



Amerika Pazarı için Geliştirilen Elektrikli Monokok Şasili Aracın Önden Çarpışma Durumunda Batarya Güvenliğinin Doğrulanması

Ümit DARDEH^{1*} (0009-0000-1744-0975)

Haydar LİVATYALI¹ (0000-0002-9542-2390)

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
Bölümü, İstanbul

*Sorumlu Yazar: hlivatya@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 09.06.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 19.06.2023

Özet

Kuzey Amerika pazarı için geliştirilen bir monokok elektrikli yürür şasi projesinin pazara giriş isteklerinin karşılanması için sağlanması gereken mevzuat koşullarından biri olan FMVSS-305'in 35 mph (56 km/s) hız ile rijit duvara önden çarpma vakası incelendi ve sonlu elemanlar modeli oluşturularak simülasyon ortamına aktarıldı. Analizlerde LS-DYNA dinamik açık çözücü kullanıldı. Çarpmada aracın batarya bölmesine mekanik girişimin önlenmesi için, benzetimlerde ivme/yer değiştirme, sönmülenen enerji ve yapının mekanik bütünlüğünü ifade eden geometrik veriler esas alındı. Önerilen ilk tasarımda önden rijit duvara çarpma sırasında ana taşıyıcı şasi raylarında sürekli olmayan enerji akışı gözlemlendi. Başlangıçtaki yapısal tasarım iterasyonlar ile iyileştirilerek sağ ve sol kollarda hesaplanan azami ivme değerleri sırasıyla 56G ve 43G'den 44G ve 42G'ye indirildi. Böylece dinamik ataletsel yük eşik seviyenin altına indirilerek batarya paketinde plastik deformasyonun önüne geçildi ve mevzuata uygun hale getirildi.

Anahtar Kelimeler: FMVSS-305, pasif güvenlik, çarpışma güvenliği, elektrolit sızıntısı

GİRİŞ

Çevre kirliliği ve artan enerji talebi, günümüzde çevreye duyarlılık ve enerji verimliliği konularında farkındalık oluşturmuştur. Önlemlerin ve kanunların oluşturulması veya güncellenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, gelişmiş ülkelerde, çevreci bir seçenek olarak elektrikli araçlar tercih edilmekte ve bu talep her geçen gün paralel olarak artmaktadır. (GEVO, 2023) Elektrikli araçlar, yüksek enerji verimliliği ve sıfır emisyon avantajına sahip olmalarına rağmen, batarya güvenliği hakkında oluşan hassasiyet ve pazarların regülatif şartlarına istinaden talep edilen güvenlik geliştirme çalışmaları sürekli olarak devam etmektedir. Özellikle önden çarpma vakası, elektrikli araçların karşılaşılabileceği en yaygın çarpışma senaryolarından biridir ve bu hususta batarya, maliyeti ve ağırlığı nedeniyle dikkate alınmaktadır. Bu batarya çarpışma güvenliğini, elektrikli araçlar tasarımında düşünülmesi gereken önemli bir konu haline getirmiştir. Batarya güvenliğinin üç ana unsuru olan elektrikli bütünlük, termal bütünlük ve mekanik bütünlükten; mekanik bütünlük, genellikle göz ardı edilmektedir, ancak sürüş alışkanlıkları dikkate alındığında elektrikli araçlar için mekanik bütünlük çalışmaları son derece kritik bir önem arz etmektedir (Wierzbicki, 2010).

Mekanik bütünlük, entegrasyon ve dayanım çalışmalarında araştırma ve geliştirme şirketlerinin özellikle otomotiv endüstrisinde vazgeçilmez araçlarından biri sanal doğrulama yazılım ve yöntemleridir. Sanal doğrulama, aracın simülasyon ortamında gerçeği yakın şartların oluşturulmasına yardımcı olarak fiziksel prototip üretim ve test maliyetlerinin azaltılmasına olanak tanır. Zaman ve maliyet parametreleri, özellikle otomotiv sektöründe büyük önem taşımaktadır ve verimlilik için yegâne gereksinimlerden biridir. Özellikle araç çarpışma güvenliği dikkate alındığında sanal doğrulama çalışmaları validasyon ve fiziki testlerle korelasyonu anlamında kendini kanıtlamıştır. Bu nedenle ürün geliştirme çalışmalarında sanal doğrulama araçlarının kullanımının önemi her geçen gün artmaktadır.

Araç projelerinde, çarpışma güvenliği ve sürücü-yolcu güvenliği gereksinimleri, aracın satışa sunulacağı ülke veya bölgeye bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Her ülkenin bölgesel özelliklerine uygun olarak belirlenmiş bazı değerlendirme kriterleri bulunmaktadır. Bu kriterler genellikle "regülasyon ister" veya "homologatif ister" olarak adlandırılır ve ilgili aracın bu şartları karşılaması o pazara giriş şartı olarak beklenir. Regülasyonlar sayesinde araçların bölgesel olarak beklenen gereksinimlerine standartlaştırılmış bir biçimde uygunluğunun tescillenmesi amaçlanır ve tasarım, üretim süreçleri buna göre şekillenir.

Otomotiv üretiminde pazar isterleri bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Örneğin Avrupa pazarında satışa sunulacak modellerin UN/ECE Regülasyonlarını karşılaması beklenirken Amerika için FMVSS dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada, Amerika pazarı için

geliştirilen bir elektrikli monokok yürür şasinin, FMVSS-305'e uyum kapsamında "önden rijit duvara çarpma testi" koşullarının sağlanması için gerekli tasarım geliştirmeleri yapılmıştır. Yolcu güvenliği iyileştirmesi, simülasyon ortamında test edilmiştir. Özellikle elektrikli monokok yürür şasi için çarpışma güvenliği konusu ele alınmış ve bu araç tipine ilişkin batarya güvenliği, regülasyon kapsamında belirtilmiş olan senaryolarla incelenmiştir. Bu çalışmada kaza modelinin hazırlanması ve önden çarpma durumundaki bataryanın tepkisinin ölçümü, LS-DYNA dinamik açık (explicit) çözücü kullanılarak gerçekleştirilerek, elde edilen sonuçlar incelenmiş ve kaza modelinin tasarım iyileştirme çalışmaları, sistemden alınan ivme-zaman ve yer değiştirme verilerinin katkılarıyla iyileştirilmiştir. Ayrıca, çarpışma testlerinin gerekliliklerini karşılamak için yapısal iyileştirme çalışmaları kalıpsız otomotiv gövde üretim tekniklerine göre yapılmış ve çarpışma sırasında sönmüleme rayı geometrisinde köşe kesikleri tercih edilip adedi artırılarak, enine girinti geometrisine yakın bir performans oluşturulmuş (Kumar, 2008) ve standarda uygunluğu sağlanmıştır.

KAPSAM VE SİMÜLASYON MODELİ

Çarpma testinin kapsamı

Elektrikli araçlarda çarpışma testleri sadece sürücü güvenliği ve çarpışma sonrası batarya bütünlüğünü korumaya yönelik değil aynı zamanda çarpışma sonrasında batarya paketinin işlevselliğini yitirmemesi ile ilgili de kritik önem taşımaktadır. Batarya sızıntısı beraberinde yüksek akıma ve gerilime maruz kalma gibi sıkıntılara mahal verebileceği için bir tehlike potansiyeli taşımaktadır. Bu nedenle elektrik bataryalı araçlara ve hibrit-elektrikli araçlara özel regülatif sınırlamalar ve protokoller uygulanmaktadır. Ürün geliştirme çalışması başlatılırken dikkate alınan düzenleme mercileri Amerika Birleşik Devletleri Federal Motorlu Araçlar Güvenlik Standartları (FMVSS) 305, Birleşmiş Milletler 94. Yönetmelik (önden çarpma için UN R94) ve Avrupa Yeni Otomobil Değerlendirme Programı (Euro NCAP) ve IDIADA güvenlik protokolüdür (Parera ve Amor, 2019).

FMVSS'in kapsamı, 4.536 kg veya daha az brüt araç ağırlığı derecelendirmesine sahip olan, çalışma gerilimi 60 VDC veya 30 VAC üzerindeki elektrikli komponentlerin kullanıldığı ve 40 km/saat üzerinde hızlanabilen otomobiller, otobüsler ve kamyonlar için geçerlidir (NHTSA, 2008).

