



## **Özel Maksatlı Bir Ağır Hizmet Aracı için Kabin Darbe Test Düzenekinin Tasarımı/Uygulanması ve Kabin Dayanımının Regülasyona Uygunluğunun İncelenmesi**

### **Design / Application of a Cab Impact Testing Device for Special Purpose Heavy Duty Vehicle and Investigation of the Suitability of the Cab**

**Gökçem Çapar<sup>1</sup>**, **Nusret Sefa Kuralay<sup>2</sup>**, **Mustafa Umut Karaoğlan<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 35397, İzmir.

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35397, İzmir.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [mustafa.karaoglan@deu.edu.tr](mailto:mustafa.karaoglan@deu.edu.tr) (\*\*)

Geliş Tarihi / Received: 22.11.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 20.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2020226526

*Atıf şekli/ How to cite: ÇAPAR, G., KURALAY, N.S., KARAĞLAN, M.U.(2020). Özel Maksatlı Bir Ağır Hizmet Aracı için Kabin Darbe Test Düzenekinin Tasarımı/Uygulanması ve Kabin Dayanımının Regülasyona Uygunluğunun İncelenmesi. DEUFMD, 22(65), 611-618.*

#### **Öz**

Araç kabin tasarımında güvenlik önlemlerinin gün geçtikçe daha fazla önem kazanması ile kabin darbe direncinin belirlenmesi ve çarpışma testi prosedürlerinin yerine getirilmesi, araç üreticileri için maddi ve teknolojik zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple, araç kabini üretiminin olası kaza anında kabinin davranışı öngörülerek yapılması için kabin darbe testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, özel amaçlı bir ağır hizmet aracı kabininin, ECE-R29/3 standartlarına uygun olarak darbe test platformunun tasarımı ve darbe testi sonuçlarının değerlendirilmesi konu alınmıştır. Bu kapsamda 4x4, 6x6 ve 8x8 tahrikli ağır taşıtlarda kullanılan kabinin, önden dik ve yandan açılı olarak çarpma ile üstten statik olarak yükleme koşulları için darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler ile tasarlanan darbe test düzenekinin başarısı ortaya konmuş ve elde edilen kabin deformasyon sonuçlarına göre kabinin darbe dayanımının ağır taşıt için uygun olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır hizmet aracı, kabin testi, darbe testi, test düzenek tasarımı

#### **Abstract**

As safety measures become more and more important in vehicle cabin design, the determination of cabin impact resistance and the implementation of crash testing procedures pose financial and technological challenges for vehicle manufacturers. Therefore, it is necessary to carry out car impact tests in order to execute the production of the vehicle cabin by anticipating the behavior of the car in the event of an accident. In this study, the impact test platform design and evaluation of impact test results for a special purpose heavy duty vehicle cab in accordance with ECE-R29 / 3 standards are discussed. In this context, impact tests were carried out for 4x4, 6x6 and 8x8 driven heavy duty vehicles for the loading conditions of the cab from the front to the right and from the side at an angle and static loading from the top. The success of the impact test device designed with the tests performed was demonstrated and according to the results of the cabin deformation, the impact resistance of the cabin was found to be suitable for heavy duty vehicle.

