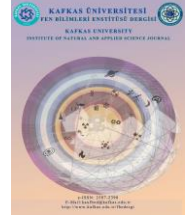




Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Institute of Natural and Applied Science Journal

Dergi ana sayfası/ Journal home page: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kujs>



E-ISSN: 2587-2389

Sonlu Elemanlar Yaklaşımıyla Koltuk Güvenliğinin ve Yapısal Tasarımının Optimizasyonu

Hatice DİLAVER^{1*} & Kamil Fatih DİLAVER²

¹Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Avrasya Araştırmaları, Niğde, Türkiye

²Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Elektrik Elektronik, Mühendisliği, Niğde Türkiye

(İlk Gönderim / Received: 04. 02. 2025, Kabul / Accepted: 30. 07. 2025, Online Yayın / Published Online: 31.07.2025)

Anahtar Kelimeler:

Sonlu Elemanlar Analizi (FEA),
Koltuk Tasarımı,
Güvenlik Optimizasyonu,
ECE R17,
Emniyet Kemerli Bağlantı Noktaları

Özet: Bu çalışma, sonlu elemanlar analizinin (FEA) fiziksel çarpışma testleriyle ECE R17 standartlarına uyumlu bir koltuk tasarımı için büyük ölçüde örtüşen güvenilir sonuçlar üretebildiğini ortaya koymaktadır. Simülasyon ve deneysel veriler arasındaki güçlü korelasyon, FEA'nın yapısal doğrulama aracı olarak maliyetli ve zaman alıcı prototip testlerinin yerini önemli ölçüde alabileceğini göstermektedir. Analizin ürün geliştirme sürecinin erken aşamalarında kullanılması, koltuk tasarımlarının optimize edilerek yolcu güvenliğinin artırılmasını ve endüstri standartlarının karşılanmasını mümkün kılmaktadır. Çalışma ayrıca, mühendislik simülasyon tekniklerinin tasarım verimliliğini yükseltme, malzeme israfını azaltma ve yenilikçi güvenlik çözümleri geliştirme açısından önemini vurgulamaktadır. Elde edilen maksimum gerilme değerlerinin ECE R17 standardındaki 20 kN sınırının altında kaldığı belirlenmiş olup, araştırma bulguları modern araç koltuklarının çarpışma senaryolarında maksimum koruma sağlamasına katkıda bulunmaktadır.

Optimization of Seat Safety and Structural Design Through Finite Element Analysis

Keywords:

Finite Element Analysis (FEA),
Seat Design,
Safety Optimization,
ECE R17,
Seat Belt Anchorage Points

Abstract: This study demonstrates that Finite Element Analysis (FEA) can produce highly consistent and reliable results with physical crash test data for a seat design compliant with ECE R17 standards. The strong correlation between simulation and experimental data indicates that FEA can significantly reduce the need for costly and time-consuming physical prototype testing as a structural validation tool. Utilizing FEA in the early stages of the product development process enables the optimization of seat designs to enhance passenger safety and meet industry regulations. The study also emphasizes the importance of engineering simulation techniques in improving design efficiency, minimizing material waste, and developing innovative safety solutions. It was determined that the maximum stress values obtained remained below the 20 kN threshold specified in the ECE R17 standard, and the findings contribute to ensuring maximum protection of modern vehicle seat systems under crash scenarios.

*İlgiliyazar: haticedilaver509@gmail.com
DOI: 10.58688/kujs.1633186

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi, günümüzde hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde önemli bir rol oynamaktadır. Otomotiv sektöründe söz sahibi olan ülkelerin, pazar paylarını artırmak amacıyla bu alandaki teknolojik gelişmelere giderek daha fazla önem verdikleri gözlemlenmektedir (Eraslan, Cıbelek & Polat, 2014). Güçlü bir otomotiv sektörü, sanayileşmiş ülkelerin ortak özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Otomotiv sektörünün bu etkin gücünü sürdürebilmesi için katma değeri yüksek ürünler geliştirilmeli ve iyileştirilmelidir; yani teknoloji, tasarım ve güvenlik açısından avantajlara sahip olmalıdır.

