarken kafası %6.81'ini kapsar [34]. Bu durumda ürünü etkileyen toplam ağırlık vücut ağırlığının %49.83'dür. Kişinin ürüne uygulayacağı kütleyi hesaplamak amacıyla aşağıda görülen işlem gerçekleştirilmiştir.

$$m_2 = m_1 * \%49.83$$

$$m_2 = 80 * \frac{49.83}{100} = 39.864 \text{ kg}$$

Ağırlığın belirlenmesinin ardından kişinin ürüne uyguladığı kuvvetin belirlenmesi amacıyla aşağıda görülen işlem gerçekleştirilmiştir. İşlemden 15 derece açı ile oturan biri için kuvvet belirlenmiştir. 15 derecenin tercih edilmesinin nedeni ise araç koltuğunda oturmak için belirlenen en ergonomik pozisyonun bu açıda sağlanmasıdır.

$$F = m_2 * g * \cos 75$$

$$F = 39.864 * 9.8 * \cos 75 = 101.112 \text{ N}$$

Senaryo 1 için tasarımlara -z yönünde (Şekil 8.a ve 8.b'de görüldüğü gibi) tüm yüzeye etki edecek şekilde 101.112 N kuvvet uygulanmıştır. Ayrıca tasarımın araç koltuğu ile temas eden yüzeyi sabitlemiştir. Uygulanan kuvvetler sonucunda ürünlerdeki toplam ve z yönünde deformasyonlar incelenmiştir. Toplam deformasyon incelendiğinde yeni tasarımda kuvvetin uygulandığı yüzeyde ve dikenlerde minimum değerdeki deformasyon ($\approx 0 \text{ mm}$) görülürken mevcut tasarımın yüzeyinde maksimum deformasyon ($\approx 0.048 \text{ mm}$) görülmüştür. z yönündeki deformasyon incelendiğinde yeni tasarımda kuvvetin uygulandığı yüzeyde +z yönünde 0.014 mm genişleme görülürken mevcut tasarımda -z yönünde 0.044 mm daralma görülmüştür. Analizin amacı doğadan esinlenilerek oluşturulan diken formunun tasarımdaki etkisini incelemek olduğundan dikenlerde oluşan deformasyon dikkate alınmıştır. Mevcut tasarıma kıyasla yeni tasarım amortisör görevi yaparak kısılma yerine genişleme sağlamıştır. Tasarımlar arasında $0.044+0.014=0.058 \text{ mm}$ sapma mevcuttur.

2. senaryoda 5 saniyede 50 km/h hız ile aracı harekete geçiren ve araç koltuğunda 15 derece açı ile oturan 80 kilograma sahip bir kişinin ürüne uygulayacağı kuvvet hesaplanmıştır. Bu senaryoda da 1. senaryoda belirlenen m_2 kütlesi geçerlidir. Bu senaryoda ilk olarak ivme

ardından da analiz için gerekli olan kuvvet aşağıda görülen şekilde hesaplanmıştır.

$$V = V_0 + a * t$$

$$\frac{50 * 10^3}{60 * 60} = 0 + a * 5$$

$$a = 2.78 \text{ m/sn}^2$$

$$F = m_2 * a * \cos 75$$

$$F = 39.864 * 2.78 * \cos 75 = 28.68 \text{ N}$$

Tasarımlara -z yönünde tüm yüzeye etki edecek 28.68 N kuvvet uygulanmış ve ürünün araç koltuğu ile temas eden yüzeyi sabitlemiştir. Senaryo 2 sonucunda tasarımlarda meydana gelen toplam deformasyon incelendiğinde yeni tasarımda kuvvetin uygulandığı yüzeyde $\approx 0 \text{ mm}$ deformasyon oluşurken mevcut tasarımın yüzeyinde $\approx 0.013 \text{ mm}$ deformasyon görülmüştür. -z yönünde uygulanan kuvvet sonucu meydana gelen deformasyonun z eksenindeki etkisi incelendiğinde ise yeni tasarımın dikenlerin bulunduğu yüzeyinde 0.004 mm deformasyon görülmüştür. Mevcut tasarımın kuvvete maruz kalan yüzeyinde ise -z yönünde $\approx 0.013 \text{ mm}$ deformasyon görülmüştür. Sonuç olarak yeni tasarımda bir miktar genişleme meydana gelirken mevcut tasarımda bir miktar daralma oluşmuştur. Dolayısıyla tasarımlar arasında $0.004+0.013=0.017 \text{ mm}$ sapma mevcuttur.