**Keywords:** Cabin test, heavy duty vehicle, impact test, test device design

## 1. Giriş

Araç kabin dayanımı, ECE-R29/3 regülasyonu ile bir ticari aracın kabinde bulunan yolcularının korunmasına ilişkin hükümler öngörmektedir (ECE R29/3, 2011). İlgili regülasyon, ağır ticari bir araç kabinini önden tam çarpma ve genel darbeler durumunda yolcuların yaralanma riskini en alt seviyeye indirmek için değerlendirmektedir. Bu değerlendirme ile kaza anında, yolculara bir yaşam alanının garanti edilmesi hedeflenmektedir. Araç kabin dayanımı regülasyonu kapsamına göre literatürde yapılan çalışmalarda, karayolları yönetmeliğine uygun ağır ticari bir aracın bilgisayar ortamında 3D taşıt modelinin oluşturulması, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kabinin ve kabin bağlantı parçalarının analizi/optimizasyonu ve gerçek test verilerinin nümerik sonuçlarla mukayesesi olarak incelenmektedir (Philip ve arkadaşları, 2013). Horst (2003), Daimler Grup firmasının ağır ticari taşıt modeli olan MB Actros Megaspaces kabinin ECE R29/02 standardına uygunluğunun incelenmesi kapsamında kabinin 3D modelini LS-Dyna programı ile çarpışma analizine tabi tutmuş ve kabin üzerine ECE R29/02 testi yaparak sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu kıyaslama ile birlikte analiz sonuçlarına göre kabin modelinin revize edilmesi ve nihai ürüne daha az sayıda test ile ulaşılması amaçlanmıştır. R. Mirzaamiri ve arkadaşları (2012), IKCO 2624 Truck için yapılan çarpışma analizinde, ECE R29/03 testine göre kaza sırasında ve sonrasında, sürücü ve kabin içerisinde bulunan yolcuların güvenli yaşam alanı içerisinde kalmasını hedefleyerek kabin tasarımının optimizasyonu çalışmasını yürütmüştür. Fatih Yaşar (2011), ECE-R29 regülasyonu kapsamındaki ağır ticari bir taşıtın tam ölçekli sonlu elemanlar modelini hazırlayarak önden çarpma testinin simülasyonunu gerçekleştirmiş ve ilk testin sonucunda taşıtın regülasyon değerlerine uygunluğunu incelemiştir. Ayrıca, taşıt simülasyonunu gerçeğe yaklaştırmak adına, çarpışma esnasında etkin rol oynayan parçaları da tasarıma dahil etmiştir. Sonuç olarak, taşıt modeli üzerinde yapılan iyileştirmelerle, regülasyon gereğini sağlayan verilere ulaşılmıştır. Hussain Pasha ve arkadaşları (2018), orta araç sınıfındaki bir kamyonet araç için ECE R29/3 regülasyonunu ANSA and LS-DYNA programlarını kullanarak simüle etmiştir. Regülasyonun N2 araç sınıfındaki tüm test

etapları için araç kabini üzerinde simülasyonlar hazırlanmış ve yolcuların kaza sırasında zarar görmemeleri için yapılan analiz sonuçlarına göre kabin karkası, olası darbe bölgelerinden desteklenmiştir. Kabinin farklı tasarımları için denemler yapılmış ve analiz sonuç verileri karşılaştırılarak regülasyon şartlarını sağlayan optimum tasarım belirlenmiştir. Murat Büyük ve arkadaşları (2018), trafik akışının yoğun olduğu ve araçların yola çıkışını sağlayan yol ikazcılarının yoğun olduğu bölgelerde, bariyerlere ve sert cisimlere çarpma durumunda sürücülerinin can güvenliğini sağlamak için metalle desteklenmiş hava tüplerinden oluşan bir hava yastığı sistemi geliştirmişlerdir. Bariyerlere ve sert cisimlere montajlanan sönümleyiciler için farklı çarpma senolarıyla LS-Dyna programı kullanılarak tam ölçekli çarpışma simülasyonları yapılmıştır. Yapılan çalışmada simülasyonlar ve çarpışma testleri arasında uyum göstermiştir. Devendra Gendar (2007), ECE R29 regülasyonuna göre bir kamyon kabini için fiziksel ve simülasyon olarak test verilerini karşılaştırmıştır. Analizde, regülasyona uygun yükleme durumları için kabin deformasyonu ve kabin yapı bileşenlerinin elastik ve plastik deformasyon durumları lineer olmayan çarpışma durumu kullanılarak incelenmiştir. Regülasyona göre yürütülen gerçek test sonuçları ve analiz sonuçlarının örtüştüğü görülmüştür. Bu sonuca göre, analiz verileri göz önüne alınarak, hafif ticari ve ağır ticari araçların kabin tasarımlarında daha az gerçek test çevrimi yapılabileceği çıkarımı yapılmıştır. Sumit Sharma ve arkadaşları (2015), ECE-R29 regülasyona benzer, AIS029 (Automotive Industry Standards, Amendment 1, 2004) standartına göre ağır ticari bir araç kabininin tam modelini, LS-Dyna çarpışma modülüne tanımlanmıştır. Pendulumun önden çarpma durumu için, yük transferinin zamana bağlı grafiği elde edilmiştir. Kabin dayanımı ile birlikte, kabin süspansiyonlarının da pendulumun çarpma etkisine göre konumlarından veriler alınmıştır. Bu verilere göre; pendulum enerjisinin %70'den fazlasının kabinin ön bölgesi ve araç şasisi tarafından emildiği görülmüştür. Çalışma ağır ticari araç kabinlerinin farklı tasarımları için referans olarak değerlendirilmiştir. Pooja Dwivedi ve arkadaşları (2011), ECE R29 ve AIS029 regülasyonlarına uygun olarak, ağır ticari araç kabininin darbe dayanımını ve darbe sırasında