Bu durum, Ar-Ge (Araştırma ve Geliştirme) faaliyetlerinin önemini ortaya koymaktadır. Son yıllarda otomotiv sektörüne yönelik beklentiler önemli ölçüde artmıştır. Bunun en önemli nedenlerinden biri, ekonomik refahın artmasıyla birlikte bireylerin güvenlik ve tasarım gibi unsurlara daha fazla önem vermeye başlamasıdır. Bunun yanı sıra, güvenlik alanındaki yasal düzenlemeler ve sektörün sahip olduğu bilgi birikiminin artması, hızlı ilerlemenin önünü açmıştır. Bu dinamik sistemin sürekli olarak gelişmesi, yeni yeniliklere hızla adapte olması ve alternatif ürünleri en kısa sürede müşteriye sunması gerekmektedir. Tüm bunlarla birlikte, başarılı bir ürün geliştirme süreci için tasarım ve doğrulama aşamalarında önemli ölçüde çaba sarf edilmesi gerekmektedir. Günümüzde, bir otomobilin tasarımı, bu tasarımın analiz programları yardımıyla geliştirilmesi ve oluşturulan tasarım prototipinin seri üretim aşamalarına geçirilmesi oldukça karmaşık bir süreç haline gelmiştir.

Otomobil tarihindeki önemli gelişmelerin çoğu, sektörde öncü olan ülkelerin mevzuatları tarafından yönlendirilmiştir. Standart, belirli bir kalite seviyesini sağlamak ve korumak amacıyla parça, malzeme veya süreçlerin uyumluluğunu ve verimliliğini belirleyen koşullar bütünü olarak tanımlanmaktadır (Budynas & Nispett, 2020). Üreticiler, devletlerin otomobiller için belirlediği asgari standartları sürekli olarak güncellemesi nedeniyle büyük bir baskı altındadır. Gelişmekte olan ülkelerin mevzuatları genellikle, bu alanda gelişimini tamamlamış ülkelerin mevzuatlarına dayanmaktadır. Örneğin, Avrupa'da Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) düzenlemeleri geçerlidir. Avrupa pazarına ihraç edilecek araçlar, üretim sonrası bu düzenlemelere uygun olmalıdır. ABD'ye ihraç edilecek araçların ise, ABD Ulaştırma Bakanlığı tarafından tanımlanan "Federal Motorlu Taşıt Güvenlik Standartları ve Kuralları"nı karşılaması gerekmektedir.

Büyük miktarda üretilecek (seri üretim ve toplu üretim) ürünlerin teknik ve ekonomik özelliklerinin, tam kapasite üretime geçmeden önce detaylı bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu tür üretimler, genellikle numuneler ve prototipler kullanılarak gerçekleştirilir ve birçok geliştirme aşaması gerektirir (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote, 2007).

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen temel süreçler izlenerek bir araç koltuğu tasarlanmıştır. Araç koltuğu, "erişkin bir bireyin oturması için tasarlanmış, araç yapısına entegre olabilen veya bağımsız bir yapı olarak aksesuarlarıyla birlikte kullanılan bir yapı" olarak tanımlanmaktadır (ECE

R17 Standardı). Başarılı bir araç koltuğu geliştirmek için müşteri beklentileri, koltuğun kullanılacağı araçların gereklilikleri, satış yapılacak ülkelerin mevzuatları, ergonomi, araç dinamikleri üzerindeki etkisi (sürüş vb.), üretim sürecine uygunluk, tasarım estetiği, ağırlık, yatırım maliyeti ve birim başına maliyet gibi birçok girdinin ve kısıtın dengelenmesi gerekmektedir. (ör. 64 km/s test hızı, 20 ms çarpışma süresi)

Koltuk; kullanıcı ergonomisini sağlayan, emniyet sistemleriyle entegre çalışan ve aracın yapısal düzenine uygun olarak tasarlanmış bir iç donanım bileşeni olarak tanımlanabilir. Bu yapılar, yalnızca oturma işlevi değil, aynı zamanda darbe emici özellikleriyle pasif güvenlik fonksiyonlarını da yerine getirir.