3. senaryoda ise 36 km/h hız ile hareket eden bir aracın 1 metre mesafede oluşturduğu bir kazada araç koltuğunda 15 derece açı ile oturan 80 kilograma sahip bir kişinin ürüne uygulayacağı kuvvet hesaplanmıştır. Bu senaryoda da 1. senaryoda belirlenen m_2 kütlesi geçerlidir. Bu senaryoda meydana gelen enerjilerin birbirlerine eşitlenmesi ile analiz için gerekli olan kuvvet aşağıda görülen şekilde hesaplanmıştır [35].

$$E = F * x = \frac{1}{2} * m_2 * V^2$$

$$V = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{36 * 1000}{60 * 60} = 10 \text{ m/sn}$$

$$F * 1 = \frac{1}{2} * 39.864 * 10^2$$

$$F = 1993.2 \text{ N}$$

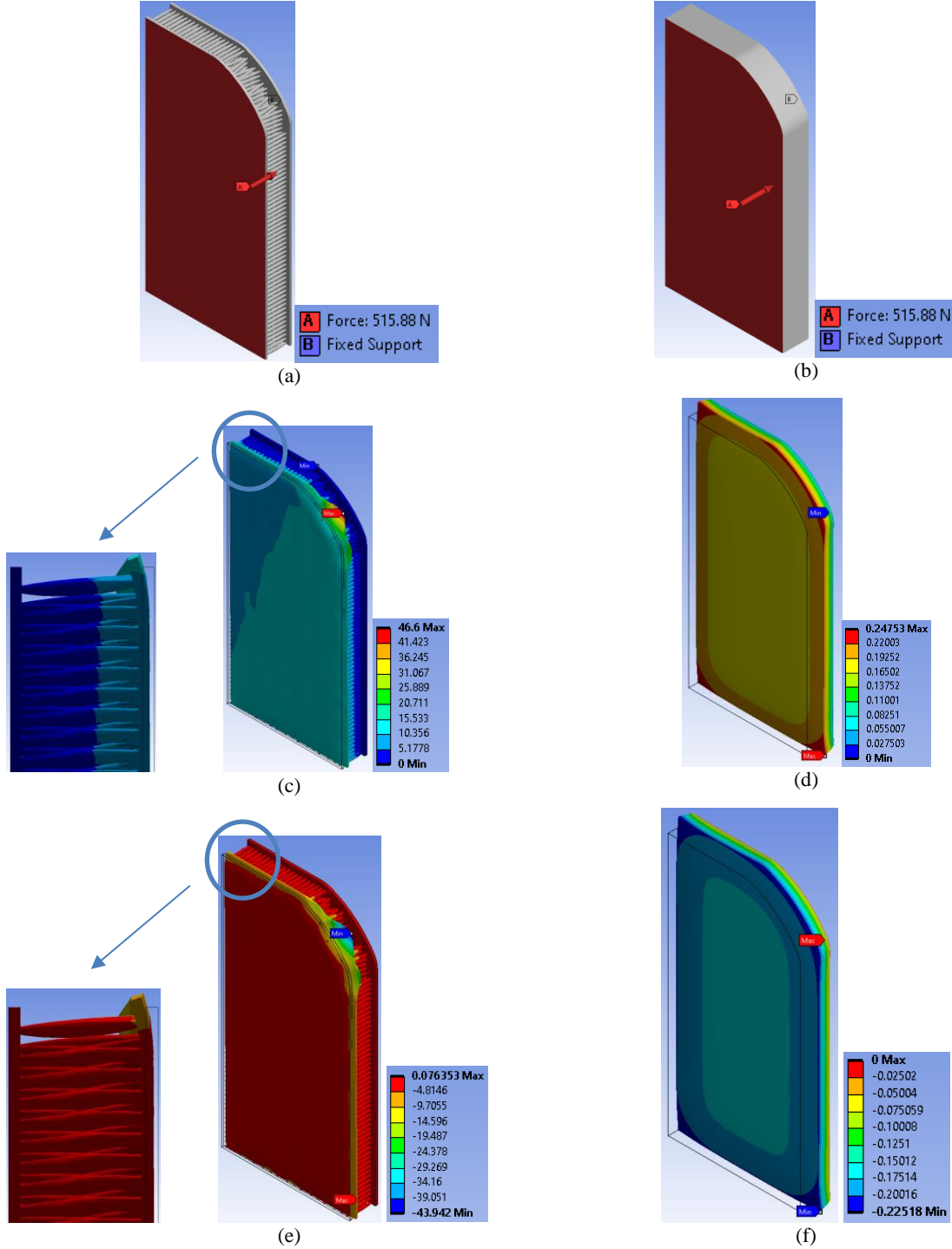
$$F * \cos 75 = 515.878 \text{ N}$$

Tasarımlara -z yönünde tüm yüzeye etki edecek 515.878 N kuvvet uygulanmıştır. Ayrıca tasarımın araç koltuğu ile temasta olduğu yüzey sabitlemiştir. 3. senaryonun uygulanması sonucunda tasarımlarda meydana gelen toplam deformasyon incelendiğinde yeni tasarımda kuvvetin uygulandığı ve dikenlerin bulunduğu bölgede minimum değere yakın deformasyon ($\approx 0 \text{ mm}$) görülürken mevcut tasarımın yüzeyinde ise yaklaşık 0.24 mm değerinde deformasyon görülmektedir. Analizin amacı gereği