kabin bağlantılarında/karkasında oluşan deformasyonları incelemiştir. Kaza sırasında kabinde oluşabilecek etkileri azaltmak için (kabinin darbe etkisiyle bağlantılarının kopması v.b), düşük maliyetli parça kullanımları üzerinde durulmuştur. Çalışma sonunda, kabinin hatalı montajının engellenmesi, kabin tasarımının kaza durumlarına göre değiştirilmesi, kabinin şasiyle doğrudan desteklenmesi gibi önlemler ile kaza sırasında sürücü ve yolcuların yaralanma riskinin minimum seviyelere indirildiği sonucuna varılmıştır. E.J. Honiball ve arkadaşları (2000), hafif ticari ve arkasındaki kanopide yolcu taşıyan bir aracın, E/ECE/324 (1986) regülasyonlarına göre simülasyon ve gerçek test sonuçlarını karşılaştırılmıştır. Analizi yapılan kanopi üzerinde deformasyon noktaları belirlenmiş ve bu noktadan alınan verilerle gerçek test sonuçlarının tutarlılık gösterdiği saptanmıştır. Üç farklı kütle ve geometrik tasarıma sahip araç için, kaza sırasında yuvarlanma durumları göre minimum yanal hız değerleri belirlenmiştir. Yapılan analiz ve testler sonucunda kaza durumunda ölüm ve yaralanma riskini en aza indiren kanopi tipi belirlenmiştir.

Bu çalışmada ise diğer literatür çalışmalarından farklı olarak, özel boyutlara ve amaca sahip ağır hizmet aracının kompozit kabine ECE R29/3 regüsyonu test aşamalarının uygulanması ve kabin dayanımının regülasyon test sınırlarına uygunluğu incelenmiştir. Aracın boyutları nedeniyle, test platformu yine ECE R29 regülasyonu içerisinde verilen düzenek sınır değerlerine göre araç için özel olarak tasarlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2. 1. Test aracının genel özellikleri

Kabini darbe testine tabi tutulacak taşıt, hava aracı kurtarma ve acil müdahale ekiplerince kullanılan sivil havacılık kurallarına göre NFPA-414 (National Fire Protection Association) standardına uygun olarak üretilen bir ağır hizmet aracıdır. 4x4, 6x6 ve 8x8 tahrik tiplerine sahip olarak üretilen araçta, sırasıyla 26 ton, 39 ton ve 52 ton taşıma kapasitesine sahiptir. Trafik yönetmeliğine göre 7,5 ton üzeri maksimum yük taşıma kapasitesine sahip olan N<sub>3</sub> araç sınıfında (Karayolları Trafik Yönetmeliği, 1997) bulunan ve maksimum hızı 135 km/h ile sınırlanmış aracın farklı tahrik tiplerindeki genel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Havaalanı acil müdahale araç özellikleri

Tahrik	Toplam Ağırlık	Araç Uzunluğu	Motor Konumu	Araç Sınıfı
8x8	45 ton	12,4 m	Arkada	N <sub>3</sub>
6x6	39 ton	11,5 m	Arkada	N <sub>3</sub>
4x4	26 ton	9,5 m	Arkada	N <sub>3</sub>

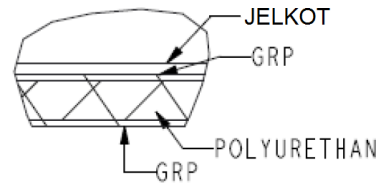
Araç genel olarak kabin, su tankı, yangın söndürücü köpük tankı, araç motorunun ve tahrik sistemlerini içeren arka modül grubundan oluşmaktadır. Aracın farklı kapasite tipleri için su ve sentetik köpük tankı hacimleri değişiklik göstermektedir. Su tankı kapasitesi yaklaşık 10-12 ton ve sentetik köpük kapasitesi 1-2 ton olacak şekilde imal edilmektedir. Araç sağdan, soldan ve ortadan direksiyonlu olmak üzere müşteri isteğine göre üretilmektedir.

Yapısal özellikleri, boyutları ve fonksyonelliği nedeniyle diğer ağır ticari kamyonlardan farklı olan aracın tüm tipleri için, kompozit malzemenin imal edilmiş aynı kabin kullanılmaktadır. Kabin içeriğinde; farklı kalınlılarda ve yalıtımlı ürün elde edilebiliyor olması, üretim yöntemi kolaylığı nedeniyle sandviç kompozit malzemenin imal edilmiştir. Sandviç kompozit malzeme iç yapısı; yüzey kalitesinin yüksek olması istenilen bölgelerde jelkot malzeme, kabin yalıtım malzemesi olarak

poliüretan malzeme ve karkasın ana taşı olarak poliüretan malzemeyi saran reçine-elyaf karışımı malzemeyi içermektedir(Şekil 1).