FMVSS'te 4 test koşulu Şekil 1'de gösterildiği üzere dikkate alınır ve bu testlerin geçerlilik koşulları aşağıdaki gibidir (NHTSA, 2008):

- Bataryada 5 litreden fazla elektrolit sızıntı oluşmamalıdır.
- Yolcu bölmelerinde asla elektrolit sızıntı girişimi olmamalıdır.

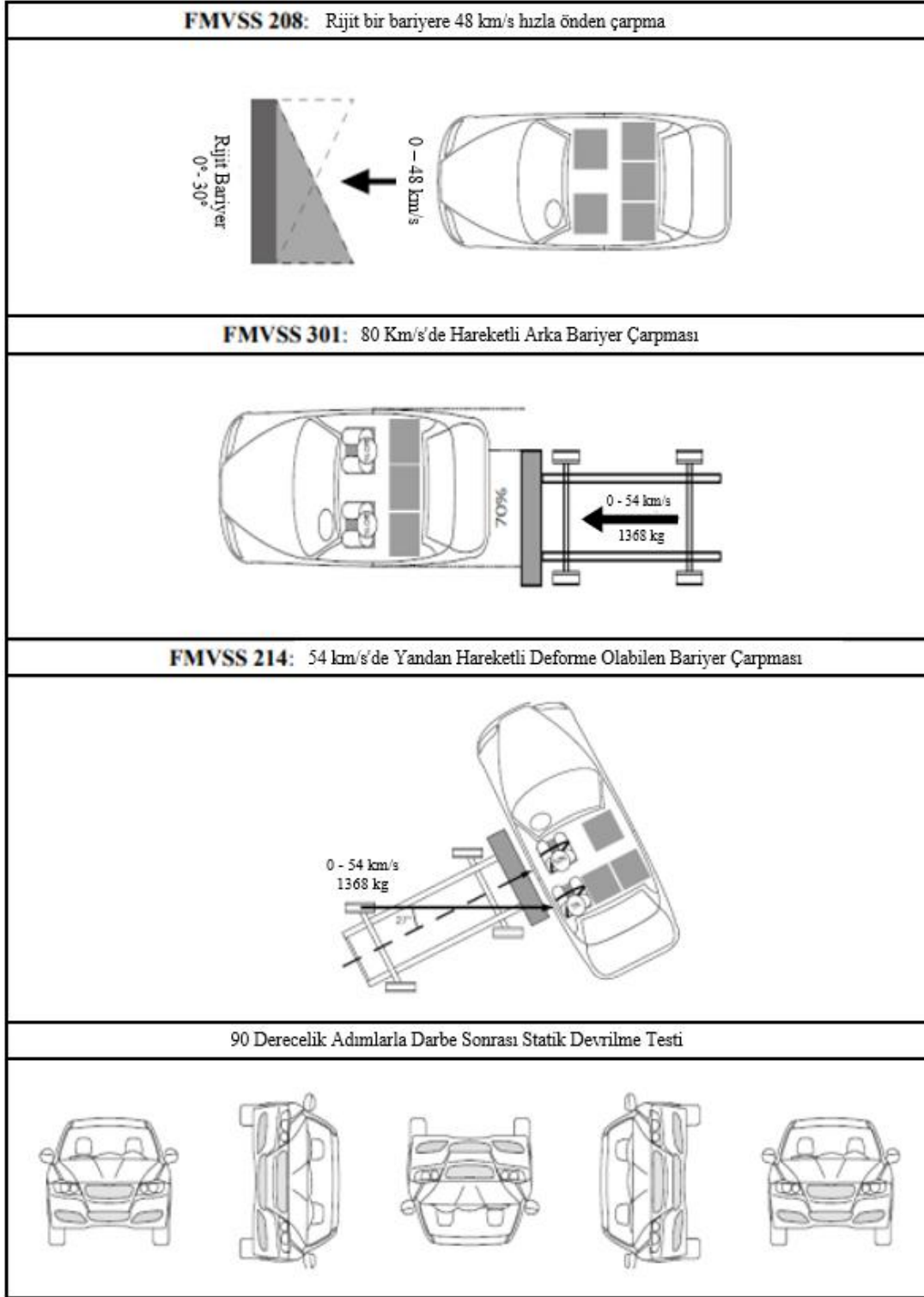
- Enerji dönüşümü sağlayan veya enerji depolayan komponent ve elemanlar araca sabitlenmiş olmalıdır.
- Sızıntı koşulu dışında bataryanın kendi hacmi ve paketi çarpışma sonrasında yolcu bölmesine girmemelidir.

FMVSS-305 çarpışma regülasyonuna uygunluk kapsamında, monokok yürür şasinin önden çarpma performansının iyileştirilmesine odaklanılmıştır. FMVSS 305 yönetmeliğinde belirtilen "48 km/s hızla rijit duvara önden darbe" testi uygulanmıştır.

Sayısal modelin kurulumu

Geliştirme çalışmalarının yürütüldüğü monokok yürür şasi modeli, profil konstrüksiyon uzay çerçevesi kaynaklı bir gövde yapısı, batarya, elektrik motoru, elektronik aksamlar ve şasi bileşenlerini içermektedir. Aracın diğer bileşenleri (trim parçaları, sürücü kabini, kargo kabini vb.) bağlantı noktalarından kütle tanımlanarak modellenmiştir. Bu çalışma kapsamında yalnızca batarya üstündeki deformasyonlar gözlemlenmek istediği için simülasyon sonucu etkilememesi ve hesaplama sürelerinin kısaltılması için bu yol tercih edilmiştir. Modelde toplam 2.381.779 adet karesel 2B-kabuk seçilerek maksimum yer değiştirme ve maksimum von Mises gerilme değerini belirlemek için Şekil 2’de gösterildiği gibi modellenmiştir.

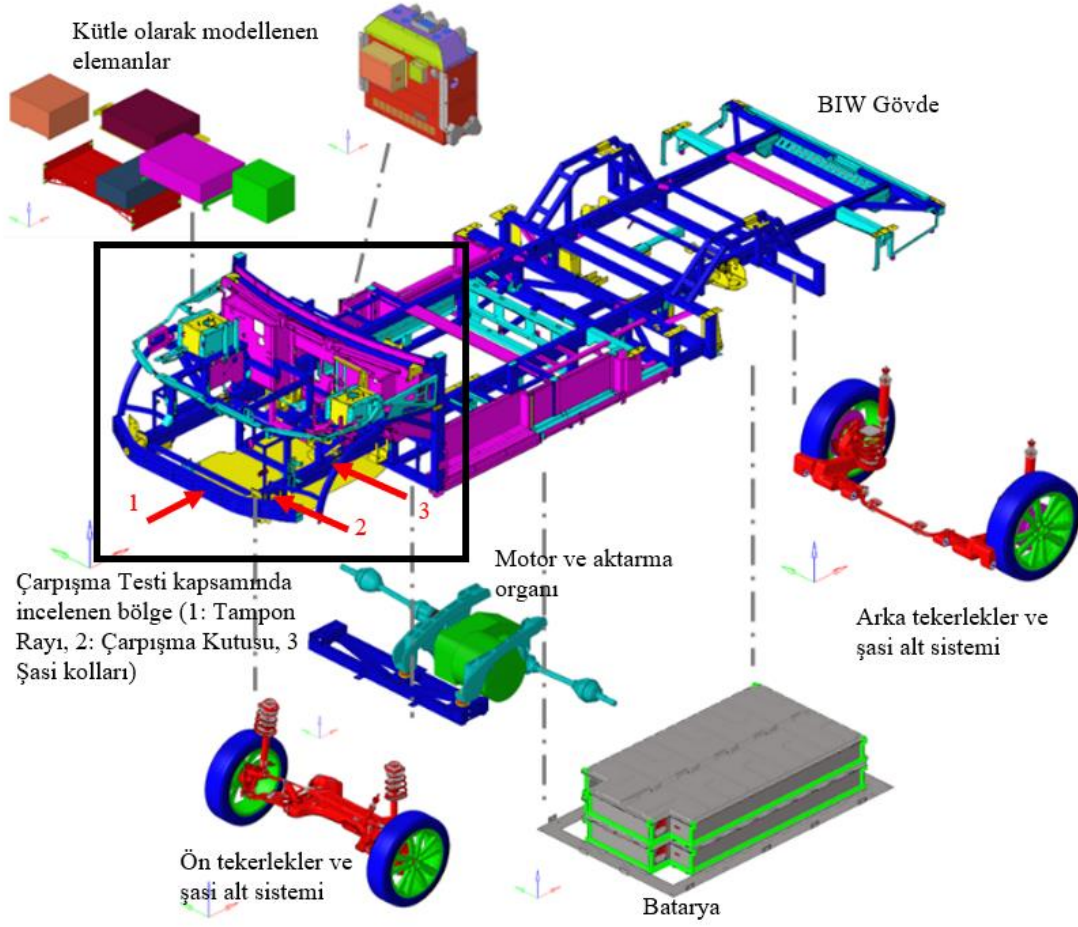
Balistik darbe, yüksek hızda metal şekillendirme ve çarpışmaya dayanıklılık gibi birçok uygulamada metal hasarı, üç boyutlu gerilme durumunda meydana gelir. Üç eksenliliğin birçok tanımı, sanal bir elemandaki görelî gerilme durumunu tanımlamak için iki sabit kullanır ve bu da iki eksenli malzeme karakterizasyona imkân sağlar. Carney ve ark. (2009) gerilme durumunun karakterizasyonunu üç boyuta ve gerçek üç eksenliliğe genişleten üçüncü gerilme invariantına dayalı ek bir parametre tanımlanmıştır. İki parametrenin ilişkisi araştırılmış ve kritik hasar bölgelerinin tanımlanmasında kullanılan hasar yüzeyinin sınırları bulunmuştur. Bunun için yeterli veri sağlayıp sağlayamayacaklarını anlamak için standart testler incelenmiş ve hasar yüzeyini tanımlayan yeni testler önerilmiştir. Sanayi ortamında yürütülen bu makaledeki analizlerde ise LS-DYNA kitaplığındaki veriler ile sınırlı kalmıştır.