Bir araç koltuğu, emniyet kemeri bağlantı noktası testi, statik yükleme testi, enerji dağılımı testi, doğrusal darbe testi, giriş/çıkış dayanım testi, kullanım ömrü ve yorulma testleri, H noktası ölçümü, bel yorulma testi, yapısal yorulma testi, koltuk ayar mekanizmaları için dayanım testleri, güneşlik yorulma testi, bileşenler için iklimlendirme testleri ve titreşim testleri gibi çok sayıda teste tabi tutulmaktadır. Çevremizde meydana gelen olayları veya karşılaştığımız sorunları çoğu zaman kolayca kavrayamayız ya da çözemeyiz. Bu nedenle, karmaşık bir problemi daha anlaşılır hale getirmek amacıyla, onu bilinen veya daha basit alt problemlere ayırarak çözmeye çalışırız. Mühendislik uygulamalarında bazı problemleri tamamen çözmek imkânsızdır; bu tür durumlarda, yaklaşık bir çözüm kabul edilmektedir (Topcu & Taşgetiren, 1998).

Sonlu elemanlar yöntemindeki temel yaklaşım, karmaşık problemlerin daha basit alt problemlere bölünmesi ve her bir alt problemin kendi içinde tamamen çözülmesidir. Bu yöntemin üç temel özelliği bulunmaktadır. İlk olarak, geometrik olarak karmaşık çözüm bölgesi, "sonlu elemanlar" olarak adlandırılan daha basit geometrik alt bölgelere ayrılır. İkinci olarak, her bir eleman içindeki sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonları olarak ele alınır. Son olarak, her bir eleman içinde tanımlanan denklemlerin sürekli değerlerinin elde edilmesi, problemi çözmek için yeterli olmaktadır.

Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), fiziksel olarak çözümü zor olan karmaşık mühendislik yapılarını, daha basit geometrik ve matematiksel modellere ayırarak her alt bileşeni ayrı ayrı çözümlemeyi esas alır. Bu yaklaşım, mühendislik analizlerinde yüksek hassasiyetle sonuçlar üretilmesini sağlar.

Sonlu elemanlar yöntemi ve bilgisayar teknolojileri zaman içinde geliştikçe, maliyet açısından fiziksel testlere kıyasla daha erişilebilir hale gelmiş ve sanayi tarafından tercih edilir olmuştur. Bu teknolojiler sayesinde, tasarım aşaması analiz edilerek optimize edilebilir ve minimum sürede sonuçlara ulaşılabilir. Bu çalışmada, tasarlanan koltuk, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sanal bir dinamik çarpışma simülasyonuna tabi tutulacaktır. Elde edilen bulgular, tasarlanan koltuğun seri üretime uygunluk kriterleri ile karşılaştırılacaktır. Literatürde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan araç koltuğu analizlerine dair birçok çalışma bulunmaktadır (Literatürdeki önceki çalışmalar (ör. Eraslan ve ark., 2014; Fang ve ark., 2005a; Youn ve ark., 2004)).