Olası bir kaza durumunda kabin içerisindeki yaşam alanının korunmasını sağlamak için, destek karkasında ve ekipman bağlantı noktalarında metal malzemeler kullanılmıştır.

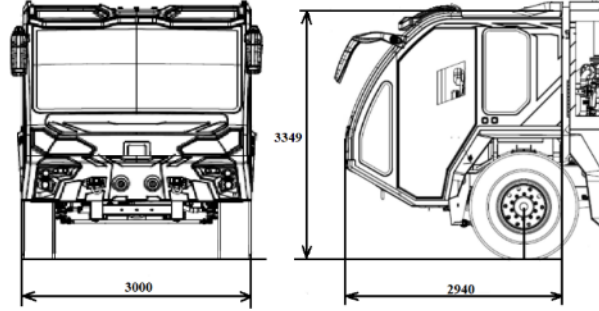
Kabin reçine ve fiber malzemenin infüzyon ve el yatırması yöntemiyle kalıba alınması ile imal edilmektedir.



Şekil 1. Kabin yapımında kullanılan sandviç kompozit malzeme iç yapısı

İmal edilmiş kabinin genel görünümü, temel boyutlarıyla birlikte Şekil 2'de gösterilmiştir. Yoldan gelen titreşimlerin sönümlenmesi ve yolcu konforu için kabin, araç şasisine esnek bağlantı takozları kullanılarak bağlanmaktadır.

Kabinde kullanılan tüm ekipmanlar da regülasyona uygun olarak imal ve tedarik edilmiştir. Sürücü koltuğu ve solunum tüpü erişimine uygun üretilmiş personel koltukları üç nokta emniyet kemerli olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. Hava aracı kurtarma ve acil müdahale aracı kabininin genel görünümü

## 2. 2. ECE R29/3 regülasyonuna göre test düzeneği tasarımı

Hava aracı acil müdahale ve kurtarma araçlarının tabi olduğu NFPA-414 standardı gereksinimlerinden, ECE R29/3 regülasyonuna uygun olarak kabin dayanımı testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aracın ticari araçlara göre boyutlarının farklı olması sebebiyle, test etaplarının gerçekleştirilmesi için test platformu tasarımı araca göre özelleştirilmiştir. ECE R29/3 regülasyonu, N kategorisindeki tüm araçlar için; kabin şekli, kabin boyutları ve kabin malzemesinden bağımsız olarak sürücü ve yolcuların kaza anında güvende kalmalarını sağlayacak bir yaşam alanı temin eder. Regülasyon, A (ön darbe testi), B (ön a sütunu testi), C (tavan dayanımı testi) olmak üzere üç ana test bölümünden oluşmaktadır. Ayrıca C testi de arasında ikiye ayrılarak C<sub>1</sub> (yan darbe testi) ve C<sub>2</sub> (tavan dayanımı testi) testlerini içerir. Testler aracın herhangi bir kaza anındaki önden tam çarpma ve takla atarak yuvarlanma durumlarını simule etmektedir. Regülasyon araç sınıfı ve araç motoru konumuna göre aracın hangi test

aşamalarında test edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Teste tabi tutulacak aracın, N<sub>3</sub> araç sınıfına tabi olması sebebiyle ECE R29/3 regülasyonuna göre A, B ve C testleri gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aracın tüm tahrik tiplerinde motorun, araç arkasında konumlandırılmış olması nedeniyle, regülasyonda belirtilen şekilde A testi gerçekleştirilmemiştir. Kabine uygulanacak test etapları için sırasıyla B, C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> olacak şekilde, regülasyonda belirtilen tasarım sınırları göz önüne alınarak, B ve C<sub>1</sub> testleri aynı test platformunda yapılacak şekilde modüler test platformu tasarımı gerçekleştirilmiştir.

B testi, aracın ön kısmından araç kabininin A sütununa (araçların orta gövdesinin önünde yükselen, tavanı taşıyan sağ ve sol köşede bulunan ve içinde pasif güvenlik unsuru destekleri olan sütun.) ve kabin ön camının yatayda alt ve üst noktaları ortasına dikey etki edecek şekilde sert ve homojen S355 kalite yapı çeliğinden imal edilmiş silindirik bir kütle ile gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden, çarpma aparatı araç genişliğini aşacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3a).