yeni tasarımda diken formunun bulunduğu bölgede oluşan deformasyon dikkate alınmıştır. Senaryo 3'ün uygulanması sonucunda tasarımlarda oluşan z yönündeki deformasyon incelendiğinde yeni tasarımda kuvvetin uygulandığı yüzeyde +z yönünde 0.076 mm genişleme görülürken mevcut tasarımda -z yönünde yaklaşık 0.23 mm daralma görülmektedir. Şekil 8.c ve 8.e'de görülen kafes yapısı tasarımın asıl durumunu gösterdiğinden tasarımın asıl yapısında oluşan değişim

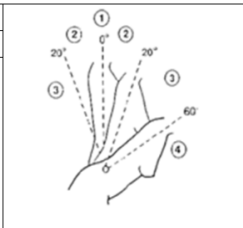
de açıkça görülmektedir. Tasarımlar arasında $0.076+0.23= 0.306$ mm sapma mevcuttur.

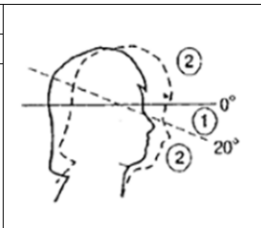
Ansys çalışması sonucunda yeni tasarımın mevcut tasarımın aksine kullanıcıyı kuvvetin tersi yönünde çok küçük bir mesafede ileri ittiği anlaşılırken mevcut tasarımda kuvvetin etki ettiği yönde malzemede

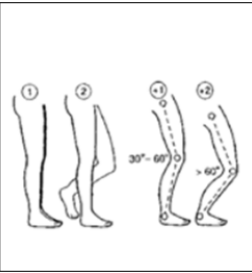
deformasyon saptanmıştır. İşlem neticesinde yeni tasarım ile darbe sönümlenmesinin arttığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuç kirpi dikenlerinin darbe sönümlenmesi hakkında literatürde bulunan diğer çalışmalar ile paralellik göstermiştir. Ansys çalışması sonrasında başka tür analiz çeşitlerinin uygulanabilir