Daha önce yapılan çalışmalar, araç koltuğu tasarım sürecinin oldukça detaylı ve zaman alıcı bir süreç olduğunu göstermiştir. Bu sürecin kısaltılabilmesi amacıyla, bu çalışmada cıvata ve somun seçimi, sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen bulgular doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarım, koltukların, koltuk bağlantılarının ve baş dayama yerlerinin onaylanmasına ilişkin hükümler içeren ECE R17 yönetmeliği referans alınarak oluşturulur. Koltuğun CAD modeli, CATIA V5 tasarım programı kullanılarak geliştirilir. Bu çalışmada koltuğun yapısal tasarımına odaklanılmış olup, sonlu elemanlar yöntemiyle analizler gerçekleştirilir. Bu nedenle, koltuğun sünger dokusunu temsil eden yüzey üzerinde herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Ayrıca, çalışmanın ön darbe testi üzerine olması ve süngerin bu tür darbeler üzerinde önemli bir etkisinin bulunmaması nedeniyle analizler sünger olmadan gerçekleştirilmiştir. Koltuğun sabitlendiği zemin ve maketin ayakları altındaki sac levha tasarlanarak modele eklenmiştir. Böylece tasarımın ilk aşaması tamamlanır. Sonraki aşamalarda, tasarım optimizasyonu ve analizler eş zamanlı olarak yürütülür (ör. 64 km/s test hızı, 20 ms çarpışma süresi). Araç koltuğu tasarımında, ilgili güvenlik ve yapısal dayanım koşullarını karşılayabilmek amacıyla Avrupa Birliği çerçevesinde geçerli olan ECE R17 regülasyonu temel alınır ve bu kapsamda baş dayama elemanları, bağlantı noktaları ve koltuk gövdesine ilişkin yapısal kriterler göz önünde bulundurulur.

Tasarımı güçlendirmek amacıyla birçok revizyon yapılmış ve onlarca simülasyon gerçekleştirilmiştir. Koltuk tasarımı oluşturulurken, iki simetrik yandan biri önce tasarlanmış ve ardından CATIA V5'te bulunan "mirror" modu kullanılarak diğer tarafa yansıtılır. Tüm CAD tasarımı, bir binek araç modeline ait H noktası referans alınarak gerçekleştirilmiştir. H noktası, bir yolcunun oturma pozisyonunda kalça veya kuyruk sokumu bölgesinin teorik konumu olarak tanımlanmaktadır. Bu konum genellikle otomobil üreticileri tarafından belirlenmekte ve tasarımlar buna göre yapılmaktadır.

Çalışmada, insanı temsil etmek amacıyla standart bir maket kullanılır. Ayrıca, bağlantı noktalarının mukavemetini artırmak için destekleyici nervürler eklenir. Nervürlerin yönü, gelen kuvvetin yönü dikkate alınarak belirlenir. Sonlu eleman modeli oluşturulurken temel olarak bir CAD programında hazırlanarak olan geometrik model kullanılır. Model, dinamik analiz gerçekleştirebilen bir sonlu elemanlar analizi (FEA) programına aktarılır ve burada sonlu eleman modeline dönüştürülür. Bu dönüşüm işlemi tamamlandıktan sonra, çözümleyici (solver) yardımıyla dinamik analiz hesaplanmaktadır. Son olarak, analiz sonuçlarını yorumlamak için kullanılan bir son işlemci (post-processor) yardımıyla çözümleyiciden elde edilen sonuçlar işlenip analiz edilmektedir.

2.1. Sonlu Elemanlar Modeli

Yapılan çalışmada, bir koltuk ve iç mekân şirketine ait hazır malzeme eğrileri kullanılır. Daha sonra, rijit bağlantı elemanları tanımlanmıştır.

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması süreci temel olarak şu aşamalardan oluşmaktadır: Hypermesh, CATIA V5 veri kullanımını desteklediğinden, CAD verileri doğrudan içe aktarılabilir. Böylece, Hypermesh arayüzüne geçiş sağlanmaktadır. Yapının tamamı sac metal formunda olduğundan, sonlu elemanlar modeli her bir parça için orta yüzey (midsurface) kullanılarak kabuk eleman (shell element) türüyle oluşturulur. Daha sonra ağ (mesh) modeli oluşturulmuş ve her bir parçanın malzeme kalınlığı gibi özellikleri tanımlanır.

Malzeme tanımlaması, özellikler belirlendikten sonra gerçekleştirilir. Malzeme bilgileri ya manuel olarak girilebilir ya da hazır bir malzeme eğrisi içe aktarılabilir. Çalışmada, bir koltuk ve iç mekân şirketine ait hazır malzeme eğrileri kullanılır. Daha sonra, rijit bağlantı elemanları tanımlanır. Bu çalışmada cıvata-somun bağlantı elemanları fiziksel olmayacak şekilde seçilmiş olup, mukavemetleri kontrol edilmemiştir. Bu bağlantılarda yay elemanları tanımlanmış ve bu noktaların deformasyona uğramayacağı kabul edilmiştir.