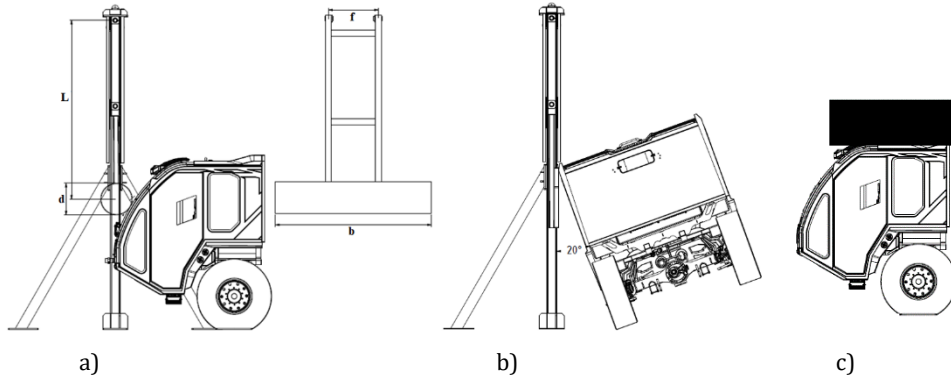
Tablo 2. ECE R29/3 regülasyonuna göre test sınırları ve test platformu tasarım parametreleri

Test Parametreleri	ECE R29 Test Sınırları		Tasarım Değerleri	
	B Testi	C <sub>1</sub> Testi	B Testi	C <sub>1</sub> Testi
Darbe enerjisi	Min. 29,4 kJ	Min. 17,6 kJ	29,4 kJ	17,9 kJ
L	L≥3500 mm	-	3562,5 mm	-
d	600±50mm	-	630 mm	-
f	1000 mm	1000 mm	1000 mm	1000 mm
b	b≥2500 mm	b≥2500 mm	3100 mm	3100 mm
Kütle	m≥1000kg	m≥1500kg	1040 kg	2300kg

C<sub>1</sub> testi, yer düzleminde 20 derece açıda konumlandırılan aracın kabinine tam yandan sert ve homojen bir kütle ile çarpıtılması ile gerçekleştirilmektedir. Testte aracın kaza anında yuvarlanma durumu simule edildiği için test aparatı kabinin yan üst kenarını kaplayacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 3b).

C<sub>2</sub> testi, araç kabini üzerine bir dingilin maksimum taşıma kapasitesini aşacak şekilde

maksimum 98 kN olarak belirlenmiş yükün yavaşça bırakılması ve yük tamamen kabin üzerinde iken kabin dayanımının incelenmesi şeklindedir (Şekil 3c). Kabine etki eden yük, kabin tavanının tamamını kaplayacak genişlikte olmalıdır. Regülasyonda belirtilen test aşamaları için minimum çarpma enerjileri, darbe etki bölgeleri ve test platformu sınır değerlerine göre test platformu tasarımı Tablo 2’de verilen şartları sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

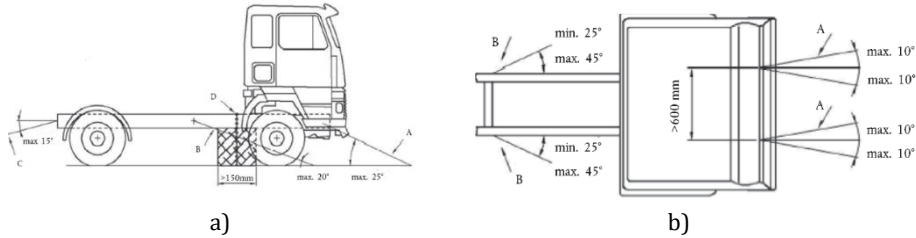


Şekil 3. ECE R29/3 regülasyonu test tipleri a) ön a sütunu testi b) yan darbe testi c) tavan dayanımı testi

### 2. 3. Darbe testleri için sınır şartları

Tüm çarpma enerjisinin kabinine aktarımını sağlamak için, araç şasisi tüm sabit konumda tutulma amacıyla Şekil 4’de gösterildiği gibi halat ve zincirler yardımıyla ve regülasyona göre gerekli bağlantı açıları sağlanacak şekilde ile sabitlenmiştir. ECE R29/3 regülasyonuna göre darbe testi değerlendirmesi, kabin içerisinde bulunan tüm koltuklara yerleştirilmiş ve tasarım koşulları regülasyon tarafından belirlenmiş sürücü ve yolcuların kaza öncesi ve sonrası yer değiştirmeleri göz önüne alarak yapılmaktadır. Kaza anında yaşanacak savrulma ve darbe etkileri sonrası, test mankenlerinin yaşam alanı ve yer değiştirme sınırları içerisinde