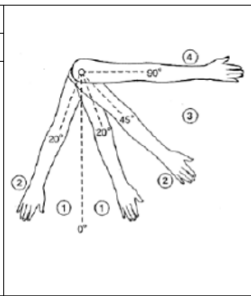
Şekil 8. Senaryo 3 için (For scenario 3) a) Yeni tasarımda kuvvet uygulanması (Applying force in the new design) b) Mevcut tasarımda kuvvet uygulanması (Applying force in the current design) c) Yeni tasarımda toplam deformasyon (Total deformation in the new design) d) Mevcut tasarımda toplam deformasyon (Total deformation in the current design) e) Yeni tasarımda z yönünde deformasyon (z-direction deformation in the new design) f) Mevcut tasarımda z yönünde deformasyon (z-direction deformation in the current design)

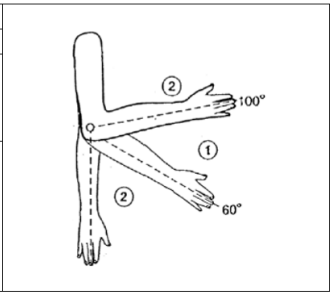
GÖVDE			Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Hareket	Skor	Skor Değişimi				
Dik	1					
0° - 20° <u>Flexiyon</u>	2	Yana esneme veya dönme varsa +1				
0° - 20° <u>Ekstansiyon</u>						
20° - 60° <u>Flexiyon</u>	3					
> 20° <u>Ekstansiyon</u>	4					

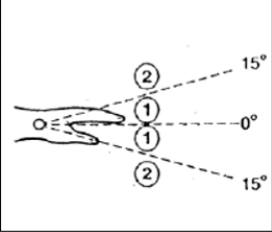
BOYUN			Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Hareket	Skor	Skor Değişimi				
0° - 20° <u>Flexiyon</u>	1	Yana esneme veya dönme varsa +1				
> 20° <u>Flexiyon</u> veya <u>Ekstansiyon</u>	2					

BACAK			Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Hareket	Skor	Skor Değişimi				
<u>Bilateral</u> (iki taraflı) <u>ağırlık taşıma</u> , <u>yürüme</u> veya <u>oturma</u>	1	Diz(ler)de 30°-60° arası <u>flexiyon</u> +1				
<u>Unilateral</u> (tek taraflı) <u>ağırlık taşıma</u> veya <u>sabit olmayan duruş</u>	2	Diz(ler)de >60° arası <u>flexiyon</u> (oturma hariç) +2				

Şekil 9. REBA yöntemi için gövde, boyun ve bacak skoru [31] (Trunk, neck and leg score for the REBA method)

ÜST KOL			Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Hareket	Skor	Skor Değişimi				
20° <u>Flexiyon</u> - 20° <u>Ekstansiyon</u>	1	Kolda: <u>Abduksiyon</u> varsa <u>Rotasyon</u> varsa +1 <u>Omuz yükselmişse</u> +1 Kolun duruşunda yerçekimi desteği etkiliyse -1				
20° - 45° <u>Flexiyon</u>	2					
> 20° <u>Ekstansiyon</u>	3					
45° - 90° <u>Flexiyon</u>	4					

ALT KOL			Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Hareket	Skor	Skor Değişimi				
60° - 100° <u>Flexiyon</u>	1					
< 60° <u>Flexiyon</u> veya > 100° <u>Flexiyon</u>	2					

BİLEK			Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Hareket	Skor	Skor Değişimi				
0° - 15° <u>Flexiyon</u> veya <u>Ekstansiyon</u>	1	Bileklerde yana esneme veya dönme varsa +1				
> 20° <u>Flexiyon</u> veya <u>Ekstansiyon</u>	2					

Şekil 10. REBA yöntemi için üst kol, alt kol ve bilek skoru [31] (Upper arm, lower arm, and wrist score for the REBA method)

olup olmadığı sorgulanmış ve REBA ergonomik analiz metodu uygulanması gerçekleştirilmiştir.