Buradaki amaç, farklı cıvata-somun bağlantılarını test etmek yerine, her bir bağlantı noktasında oluşacak kuvveti yay elemanı ile belirleyerek uygun cıvata veya somun seçimini yapmaktır. Yay sabitleri, benzer literatürden alınan katalog verilerine dayalı olarak belirlenmiştir.

Bağlantı elemanlarının modellenmesinde, rijitlik varsayımına dayalı klasik yaklaşım yerine, cıvata ve somun noktalarına yay elemanları atanarak deformasyon karakteristiği tanımlanır.

Sonlu eleman modeli oluşturulurken iki farklı temas yüzeyi türü belirlenir. Bunlardan biri çoklu kullanım için tanımlanan Tip 7, diğeri ise kenardan kenara temas için kullanılan Tip 11 olarak belirlenir. Her temas yüzeyi bir eleman olarak işlev görmektedir. Tip 11, kiriş, çubuk ve yayların kenarlarını belirlemek için kullanılır. Daha sonra, Hypermesh'ten alınan veriler rad dosyası formatında dışa aktarılır ve HyperCrash programına içe aktarılır. Burada sınır koşulları ve temas yüzeyleri tanımlanır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri, Hypermesh'te kullanılan birim sisteminin HyperCrash'e aktarılırken de aynı şekilde korunmasıdır.

CAD verileri Hypermesh platformu aracılığıyla meshleme sürecine tabi tutulur ve ardından .rad uzantılı çözüm dosyaları oluşturularak HyperCrash ortamına aktarılır. Bu aşamada temas tanımlamaları ve sınır koşulları belirlenmiş, çözümler Radioss çözücüsüyle yürütülür.

Hız fonksiyonu oluşturmak için, değerler HyperCrash'e manuel olarak girilebildiği gibi, daha önce hazırlanmış bir hız fonksiyonu da içe aktarılabilir. Ayrıca, müşteri tarafından sağlanan hız verileri de kullanılabilir. Aynı tür bir aracın testinde kullanılan hız fonksiyonu içe aktararak kullanılır. Son olarak, verilerin çözümleme süreci Radioss programı üzerinden başlatılmaktadır.

2.1.1.Dinamik Çarpışma Analizi İçin Veri Girişleri

Hız değişimi, fiziksel çarpışma sonrası koltuğun maruz kalmasını istediğimiz ilk etki olarak tanımlanmıştır. Bu hız, yaklaşık olarak 64 kilometre/saat hızına karşılık gelmektedir.

Hız değişimi, fiziksel çarpışmadan sonra koltuğun maruz kalmasını istediğimiz ilk etki olarak tanımlanmıştır. Bu hız yaklaşık olarak saatte 64 kilometreye karşılık gelmektedir.

2.1.2. Analiz Sonuçları

Elde edilen maksimum gerilme değerinin, ECE R17 standardında belirtilen 20 kN sınır değerinin altında kaldığı fiziksel olmayarak tespit edilmiştir.

Radioss programı, Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) sırasında her iterasyon adımının doğruluğunu orantılı olarak hesaplayarak çözümün ve dolayısıyla girdilerin ve sınır koşullarının doğruluğu hakkında bilgi verir. Bu oran kritik bir değer olan $\pm 10\%$ olarak tanımlanır. Bu nedenle, çözüm sırasında oluşan hata sayısını sorgulayarak çalışmanın kabul edilebilir bir seviyede olup olmadığını görebiliriz.

Aşağıdaki grafikten, hata sayısının kabul edilebilir değerler aralığında olduğu ve dolayısıyla analizimizin gerçekçi bir sonuç verebileceği görülmektedir (Özlü Ö., 2016). Yapılan bir çalışma farklı karelerde koltuğun ve maket mankenin davranışını gösteren görselleri içermektedir (Özlü Ö., 2016).