kalmaları gerekmektedir. Tüm test aşamaları için bu test mankenleri kullanılmaktadır. Ayrıca kaza sırasında araç kapılarının açılmaması, kaza sonrasında ise kapıların sıkışmadan açılıp yolcuların ve sürücünün araçtan tahliyesinin kolaylıkla yapılması öngörülmüştür. Durumu simule edecek şekilde öncelikle şasi araca sabitlenmiş kabin, B testi için test platformu yükü orta ekseni ile araç orta ekseni kesişecek şekilde ve yük serbest durumda iken araç A sütunlarına temas halinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. C<sub>1</sub> testi için ise araç-yer düzlemi arası açı 20 derece koşulu sağlanacak şekilde platforma çıkarılmış ve yük serbest halde iken, kabin köşesine temas eder halde tüm köşeyi kaplayacak şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 4. ECE R29/3 regülasyonuna göre test aracını sabitleme konumları ve bağlantı açıları a) ön a sütunu çarpma testi yan görünüşü, b) ön a sütunu çarpma testi üst görünüşü

Regülasyon enerji değerlerine göre B ve C<sub>1</sub> testleri sırasıyla 29.4 kJ ve 17.9 kJ olacak şekilde, enerjinin korunumu kanununa göre vuruş açıları hesaplanmıştır. Bu açı değerleri B testi 74 derece (Şekil 5a), C<sub>1</sub> testi için ise 66 derecedir (Şekil 5b). Test platformunun, kabine çarpma yönünde hareketini engellemek amacıyla B testi için çarpma yönüne paralel olarak ön ve arkadan test platformunu sabitleyen iki adet ayak kullanılmıştır. C<sub>1</sub> testi için ise aracın test platformuna dik konumlandırılması sebebiyle, test platformu ön destek ayakları sökülerek,

aracın konumlandırılması sağlanmıştır. Böylece iki farklı test düzeneği için tek platform kullanılmıştır. Test yükünün serbest bırakılması için, hidrolik pistonla tasarlanan kilit mekanizması kullanılmıştır. Gerekli açı değerine kadar kaldırılan yük, pistonun tetiklenmesi ile açılarak test gerçekleştirilmiştir. C<sub>2</sub> testinde, kabinin üzerine şasi araca bağlı halde iken beton olarak hazırlanan 10 ton kütle yavaşça kabin tavanını kaplayacak şekilde bırakılmış ve kabinde oluşan değişiklikler incelenmiştir (Şekil 5c).



a)

b)

c)

**Şekil 5.** Sabitlenmiş test aracının a) ön a sütunu çarpma testi, b) yan darbe tesiti ve c) tavan dayanımı testinin uygulanması