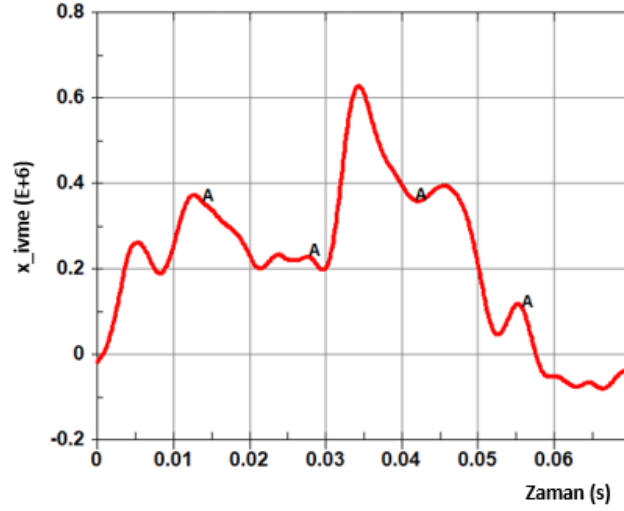
Şekil 1. FMVSS 305 Çarpma / Deformasyon Test Tipleri, Carhs (2018)

Kaza sonrası elektrolit sızıntısı, batarya ve/veya elektrik motorunun işlevselliğinin bozulması ve batarya elektrolitinin sürücü ve yolcu bölgelerine yayılmasının önlenmesi, yapısal sanal analiz deformasyon ve girişim sonuçları bir arada değerlendirilirken regülasyon uyarınca temel kriter olmuştur. Çarpışma senaryosu LS-DYNA ile çözülmüştür ve 48 km/s hızla rijit duvara

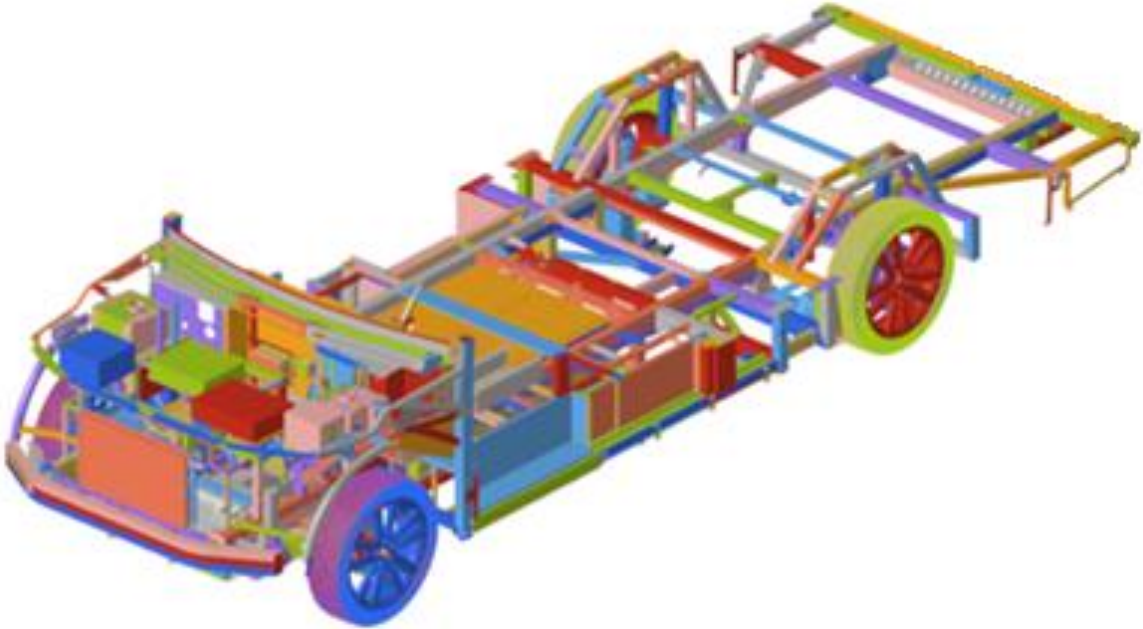
önden çarpma vakası modellenmiştir. Oluşturulan ilk baz model için çarpma süresine bağlı olarak girişim bölgesinin ivme verileri Şekil 3’te gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Çarpma sırasında aracın yapısal durumu ile sürücü ve/veya yolcuya maksimum enerji absorpsiyonu ve minimum girişim ivmelenme seviyesini sağlamak için enerji sönümlemesini sağlayan katlanma amaçlı oluşturulmuş büküm noktaları üzerinde kalınlık ve şekil optimizasyonu yapılarak iterasyonlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Monokok Yürür Şasi Komponentleri



Şekil 3. Önden Çarpışma İvme Zaman Grafiği



Şekil 4. Monokok Yürür Şasi Sistemi

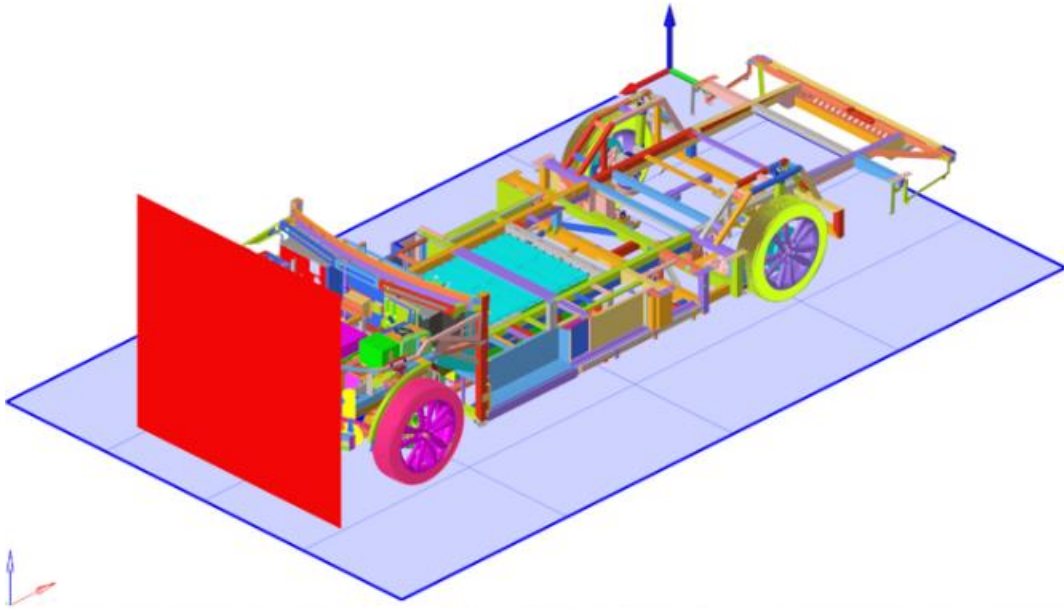
Buyuk ve ark.'nın (2008) makalesinde yapıların yüksek hızda çarpışma ve darbe dayanımını doğrusal olmayan dinamik açık sonlu elemanlar simülasyonlarına dayalı olarak yürüten otomatik bir optimizasyon yöntemi önerilmiştir. Yüzey cevap yöntemi ve regresyona dayalı bu tasarım optimizasyonu yaklaşımı LS-OPT programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım aracının bulunmadığı ve zaman kısıtının çok sıkı olduğu ortamda kılavuzların yardımı ile her defasında tek faktör esasına göre yürütülmüştür.

GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

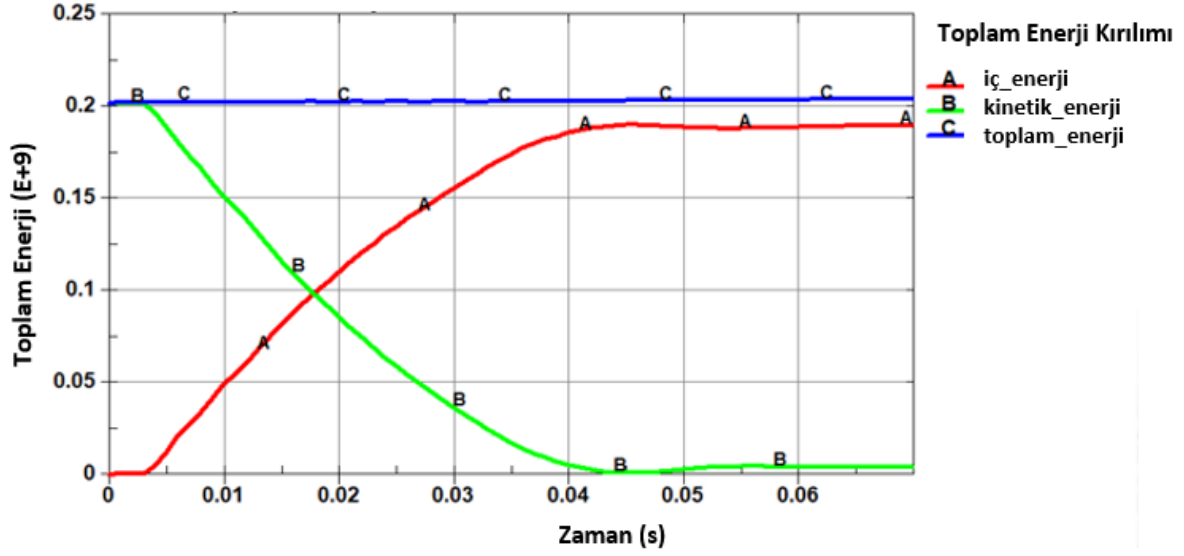
Monokok şasi çarpışma simülasyonu

Önden çarpma testi kapsamında geliştirilen araç modelinde, elektromekanik aksamlar ve yolcu bölmesine iletilen ivme verileri hesaplanmıştır ve FMVSS 305 önden çarpma testi kapsamında başarılı olunması için tasarımda iterasyonlar LS-DYNA ile Şekil 5’te gösterildiği gibi yeniden denenmiştir. Mevcut araç modeli ile oluşturulan iterasyonlardan elde edilen ivme-zaman verileri kullanılarak aracın çarpışma enerjisini tamamen sönmülediği t anı elde Şekil 6’daki gibi elde edilmiştir. Bu grafik, aracın kinetik enerjisinin yaklaşık %90’ının iç enerjiye dönüştüğünü göstermektedir. İdeal olarak, aracın tüm kinetik enerjisinin çarpışma sönmüleme elemanları tarafından soğurulması beklenir (Witteaman, 1999). Temel amaç, monokok yürür şaside bulunan 2 adet bataryada zararın minimum seviyede tutulması ve SAE J2464 endüstri standardında belirtilen mekanik entegrasyon, şok ve titreşim kapsamını (Masias, 2015) sağlayan bir bataryanın bağlantılarına etkiyen yüksek birim şekil değişiminin karşılanmasıdır.

Monokok yürür şasi aracın çarpışma sönmüleme elemanları sırasıyla çarpışma kutusu (“collision box” olarak adlandırılan ön ankastre aksenal girişler), çarpma amortisörleri (travers) ve şasi kollarıdır. İvme kuvveti, aracın rijit bir duvarla ilk temas ettiği ve izinsiz girişimin başladığı zamana bağlı olarak başlar. Formül (1)’deki özgül enerji sönmülemesi (Liu, 2008) girişim başladıktan sonra emilebilecek özgül enerjinin bulunmasını sağlar.



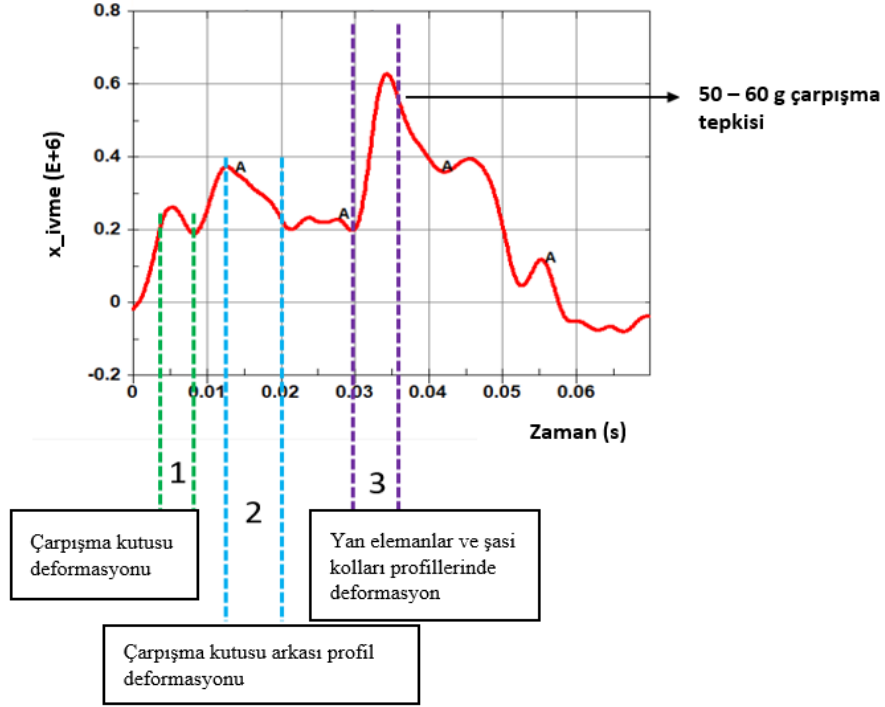
Şekil 5. Önden Çarpışma Senaryosu



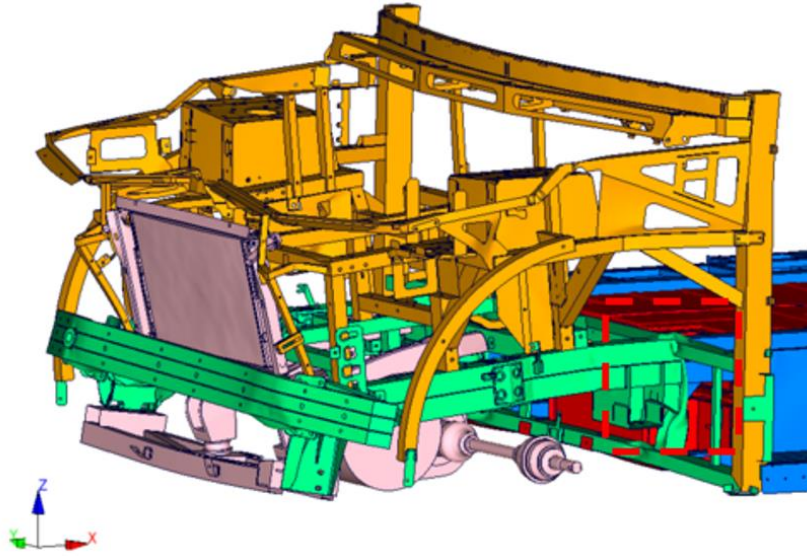
Şekil 6. Enerji Değişim Grafiği

$$SEA = \frac{E_{abs}}{\rho \int_0^{\delta} A(h) dh} \quad (1)$$

Aracın çarpışma emici sisteminin deformasyonu Şekil 7'de gösterilen 1. Bölgede başlamıştır ve 20 G'lik bir ivmeye ulaşılmıştır. 2. Bölgeye girişimin başlamasıyla birlikte çarpışma kutusunun hemen arkasındaki şasi kolu ve sönümlenme direğinde deformasyon oluşumu başlamış olup, 40 G'ye ulaşılmıştır. Şasi kolların deformasyonun başlamasıyla birlikte 50-60 G aralığında istenmeyen bir ivme gözlemlenmiştir. Binek araçlarda bu çarpışma darbe değerinin referans noktası olarak 40-45 G aralığında olması beklenirken (NHTSA, 2008), mevcut araçta üretilen çarpışma darbe değeri 50-60 G aralığına ulaştığı için tasarımda iterasyona gidilmiştir.