Kazaların birinci faktörü şüphesiz insandır. Aracın, aracı kullanan kişi ya da kazadan etkilenen kişi olması nedeniyle, otomobil firmaları sürekli olarak kazaların etkilerini azaltmak için önlemler üzerinde çalışmaktadır. Bu önlemler, pasif güvenlik faktörleri olarak tanımlanır. Koltuğun en önemli bileşenlerinden biri kuşkusuz emniyet kemeri ve bağlantı noktalarıdır. Çarpışmanın etkisiyle maket mankeni tutma görevi üstlenen emniyet kemeri bağlantı noktalarındaki yük oldukça yüksektir. Bu nedenle, bu bağlantı elemanlarının tasarımı ve malzeme seçimi daha da önem kazanmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışmada kullanılan strateji, bolt-nut bağlantılarını tanımlayıp bu bölgeleri rijit kabul etmek, ardından bu bölgelere gelen kuvveti hesaplayarak seçilen bolt-nut bağlantısının dayanması gereken net kuvveti bulmaktır. Diğer bir deyişle, bu çalışmada, deneme-yanılma yönteminin tekrarından uzaklaşarak, emniyet kemeri bağlantı noktalarına gelen kuvvet miktarı, bolt-nut bağlantıları gibi analiz edilir ve ürünler buna göre seçilir. Bu, gereksiz tekrarlar yapmamızı engeller ve gereksiz güçlü ürünler seçmemize engel olur. Güvenlik bağlantıları, koltuğa gelen kuvvet kadar, araç bağlantı noktalarına gelen kuvvetle de ilgilidir. Yukarıdaki sonuçları incelediğimizde, emniyet kemeri tokalarındaki en büyük kuvvetin, emniyet kemeri bağlantılarında bulunduğu (≈ 17 kN). Bu nedenle, toka mekanizması ve kemer kumaşı, bu kuvvete karşı dayanacak özelliklere sahip olmalıdır. Daha önce tanımladığımız gibi, bolt-nut bağlantı noktalarına yay tanımlayarak, rijit sıralama benimseyip gelen kuvvetleri hesaplama stratejisi ile, bolt-nut bağlantısının dayanması gereken kuvvet bulunur. Örneğin, yaydan gelen bağlantı

kuvvetinin büyüklüğü yaklaşık 10,5 kN'dir. Bu nedenle, bu noktalarda seçilecek bağlantı elemanları, her bir piye (yaya) bu yükleri kaldıracabilecek şekilde seçilmelidir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, tasarım, optimizasyon ve sonlu elemanlar modelinin analiz süreçlerinin entegre bir şekilde yürütülmesi sonucunda bir dizi tasarım değişikliği yapılmış ve bu değişikliklerin ardından her bir sonlu elemanlar modeli analiz edilerek kabul kriterlerine uygun tutarlı analiz sonuçları elde edilmiştir. Çalışmanın tarafımızda fiziksel ürünleri bulunmadığı için gerçek bir çarpışma testi sonucu mevcut değildir. Ancak çalışmamızı, aynı tip koltukları tasarlayıp test eden koltuk üreticilerinin elde ettiği fiziksel test bulguları ile karşılaştırdığımızda, tutarlı sonuçlara ve fiziksel test sonrası prototipine sahip olduğumuzu görebiliriz. Olumlu sonuçlar elde edildiğinde, bu doğrulayıcı fiziksel olmayan bulgulara ulaşılmıştır.

Bir firma tarafından gerçekleştirilen deneysel koltuk test projesi, materyal metot ile paraleldir. Tarafımızca materyal metot fiziksel olarak uygulanmamış fakat kullanılan bolt- yay eleman simülasyon yaklaşımıyla yapılan bağlantı seçimi, test sonuçlarıyla doğrulanmış ve bu, çalışmayı destekleyen memnuniyet verici sonuçlar sunmuştur. Ürün geliştirme sürecinde, bir parçadaki çok küçük bir tasarım değişikliğinin, bu parçaya etki eden kuvvetlerin dağılımında olumlu veya olumsuz önemli değişikliklere yol açabileceği gözlemlenmiştir. Ya da parçanın seçilen malzemesinin değiştirilmesi, parçadaki kuvvet dağılımına önemli ölçüde katkı sağlayabilirliği anlaşılmıştır.