### 3. Bulgular

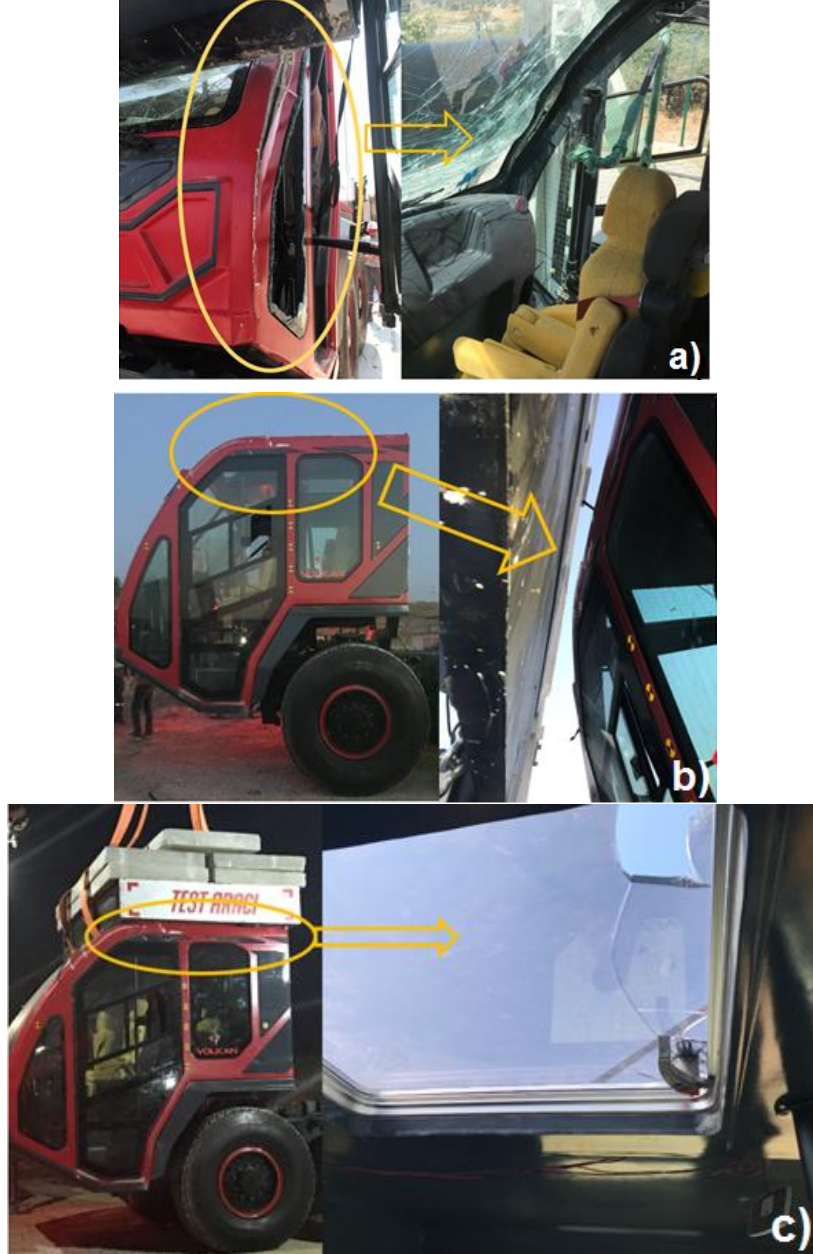
ECE R29/3 regülasyonunda tüm test aşamaları için farklı kabinler kullanılabilmesi gibi isteğe bağlı olarak C testleri için tek kabin kullanımı da belirtilmiştir. Bu maddeye bağlı olarak B testi için ayrı, C testleri için ayrı bir kabin kullanılarak test aşamaları gerçekleştirilmiştir. Kompozit olarak imal edilmiş aynı imalat yöntemlerine sahip kabinler üzerinde testler gerçekleştirilerek, regülasyonun belirlediği enerjilerle rijit yüklerin çarptırıldığı kabinler üzerindeki deformasyon değerleri incelenmiştir. Test sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. B testinde, A sütununa çarpan yükün oluşturduğu deformasyon yaşam alanını etkilemeyecek derecede oluşmuştur. Bu deformasyon kabin içerisinde sürücü ve yolcu mankenleri de dahil yer değiştirmelerini etkilememektedir. Kompozit kabininin A sütununun metal çubuklarla desteklenerek imal edilmesi neticesinde, kabinin önden çarpma için mukavemeti artırılmış ve gerekli regülasyon koşulları sağlanmıştır. Kompozit malzeminin fiber yapısı da darbe

anında enerjinin büyük kısmını sönmülemiş ve darbenin etkisini sürücü ve yolcular için azaltmıştır (Cengiz, 2007). C<sub>1</sub> testi de, kompozit kabin için yaşam alanını etkilecek olumsuz bir sonuç yaratmamıştır. Yine kabinin köşelerinin metal çubuklarla desteklenmesi ve kullanılan sandviç kompozit yapının mukavemeti, araç köşesi ve yan duvarı etkilememiştir. Kabinde kullanılan sandviç kompozit malzeme ve kabinin parçalı imalatı sonrası birleşim bölgelerinde de darbe sonucu olumsuz bir etkiye rastlanmamıştır. Ayrıca B ve C<sub>1</sub> testlerinde kabinin şasi bağlantı elemanlarında da çarpılma, çatlak v.b durumlar söz konusu değildir. C<sub>2</sub> testi için 10 ton olarak kabin üzerine bırakılan yük, öncelikle araç tekerlek askı sistemi yaylarının çökmesine neden olmuş ve sonrasında kabin üzerine yükün tamamen bırakılması neticesinde ise araç kabini üzerinde bulunan çatıya çıkış penceresi haricinde bir deformasyon yaratmamıştır. Kullanılan tüm camların ECE normlarına uygun olarak seçilmesi ve kaza anında dağılmaması nedeniyle kişilerin yaralanma risklerini minimize etmiştir.



Regüsyon test aşamaları sonrasında kabine önden , yandan ve yukarıdan etki ettirilen tüm yüklerde kabindeki sürücü ve yolcuların yerdeğişimleri ölçülmüştür. Bu ölçümler

sonrasında, önden çarpma ve yuvarlanma kaza durumlarında , sürücü ve yolcular için güvenli bir yaşam alanı sağlanmaktadır.