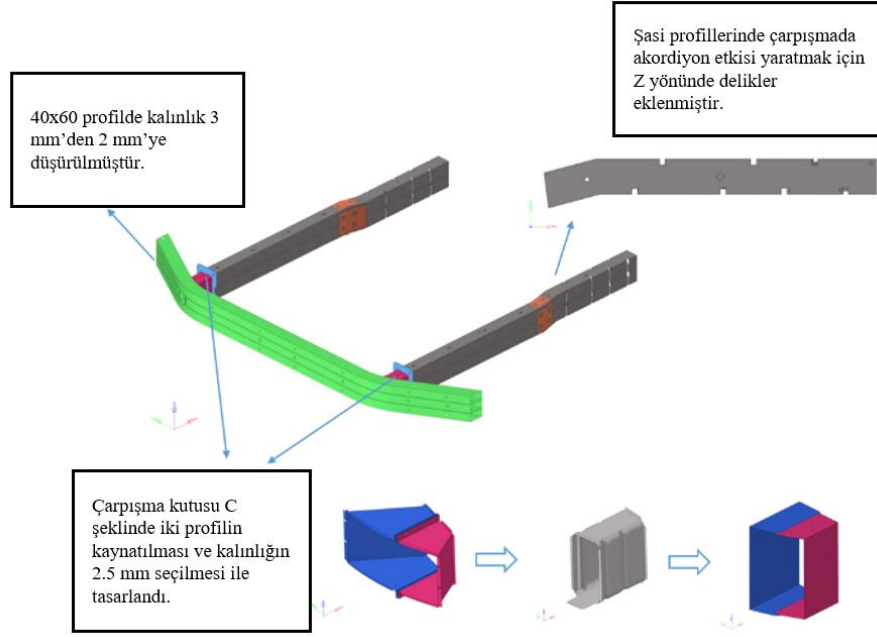
Şekil 7. Enerji Değişim Grafiği



Şekil 8. Baz modelde 0.034'üncü saniyede deforme olmayan bölge

FMVSS-305 önden çarpma geliştirmeleri

İterasyon çalışmalarında çarpışma kutusu, çarpışma sönümleyici (travers) ve şasi kollarında iyileştirme yapılması tercih edilmiştir. Çarpma anında rijit duvarla ilk temas noktası olan boyuna tampon profilin rijitlik davranışını kırarak sönümlenmeye katkı sağlanması için baz model tasarımda kullanılan yapının profil kesit kalınlığı Şekil 9'da gösterildiği gibi 3 mm'den 2 mm'ye düşürülmüştür.



Şekil 9. Önden çarpma geliştirme çalışmaları

Tampon profilinin hemen arkasında yer alan amortisör işlevi gören sönümlenme elemanının mevcut V formu, Şekil 10'da belirtildiği gibi ilk çarpışma anındaki sönümlenme performansında gerekli deformasyonu sağlayamamıştır. Küçük geometrik varyasyonlar, çarpışma yönetimi bölgesinin köşe noktalarında en yaygın olan yöntemdir (Back, 2010). Amortisör işlevi gören sönümlenme elemanının yapısı, çarpışma kutusunun geometrisi ve şasi kolları ile olan bağlantı geometrisini etkilemektedir. Bu elemanın şasi kolları ve tampon profili ile tam uyumlu bir çerçeve oluşturması gerekmektedir. Tasarım uyumu ve homojen enerji aktarımı için değişikliğe gidilerek, sönümlenme elemanı farklı kalınlık derecelerinde test edilmiştir. Profil kesiti için deforme olmamış durumdaki eğilme direnci W , Formül (2)'deki gibi hesaplanmıştır;

$$W = (H^4 - h^4)/6H \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2)$$

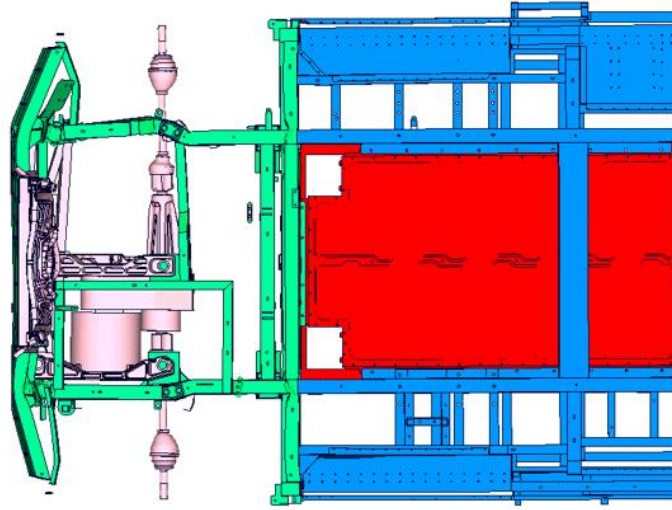
Formüldeki enerji sönümlenmesi E , profil kalınlığı t ve kolon genişliği H , Wierzbicki teorisine dayalı olup, tasarım yapılırken Formül (3)'teki ilişkiden faydalanılmıştır.

$$E \sim t^{5/3} \cdot H^{1/3} \quad (3)$$

Şasi kollarının enine kesit formunda süreklilik sağlamak ve deformasyonu istenilen seviyede yakalamak için 60x60x2 mm kesit kalınlığındaki iki profilin üst üste kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ile Şekil 8'de gösterildiği gibi istenen geometri oluşturulmuştur. Darbe sönümleyici elemanların üniform olarak deforme olabilmesi için parça üzerinde, girintiler veya darbe (patlama) noktaları uygulamak düşünülmüştür. Bu girintili veya çıkıntılı yapılar

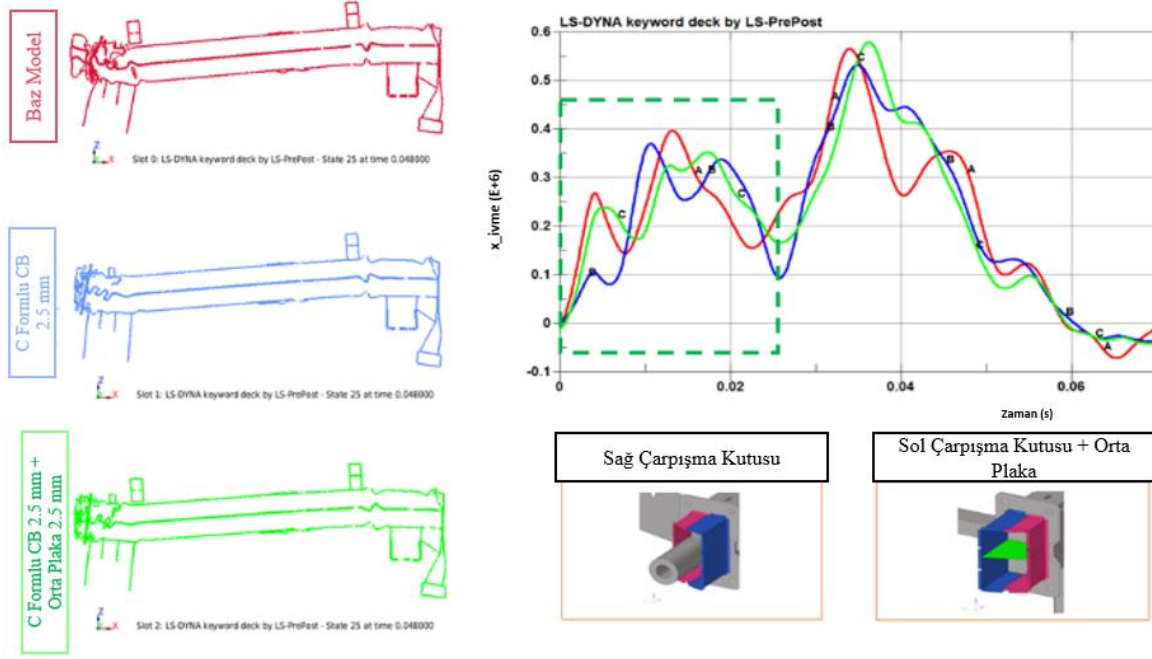
sayesinde amortisör sisteminin akordeon etkisi yaratması ve çarpışma dayanıklılığın en önemli noktası olan homojen ve Y ekseninde istenen profil deformasyon akışı elde edilebilir. Girintilerin veya çıkıntıların sayısı ve geometrisi, parçanın yapısına ve boyutlarına bağlı olarak belirlenebilir (Witteman, 1999).