Çalışmamızda en önemli noktalardan biri şüphesiz, bağlantı elemanları olan bolt-nutlara gösterilen karşılaştırmalı yaklaşımdır. Bolt bağlantıları, fiziksel olmayan bir şekilde tahmini yay elemanları olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, tasarım ve optimizasyon sürecinde sıkça karşılaşılan deneme-yanılma sürecini kolaylaştırmak ve kullanılan eleman sayısını azaltmak amaçlıdır. Bolt-nut bağlantıları soyut bir şekilde yay elemanları olarak kabul edilmiştir. Tamamen bir tahmini varsayım üzerine araştırma yapılmıştır. Sabitlenmiş, elemanlar üzerinde etkili olan eşdeğer kuvvetler değerlendirilmiş ve uygun bolt-nut elemanları fiziksel olarak uygulanmadan tahmin üzerine seçilmiştir. Bu şekilde, ürün geliştirme süreci zaman açısından verimli hale gelecektir. Ayrıca bu çalışma, tasarım ve optimizasyon çalışmalarında sonlu eleman uygulamalarının önemini ve gerekliliğini kanıtlamaktadır. Yay sabitleri, benzer literatürden alınan katalog verilerine dayalı olarak soyut olarak belirlenmiştir. Elde edilen maksimum gerilme değerinin, ECE R17 standardında belirtilen 20 kN sınır değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma, sonlu elemanlar analizinin (FEA) koltuk yapılarının ve güvenlik bileşenlerinin tasarımı ve optimizasyonundaki kritik rolünü fiziksel olmayan malzemesel yer değiştirmelerle vurgulamaktadır. Kapsamlı simülasyonlar ve detaylı analizler sonucunda, tasarımda yapılan küçük değişikliklerin emniyet kemeri bağlantı noktalarındaki kuvvet dağılımı ve bağlantı elemanlarının yük taşıma kapasitesi üzerinde önemli etkiler yaratabileceği

düşünülmektedir. Bu tahmini bulgular, optimum güvenlik performansını sağlamak ve düzenleyici standartlara uyumu garanti altına almak için hassas mühendislik analizlerinin gerekliliğini ortaya koymak için soyut olarak ele alınmıştır.

Bu araştırmanın önemli bir yönü de, civata-somun bağlantılarının modellenmesi içinde yay elemanları yaklaşımının tahmin edilmesidir. Bu yaklaşım, hesaplama karmaşıklığını azaltarak tasarım sürecini hızlandıracak ve gereksiz deneme-yanılma adımlarını ortadan kaldıracaktır. Böylece, ilgili mühendislerin bu tarz mekanik davranışları doğru bakış açısıyla tahmin etmelerini sağlayarak, yapısal bütünlüğü artıran uygun malzeme ve bağlantı elemanlarını seçmelerine olanak tanıyacaktır. Yay sabitleri, benzer literatürden alınan katalog verilerine dayalı ve tahmini olarak belirlenmiştir.