**Şekil 6.** B, C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> test sonuçları a)Ön A sütunu testi sonrasında, ön cam ortasına çarptırılan yükün, A sütunlarının kompozit yapısını deforme ettiği fakat yolcuların bu çarpışmadan etkilenmediği görülmektedir, b) Yan darbe testi sonrasında, kabin köşesi yaşam alanı için ihmal edilecek kadar az deformasyona uğramıştır, c) Tavan dayanımı testi sonrasında kabin üzerindeki yükün kaldırılmasıyla sıkışan yaylar ilk konumuna gelmiş ve herhangi bir deformasyon oluşmamıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma neticesinde, kompozit olarak imal edilmiş bir kabine sahip özel hizmet aracı, N3 sınıfı ve arkadan motorlu bir araç için, ECE R29/3 test aşamalarının tamamından sürücü ve yolcuların kaza durumunda yaşam alanı yaralanma riskini en aza indireyecek şekilde korumuştur. Özel hizmet aracı için kompozit olarak imal edilmiş kabin, çarpışmalar sırasında örgü yapısı ve kalınlığı ile enerjinin büyük bir kısmını sönmüleyerek sürücü ve yolcuların darbeden etkilenmesini azaltmıştır. Regülasyonda belirtilen şekilde çarpışma sonrası manken yerdeğıştirmelerinin, sınır değerleri içerisinde kaldığı ölçümler sonrasında teyit edilmiştir. Ayrıca sandviç kompozit yapıyla birlikte, aracın ekipman bağlantıları ve darbe durumları için ön ve köşe bölgelerinin metal karkasla desteklenmesi de darbe dayanımına katkı sağlamıştır. ECE R29/3 regülasyonun araç kapıları için ön gördüğü kaza anında kapıların darbeye açılmaması ve kaza sonrasında kapının sıkışması durumlarının aksi de test sırasında yaşanmamıştır. Böylece bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak, alışlagelmişin dışında bir malzeme ve imalat yöntemi kullanılarak üretilen bir kabin için hem regülasyon isterleri karşılanmış, hem de kabinin test edilebilmesi için gereken test platformu özel olarak tasarlanarak regülasyonun tüm aşamaları uygulamaya dahil tek elden yürütülmüştür.

#### Teşekkür

Çalışmaya katkılarından dolayı yazarlar, Volkan İtfaiye Araçları San. ve Tic. A.Ş. firmasına teşekkür eder.

#### Kaynakça

[1] Regulation No 29 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants of the cab of a commercial vehicle,2011.

[2] Philip J. Munga S., 2013, Correlation of Test Results for ECE R 29 Load Cases With CAE Simulation. Altair Technology Conference, India.

[3] Raich H., 2003, Safety Analysis of the New Actros Megaspaces Cabin According to ECE R29/02. 4<sup>th</sup> European LS-DYNA Users Conference, 22-23 Mayıs, Almanya.

[4] Mirzaamiri R., Esfahanian M., Ziaei-Rad S. 2012. Crash Test Simulation and Structure Improvement of IKCO 2624 Truck According to ECE-R29 Regulation, International Journal of Automotive Engineering, Cilt 2, Numara 3, Ocak.

[5] Yaşar F. 2011. N3 sınıfı Ağır Ticari bir aracın ECE R29 Standardına Uygun Önden Çarpma Analizi ve İyileştirme Çalışmaları. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

[6] NFPA-414, Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Vehicles, 2015.

[7] Karayolları Trafik Yönetmeliği, 1997.

[8] Pasha H., Madhuchandra, K.S., Rajesh P., Basavaraja J, 2018 Reinforcement Design and Crash Analysis of Medium Duty Trucks for Rollover Crash Accidents International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering, Vol 3, Issue 5, Hindistan.

[9] Cengiz A. 2007, Kompozit Çubukların Enerji Sönümleyici Özelliklerinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kocaeli.

[10] Büyük M., Atahan A.O., Kurucuoğlu K., 2018, Impact Performance Evaluation of a Crash Cushion Design Using Finite Element Simulation and Full-Scale Crash Testing, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[11] Gendar D., 2007, Numerical Simulations for Testing of Commercial Vehicle as Per ECE-R29 Regulations, Symposium on International Automotive Technology, SAE Paper No. 2007-26-045, India.

[12] Sharma, S., Sharma, S., Tiwari, S., and Gupta, U., 2015, Finite Element Simulation and Validation of Fully Suspended Heavy Duty Commercial Vehicle (HCV) as per AIS029 Pendulum Impact Test, SAE Technical Paper 2015-01-2873, Michigan.

[13] Dwivedi P., Kulkarni A., Chalipat S., Pardeshi M., 2011, Protection Devices to Improve Frontal Pendulum Impact Performance of Heavy Commercial Vehicles, Symposium on International Automotive Technology, SAE Paper No. 2011-26-0099, India.

[14] Honiball E.J., Niekerk J.L. van, 2000, The Development of A Test Specification to Determine The Rollover Protection of Passengers in Light Commercial Vehicles Fitted with Canopies, Accident Analysis and Prevention 33 (2001) 621–628, 2000, South Africa