Araç koltuğuna doğru oturma pozisyonu 10° ile 20° olduğundan gövde skoru 2 olarak belirlenmiştir[31]. Araç koltuğunda bulunan bireyin sürüş sırasında karşılaştığı durumlar nedeniyle boyun 0° ile 20° arasında flexiyon hareketine sahiptir. Bu nedenle boyun skoru 1'dir. Birey oturma pozisyonunda olduğundan bacak skoru 1'dir. Bu değerlerin belirlenmesinin ardından REBA A skoru tablosu ile A skoru 2 olarak belirlenmiştir. Yönteme devam edebilmek için A skoruna yük/kuvvet skoru eklenmelidir. Doğadan esinlenilerek oluşturulan kirpi dikenli formundaki yapı nedeniyle kişiye herhangi bir kuvvet gelse dahi kuvvet kişiyi oldukça az bir miktarda etkileyeceğinden kuvvet skoru 0

olarak belirlenmiştir. Modele ani kuvvet gelebileceği düşünülse de ani ve hızlı kuvvet artışı modelin hareketli olduğu durumda daha çok etkilidir. Çalışmada bulunun model oturma pozisyonunda olduğunda ani artış olsa dahi kullanıcıya nazaran tüm araç etkileneneğinden göz ardı edilebilir [31].

Bireyin sürüş sırasında karşılaştığı durumlar sebebiyle üst kol 20° flexiyon ile 20° ekstansiyon arasında harekete sahip olduğundan 1 skoru uygundur. Araç koltuğunda bulunan bireyin alt kolları 60° ile 100° arasında flexiyon hareketine sahip olduğundan 1 skoru uygundur. Sürüş sırasında kişinin bilekleri 0° ile 15° arasında flexiyon ve ekstansiyon hareketinde olduğundan 1 skoru tercih edilmiştir. Değerlerin belirlenmesinin ardından B skor tablo yardımıyla 1

olarak belirlenmiştir. B grubuna ait vücut bölümlerinin skorları belirlenerek elde edilen B skoruna kavrama skorunun eklenmesi gerekmektedir. Kişi orta şiddette kavrama gücü kullandığından 0 skoru seçilmiştir [31].

A skoru ve yük/kuvvet skoru nedeniyle son A skoru 2 olarak belirlenirken B skoru ve kavrama skoru nedeniyle son B skoru 1 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle C skor tablosu yardımıyla C skorunun 1 olduğu anlaşılmıştır. Son REBA skorunun belirlenebilmesi için elde edilen C skoruna aktivite skoru eklenmelidir. Kişinin bir veya daha fazla vücut bölgesi sabit kalabildiğinden ve kısa aralıklarla tekrar eden işler bulunduğundan aktivite skoru 2'dir. Sonuç olarak REBA skoru 3 olarak saptanmıştır. REBA skorunun değerlendirilmesi amacıyla belirlenen risk derecelendirmesi sonucunda risk seviyesinin düşük olduğu anlaşılırken belirli durumlar için önlem alınmasının gerekli olabileceği saptanmıştır [31].