Darbe sönümlenme sistemi üzerinde tasarıma katkı sağlayacak girintili ve/veya çıkıntılı tasarım ancak kalıplı üretim prosesinden elde edilebilir. Profil yapıları şasi üretim koşullarında birçok kısıtlayıcı faktör bulunmaktadır.



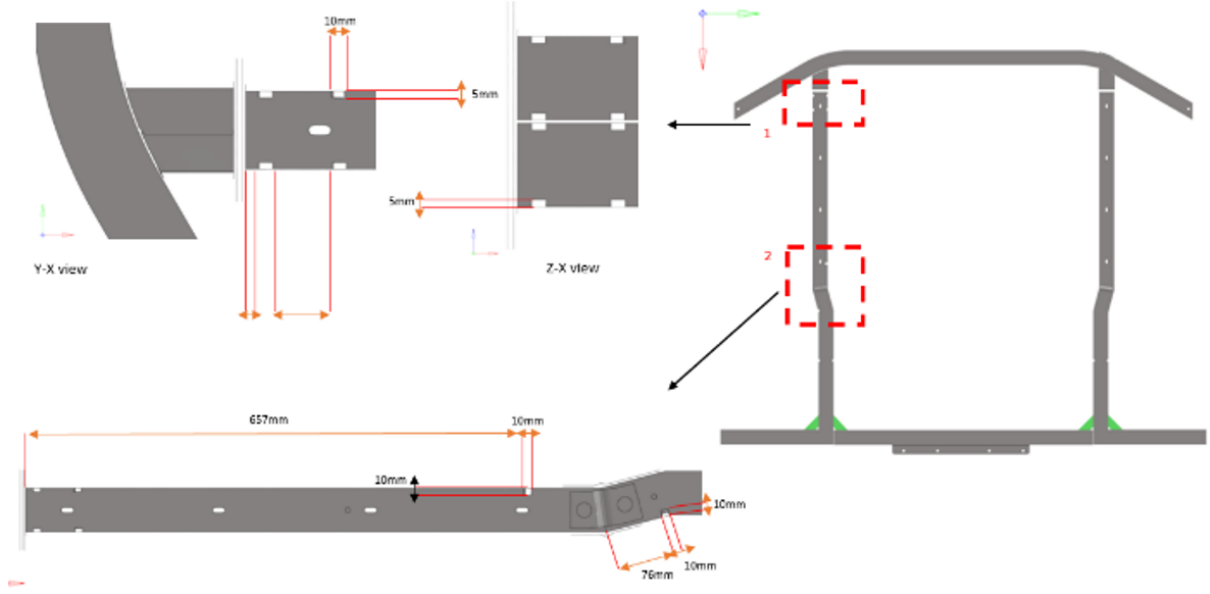
Şekil 10. Çarpma Anında 0.062'inci Saniyede Baz Model

Kalıpsız üretim koşullarında tasarlanan şasi kollarının enine kesit formunun sürekliliğini sağlamak ve deformasyonu yakalamak için birbirine geçebilir şekilde iki C-kesit sacın kaynak işlemi ile birleştirilmesi ile elde edilecek yapı tasarım olarak tercih edilmiştir. Bu yapının kalınlık optimizasyonu çalışması Şekil 11'de belirtildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 11. Şasi Kolu ve Çarpışma Kutusu Yapısal Optimizasyonu

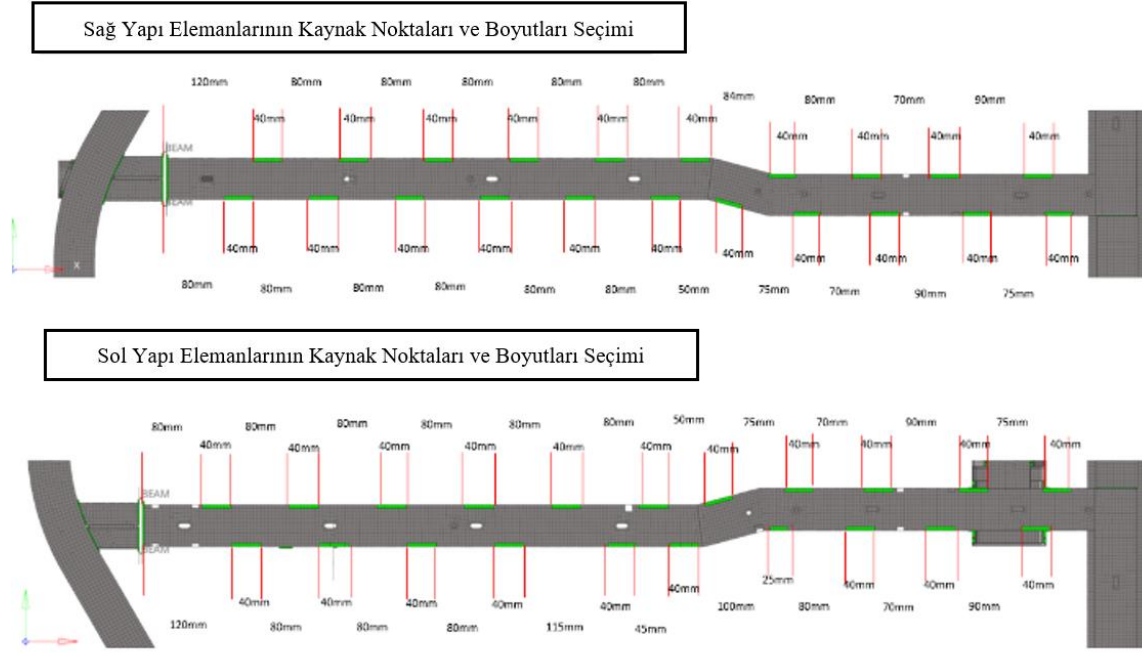
C-kesit sacların 2 mm ve 2,5 mm olarak tasarlandığı şasi kolları simülasyon ortamında denenmiş ve Şekil 11’de gösterilmiştir. Eksenel burulmanın minimum olduğu ve deformasyon akışının daha homojen sağlandığı 2,5 mm kalınlık seçilerek temel model geliştirilmiştir. Geliştirilmiş modelde 30-40 G aralığı ilk çarpışma komponenti için sağlanmıştır. Aracın sağ tarafında ve çarpışma sönümlenme bölgesinde mevcut çeki demiri yapısına ihtiyaç duyulması nedeniyle sağ tarafın başlangıç deformasyonu, sol bölgeden daha az olduğu için sağ bölgenin deformasyonu ve sol bölge arasında denge oluşturulması gerekmiştir. Bu durumda sol taraftaki C-kesitli amortisör yapısına her iki tarafı benzer miktarda deforme etmek için 2,5 mm kalınlığında sac levha eklenmiştir. Sol şasi koluna montajlı elektrik motoru bağlantıları olduğu için sağ ve sol kollarında ayrıca motor bölümünde aynı miktarda sönümlenme elde edilememektedir. Bu durumu iyileştirmek için öncelikle sol şasi kollarında kanallar açılarak deformasyon artışı için sönümlenme noktaları tasarlanmıştır. Amortisör işlevi gören sönümleyici elemanda da olduğu gibi üretim şekli profil yapı olduğu için lazer kesim işlemi uygulanacağı dikkate alarak tasarım geliştirilmiştir. Açılan kanalların sayısı, genişliği ve derinliği simülasyonu farklı geometriler kullanıp tekrarlayarak Şekil 12’deki gibi belirlenmiştir.