4. SONUÇ

Burada sonlu elemanlar fiziksel olmayan analizle elde edilen sonuçlar çarpışma test verileriyle büyük ölçüde örtüştüğü öngörülmektedir. Bu tahmini hesaplama yöntemi ile dünya performansını öngörmenin hassas olduğunun kanıtlanması düşünülmüştür. Simülasyon ve deneysel bulgular arasındaki korelasyon, FEA'nın yapısal doğrulama için bir araç olduğunu ve maliyetli, zaman kaybettiren fiziksel prototiplerin gerekliliğini önemli ölçüde azalttığı gösterilmek istenmiştir. Sonlu elemanlar analizinin ürün geliştirme sürecinin erken aşamalarına uyarlanmasıyla, otomotiv mühendisleri koltuk tasarımlarını optimize ederek yolcu güvenliğini artırabilir ve sıkı endüstri yönetmeliklerini karşılayabilirler. Bu çalışma, ileri mühendislik simülasyon tekniklerinin benimsenmesinin tasarım verimliliğini artırma, malzeme israfını en aza indirme ve yenilikçi güvenlik çözümleri geliştirme açısından önemini vurgulamayı hedeflemiştir. Elde edilen maksimum gerilme değerinin, ECE R17 standardında belirtilen 20 kN sınır değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu araştırma bulguları, modern koltuk sistemlerinin çarpışma senaryolarında maksimum koruma sağlamasını güvence altına alarak araç güvenlik standartlarının sürekli iyileştirilmesine katkıda bulunacaktır.

5. KAYNAKLAR

Bois P. D., Chou C. C., Fileta B. B., Khalil B. T., King I. A., Mahmood F. H., Mertz J. H. and Wismans J., Vehicle crashworthiness and occupant protection. American Iron and Steel Institute Publications, Southfield, Michigan, (2004).

Budynas R. G., and Nispett J. K., Shingley's Mechanical Engineering Design, 11th Ed. McGraw-Hill Education, NY, USA, (2020).

ECE R17, Motor vehicles seats, seat fittings and headrest locations, Ankara, Turkey (2002). (ör. 64 km/s test hızı, 20 ms çarpışma süresi)

Eraslan M., Cibelek N., and Polat E., Bus Seat Development, 7th Automotive Technologies Congress, Bursa, Turkey, (2014).161-169,

Fang H., Rais-Rohani M., Liu Z. and Horstemeyer F. M., A comparative study of metamodeling methods for multiobjective crashworthiness optimization, Computers&Structures 83, (2005) 2121–2136.

Fang H., Solanki K. and Horstemeyer F. M., Numerical simulations of multiple vehicle crashes and multidisciplinary crashworthiness optimization, International Journal of Crashworthiness, 10, (2), (2005).161-172.

Hamza K., Hossoy I, Reyes-Luna J. F., and Papalambros P. Y., Combined maximization of interior comfort and frontal crashworthiness in preliminary vehicle design, International Journal of Vehicle Design, 35, (3), (2004) 167-185.

Hou S., Liu T., Dong D., and Han X., Factor screening and multivariable crashworthiness optimization for vehicle side impact by factorial design. Structural and Multidisciplinary Optimization, 49, (1), (2014) 147–167.

Kim E., Fard M., and Kato K. A., seated human model for predicting the coupled human-seat transmissibility exposed to fore---26-- aft whole-body vibration, Applied Ergonomics, 84, 102929, (2020) 1-9

Özlu Ö., (2016). Taşıtlarda kullanılan koltukların dinamik çarpışma simülasyonu ile tasarımı ve optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., and Grote K. H, Engineering Design a Systematic Approach, Springer-Verlag, London, (2007).

Pedersen C. B. W., Crashworthiness design of transient frame structures using topology optimization, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 193 (2004) 653–678.

Pickett K. A., Pyttel T., Payen F., Lauro N., Petrinic N., Werner H., and Christlein F., Failure prediction for advanced --25-- crashworthiness of transportation vehicles. International Journal of Impact Engineering 30, (2004) 853–872.

Sun G., Li G., Zhou S., Li H., Hou S., and Li Q., Crashworthiness design of vehicle by using multiobjective robust optimization, Structural and Multidisciplinary Optimization, (44),1,99-110, (2011).

Topcu M., and Tasgetiren S., Finite Element Method for Engineers, University of Pamukkale Press, no:7, Denizli (1998).

Yildiz R. A, and Solanki N. K., Multi-objective optimization of vehicle crashworthiness using a new particle swarm-based approach, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 59 (2012) 367–376.

Youn B. D., Choi K. K., Yang R. J., and Gu L., Reliability-based design optimization for crashworthiness of vehicle side impact, Structural and Multidisciplinary Optimization, 26, (2004) 272–283.