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Araçlarda yolculuk yapan bireyler koltuklarda konforu artırmak ve kişiye etki edebilen darbeleri azaltmak amacıyla ek bir aparat olan sırt destekleri kullanılmaktadır. Çalışmada bu aparatların geliştirilmesi amacıyla bir tasarım lensi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda yapılan tasarım lensi çalışması neticesinde doğadan esinlenilerek kirpi dikenli formunu içinde barındıran araç koltuğu sırt desteği aparatı tasarlanmıştır. Tasarımda geri dönüştürülebilirlik esas alınarak kullanıcının temas ettiği yüzeyde polyester bazlı triko kumaş, kirpi dikenli formu ve dikenlerin temas ettiği plakalarda termoplastik elastomer malzeme tercih edilmiştir. 3 farklı eylem senaryosu doğrultusunda gerçekleştirilen analiz çalışmaları neticesinde yeni tasarımın mevcut tasarıma kıyasla kullanıcıyı kuvvetin tersi yönünde çok minimum mesafede ileri ittiği anlaşılmıştır. Mevcut tasarımda ise kuvvetin etki ettiği yönde malzemede deformasyon saptanmıştır. Devamında yapılan ergonomik analiz çalışmasında uygulanan Reba yöntemi ile Reba skoru 3 olarak belirlenmiştir. 3 skoru risk seviyesinin düşük olduğu ve belirli durumlarda önlemin gerekli olabileceğini gösterir. Sonuç olarak kirpi dikeninden esinlenilerek oluşturulan yeni tasarım mevcut tasarıma göre ergonomik bir alternatiftir ve bu tasarım çeşitli eşyalara da uyarlanabilecek modifiye bir yapıdadır. Mevcut araştırmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışmada da kuvvet uygulanması durumunda dikenlerin birbiri ile etkileşime girdiği ve kuvvetin büyük bir kısmının hafiflediği görülmüştür. Gelecek çalışmalarda doğadan öykünerek bulunan bu çözümün mobilya sektörü, ortopedik yastıklar, yatak, sarsıntılı mutfak ürünlerine de entegre edilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada sadece formdan esinlenilmiştir fakat ileriki çalışmalarda dikenlerin malzeme özellikleri de değerlendirilerek çalışma geliştirilebilir.

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)

Ece Ceren ULAŞ: Tasarım ve analizi gerçekleştirdi.

Hüdayim BAŞAK: Tasarım ve analizi gerçekleştirdi.

Adnan AKKURT: Tasarım ve analiz sonrası yorum ve değerlendirmeleri gerçekleştirdi.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] <https://asknature.org/strategy/spines-work-as-shock-absorbers/>
- [2] Vincent, J. F., & Owers, P., "Mechanical design of hedgehog spines and porcupine quills", *Journal of Zoology*, 210(1): 55-75(1986).
- [3] Kennedy, E. B., Hsiung, B. K., Swift, N. B., & Tan, K. T., "Static flexural properties of hedgehog spines conditioned in coupled temperature and relative humidity environments", *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 75: 413-422,(2017).
- [4] Swift, N. B., Hsiung, B. K., Kennedy, E. B., & Tan, K. T., "Dynamic impact testing of hedgehog spines using a dual-arm crash pendulum", *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 61: 271-282, (2016).
- [5] Swift IV, N. B., "Hedgemon: A Hedgehog-inspired Helmet Liner", *Doctoral dissertation*, Case Western Reserve University, (2016).
- [6] <https://www.ideastream.org/news/akron-company-tests-hedgehog-quill-tech-to-prevent-concussions>
- [7] <https://immersiondesign.net/>
- [8] Drol, C. J., Kennedy, E. B., Hsiung, B. K., Swift, N. B., & Tan, K. T., "Bioinspirational understanding of flexural performance in hedgehog spines", *Acta biomaterialia*, 94: 553-564, (2019).
- [9] Li, Z., Ma, Y., Wang, L., Du, X., Zhu, S., Zhang, X., ... & Tian, M., "Multidimensional Hierarchical Fabric-Based Supercapacitor with Bionic Fiber Microarrays for Smart Wearable Electronic Textiles", *ACS applied materials & interfaces*, 11(49): 46278-46285, (2019).
- [10] Pan, F., Li, Y., Li, Z., Yang, J., Liu, B., & Chen, Y., "3D pixel mechanical metamaterials", *Advanced Materials*, 31(25): 1-8, (2019).
- [11] Ribeiro, J. E., Rocha, J., & Queijo, L., "Factors optimization to improve the tensile and flexural properties of short fibre non-woven hedgehog chestnuts spines reinforced polyester composites", *In 1st international Conference on Materials Design and Applications 2016*, Portekiz, 116-116, (2016).
- [12] Huijser, M. P., & Bergers, P. J., "The effect of roads and traffic on hedgehog (*Erinaceus europaeus*) populations", *Biological conservation*, 95(1): 111-116, (2000).