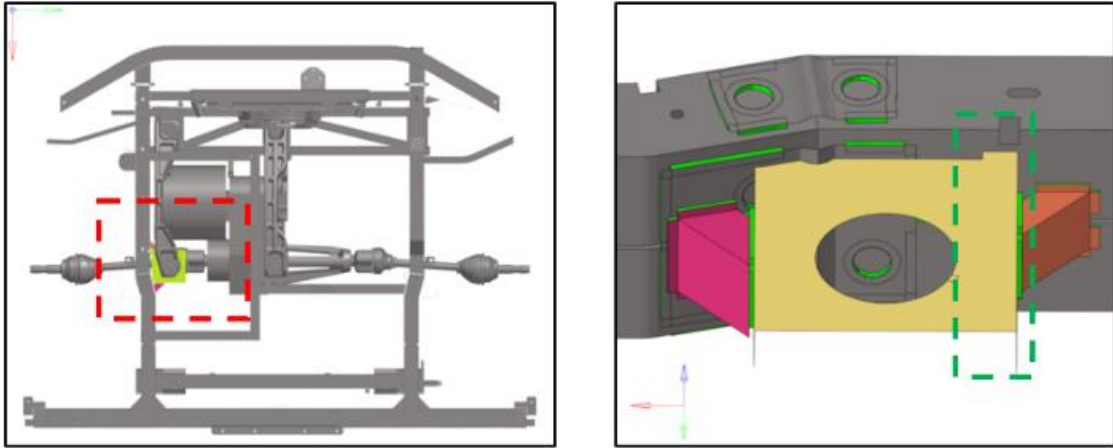
Şekil 12. Sol Şasi Kolu ve Sol Bölge Elemanı Enerji Sönümleyici Delik Optimizasyonu

Şasi kollarındaki birleşim noktalarına uygulanacak kaynak işleminin türü ve kaynak boyunun uzunluğu gibi parametreler çarpma anında oluşacak etkiyi önemli ölçüde belirlemektedir. Mevcut analiz yapısında Şekil 13'teki gibi çapraz ısı dağılımını homojen sağlayacak şekilde aralıklı kaynak uygulaması tercih edilmiştir.

Son iyileştirme çalışması olarak Şekil 14'te görüldüğü gibi sol şasi kolu üzerine monte edilen elektrik motorunun bağlantı braketinin kaynak uygulamasında, bir taraftaki kaynak uygulaması iptal edilerek o bölgede dikey (Z eksen) hareket alanı oluşturulması amaçlanmıştır. Aracın çarpışma kuvvetine maruz kaldığı anda yalnızca sönümlenme elemanları ve şasi kollarında yapılan iyileştirmeler yeterli görülmüştür. Çünkü aracın genel tepkisi yüksek şekil değişimi altındaki parçadan beklendiği kadar yüksek olmamaktadır (Dietenberger ve ark., 2005).

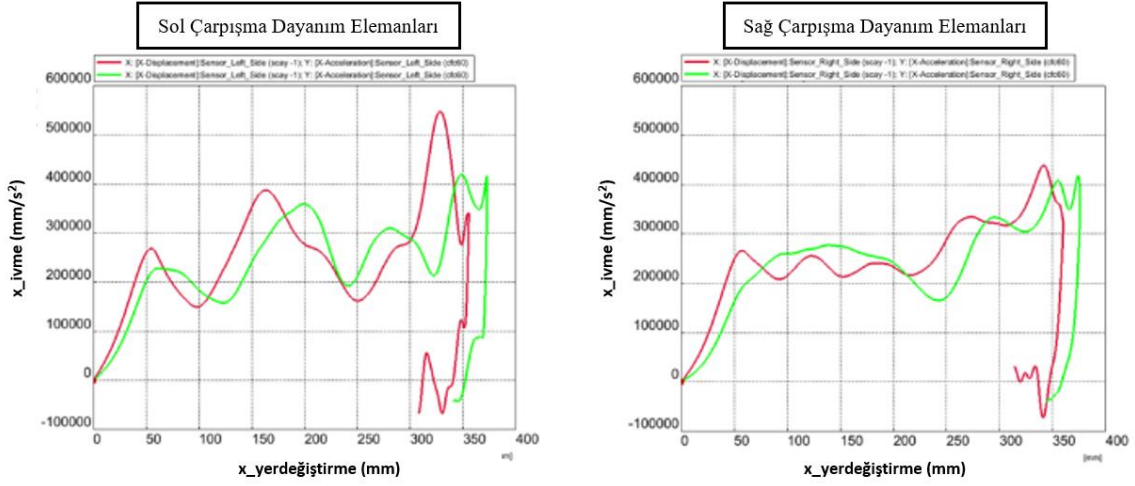


Şekil 13. Şasi Kolları Kaynak Noktaları Optimizasyonu

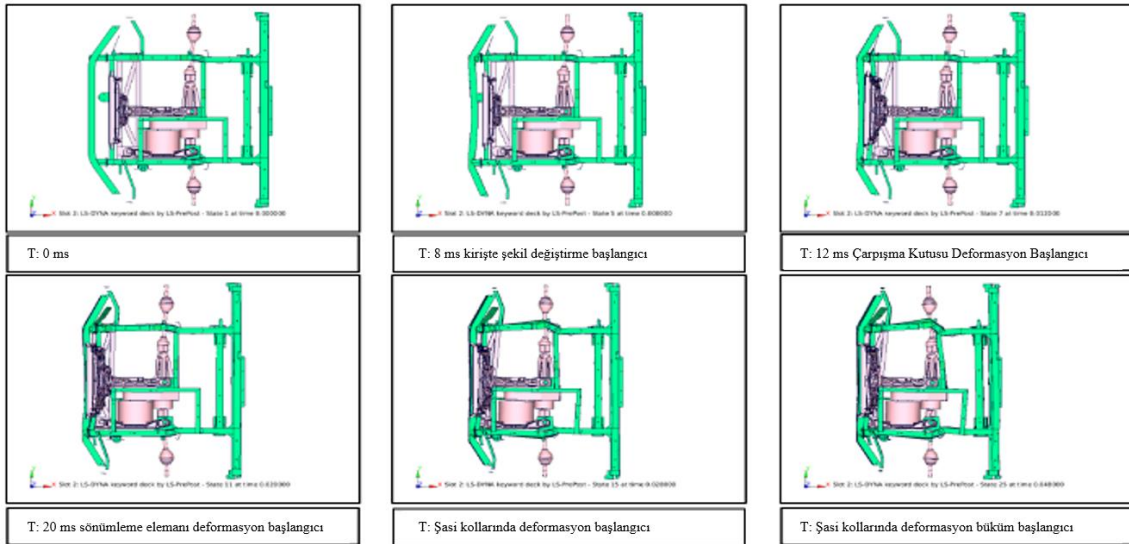


Şekil 14. Elektrik Motoru Gövde Bağlantısı Yapısal Optimizasyonu

İncelemenin çıktısı Şekil 15'te baz model öncesi ve sonrası sol ve sağ şasi kollarının yer değiştirme-zaman grafiklerini göstermektedir. Kırmızı eğri mevcut başlangıçtaki tasarımın modelini, yeşil eğri ise geliştirilen modeli göstermektedir. İyileştirme çalışmaları yapılmadan önce sol şasi kolunda hesaplanan azami ivme değeri 56G iken, iyileştirme ile 44G'ye düşmüştür. Sağ şasi kolundaki azami ivme değeri ise 43G iken, iyileştirme sonrasında 42G olarak bulunmuştur. Son durumda önden darbeli yük altında sağ ve sol şasi kollarında istenen homojen bir enerji akışı sağlanmıştır. Güncel tasarıma göre çarpışma başladıktan sonraki zamana bağlı olarak değişen atalet kuvveti verilerine göre deformasyon durumu Şekil 16'da görülmektedir:

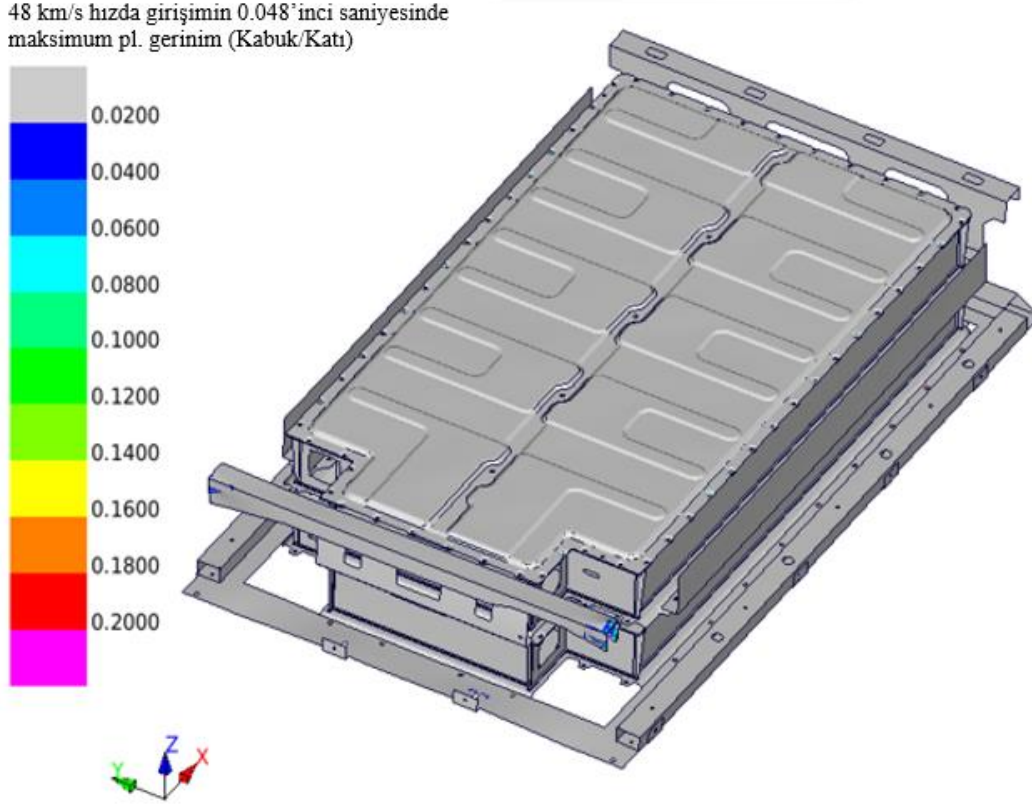


Şekil 15. Sağ ve Sol Şasi Kollarının Anlık İvme/Yer Değiştirme Değeri



Şekil 16. Gövde yapısal deformasyon iyileştirme adımları

Amortisör işlevi gören çarpışma kutusunun deformasyonu 8 ms'de başlamaktadır, 12 ms'de darbe sönümleyici yapının deformasyonu ve 20 ms'den sonra şasi kollarının deformasyonu gözlemlenmektedir. Çarpışma yönetim elemanlarındaki iyileştirme çalışmaları sonucunda batarya ve batarya bağlantılarında herhangi bir deformasyon oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın çıktısı olarak; profil yapıları araçlarda yalnızca lazer kesim uygulaması yapılarak, darbe sönümleyici elemanlarda yapılan iyileştirmeler ile şasi koluna aktarılan ivme kuvvetinin 10 G kadar düşebildiği tespit edilmiştir. Araştırma konusu monokok yürür şasi araçta, FMVSS-305 uygunluğu Şekil 17'deki simülasyon sonucunda da görüldüğü üzere batarya bağlantılarında ve/veya batarya paketinde 48 km/s hızla gerçekleşen çarpışma vakasında homologatif sınırlar içerisinde kalınarak plastik (kalıcı) şekil değişimi oluşumunun önüne geçilmiştir ve uygunluk sağlanmıştır.



Şekil 17. Batarya üzerindeki Birim şekil değişimi dağılımı değeri

SONUÇLAR

Bu makalede bir monokok elektrikli yürür şasi tasarımı üzerinde sonlu elemanlar analizleri ile yapısal bir iyileştirme çalışmasının sonuçları sunulmuştur. Kuzey Amerika pazarı için geliştirilen bu tasarımda pazara giriş isterlerinin karşılanması için zorunlu olan FMVSS 305 standardı doğrultusunda 35 mph (56 km/s) hız ile rijit duvara önden çarpma performansı incelendi. Araç gövdesinin dinamik açık modeli LS-DYNA ticari sonlu elemanlar programında kuruldu ve bir dizi sistematik benzetim yapıldı. Önden çarpmada aracın batarya bölmesine mekanik girişimin önlenmesi için, benzetim sonuçları arasında ivme/yer değiştirme, sönümlenen enerji ve yapının mekanik bütünlüğünü ifade eden geometrik veriler esas alındı.

Önerilen ilk tasarımın modeli ile yapılan önden rijit duvara çarpma benzetiminde ana taşıyıcı şasi raylarında sürekli olmayan enerji akışı gözlemlendi. Başlangıçtaki yapısal tasarım iterasyonlar ile iyileştirilerek sağ ve sol kollarda hesaplanan azami ivme değerleri sırasıyla 56G ve 43G'den 44G ve 42G'ye indirildi. Böylece belirgin bir dinamik yük azaltımı sağlanarak batarya paketinin yerleştirildiği kompartmanda plastik deformasyonun önüne geçildi ve mevzuata uygun hale getirildi.

Yeni model karayolu aracı gövdesi tasarımında sonlu elemanlar analizleri ile yapılan böylesi iyileştirmeler ile geliştirme sürecinin ileriki adımlarında zorunlu olan fiziksel laboratuvar testleri ile doğrulama aşamasında harcanacak emek ve maliyette önemli bir düşüş elde edildi.

Teşekkür

Bu makalede sunulan çalışma Karsan Otomotiv Sanayii ve Tic. A.Ş. bünyesinde yürütülen endüstriyel bir projenin çıktılarının bir kısmıdır. Yazarlar Karsan Firmasına teşekkürü bir borç bilirlir.

KAYNAKÇA

GEVO, 2023. Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions <https://iea.blob.core.windows.net/assets/dacf14d2-eabc-498a-8263-9f97fd5dc327/GEVO2023.pdf>

Carhs, 2018. Safety companion 2018. Carhs GmbH. Retrieved from <https://www.carhs.de/en/>

NHTSA, 2008. Laboratory Test Procedure for FMVSS 305, Electric Powered Vehicles: Electrolyte Spillage and Electrical Shock Protection. US Department of Transportation (US DOT) - National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Retrieved from <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/tp-305-01.pdf>

Kumar, S. 2008. A numerical study on the axial crush characteristics of thin walled rectangular tubes subjected to dynamic impact (No. 2008-01-0242). SAE Technical Paper.

Masias, A. 2015. Electrochemical Prozac: Relieving Battery Anxiety through Life and Safety Research. Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2014 Symposium, Sept. 11-13, 2014, Irvine, CA USA.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2015. Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2014 Symposium. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18985>.

Carney, K.S., Dubois, P.M., Buyuk, M., Kan, S. 2009. Generalized, three-dimensional definition, description, and derived limits of the triaxial failure of metals. International Journal of Aerospace Engineering 3(22): 280-286.

Liu, Y. 2008. Optimum design of straight thin-walled box section beams for crashworthiness analysis. Finite Elements in Analysis and Design, 44(3): 139-147.

Buyuk, M., Kurtaran, H., Marzougui, D. Kan, C.D. 2008. Automated design of threats and shields under hypervelocity impacts by using successive optimization methodology, International Journal of Impact Engineering, 35(12): 1449-1458.

Sahraei, E., Wierzbicki, T. 2010. Rich Hill and Meng Luo, "Crash safety of lithium-ion batteries towards development of a computational model," SAE Technical Paper 2010-01-1078, Detroit, Michigan, USA, April 13- April 15, 2010

Witteman, W.J. 1999. Improved vehicle crashworthiness design by control of the energy absorption for different collision situations. Technische Universitaet Eindhoven.

Parera, N., Amor, O. 2019. Safety Protocols for Electric Vehicles Crash Tests. Journal of the Society of Automotive Engineers Malaysia, 3(2): 112-122.

Back, P.E. 2010 Deformation Behaviour of an Energy Absorber, Luleå University of Technology, Sweden.

Dietenberger, M., Buyuk, M., Kan, C.D. 2005. Development of a high strain-rate dependent vehicle model. LS-Dyna Anwenderforum, Bamberg Germany.

49CFR, Part 571, FMVSS 305: “Electric-powered vehicles: electrolyte spillage and electrical shock protection”, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation USA.

49CFR, Part 571, FMVSS 214: “Side impact protection”, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation USA.

49CFR, Part 571, FMVSS 203: “Impact protection for the driver from the steering control system.”, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation USA.

49CFR, Part 571, FMVSS 208: “Occupant Crash Protection”, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation USA.