- [13] D'Havé, H., Scheirs, J., Mubiana, V. K., Verhagen, R., Blust, R., & De Coen, W., "Non-destructive pollution exposure assessment in the European hedgehog (*Erinaceus europaeus*): II. Hair and spines as indicators of endogenous metal and As concentrations", *Environmental Pollution*, 142(3): 438-448, (2006).
- [14] Barthel, L. M., Hofer, H., & Berger, A., "An easy, flexible solution to attach devices to hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) enables long-term high-resolution studies", *Ecology and evolution*, 9(1): 672-679, (2019).
- [15] Humphreys, P., & Jones, G., "The decision hedgehog for creative decision making", *Information Systems and E-Business Management*, 6(2): 117-136, (2008).
- [16] Recio, M. R., Mathieu, R., & Seddon, P. J., "Design of a GPS backpack to track European hedgehogs *Erinaceus europaeus*", *European Journal of Wildlife Research*, 57(6): 1175-1178, (2011).
- [17] Cohen, Y. H., & Reich, Y., "Biomimetic design method for innovation and sustainability", *Springer*, Berlin, Germany, (2016).
- [18] Fisch, M., "The nature of biomimicry: Toward a novel technological culture", *Science, Technology, & Human Values*, 42(5): 795-821, (2017).
- [19] <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-essential-elements/>
- [20] <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-lives-principles/>
- [21] <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-biomimicry-thinking/>
- [22] <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/biomimicry-designlens/>
- [23] <https://www.elastron.com/tr/tpe-termoplastik-elastomer-nedir>
- [24] <https://www.800bucklup.org/car-seat-accessories/lumbar-support/>
- [25] Fischenich, K. M., Lewis, J. T., Bailey, T. S., & Donahue, T. L. H., "Mechanical viability of a thermoplastic elastomer hydrogel as a soft tissue replacement material", *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 79: 341-347, (2018).
- [26] Jebur, Q. H., "Characterisation and modelling of transversely isotropic flexible viscoelastic foam", *Doctoral dissertation*, University of Glasgow, (2013).
- [27] Koç, Ö., Top, N., Eldem, C., Gökçe, H., & Şahin, İ., "Ergonomics assessment and redesign of helicopter transmission assembly fixture using digital human models", *Politeknik Dergisi*, 24(3): 1197-1203, (2021).
- [28] Sarı, M. İ., & Şahin, İ. "Ergonomic analysis based on digital human modelling: adjustable school furniture design for secondary school students", *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1097-1110, (2020).
- [29] <https://nawo-solution.com/reba-method/>
- [30] Atıcı, H., Gönen, D., & Oral, A., "Çalışanlarda zorlanmaya neden olan duruşların reba yöntemi ile ergonomik analizi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3): 239-244, (2015).
- [31] Shukriah, A., Baba, M. D., & Jaharah, A. G., REBA evaluation on garage worker: a case study, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(5S): 1080-1086, (2017).
- [32] Hignett, S., & McAtamney, L., Rapid entire body assessment (REBA), *Applied ergonomics*, 31(2): 201-205, (2000).
- [33] Erdemir, F., & Eldem, C. "Bir döküm atölyesindeki çalışma duruşlarının dijital insan modelleme tabanlı REBA yöntemi ile ergonomik analizi". *Politeknik Dergisi*, 23(2): 435-443, (2020).
- [34] <https://exrx.net/Kinesiology/Segments>
- [35] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/carc.html>