



Yaya Güvenliği; Sınıflandırılması, Etkili Faktörler ve Koruyucu Önlemler

Tunahan ÖZYER¹, Gökhan BİLGE²

¹ TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Anonim Şirketi AR-GE, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0003-4427-9018

² TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Anonim Şirketi AR-GE, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0002-9912-1819

Corresponding Author: Tunahan ÖZYER, tunahan.ozyer@tofas.com.tr

Özet

Dünya çapında, otomotiv alanındaki gelişmeler hızla artıyor. Bu gelişmeler ile halen önemini korumaya devam eden yaya güvenliğindeki konular ise istatistiksel sonuçları itibariyle bir azalış gösterse de gelişen teknoloji göz önünde bulundurulduğunda göstermesi gereken büyük kırılmaları halen göstermemekte.

Yaya güvenliği alanındaki bu teknolojilerin zaman boyunca gelişimini anlamak ve gelecek beklenti ve öngörülere ışık tutmak amacıyla, bu çalışmada yaya güvenliğine önce genel bir bakış sağlanmış daha sonra son 20 sene içerisinde geliştirilen teknolojiler ortaya konmuştur.

Article Info

Review Article

Received: 07/11/2023

Accepted: 29/12/2023

Anahtar Kelimeler

Yaya Güvenliği
Yaya Yaralanmaları

Öne Çıkanlar

EURO NCAP,
UN-ECE Reg.,
Kafa çarpma,
Bacak Çarpma

Pedestrian Safety; Classification, Effective Factors and Protective Precautions

Abstract

Developments in the automotive field are increasing rapidly. Although the issues in pedestrian safety, which still maintains its importance with these developments, show a decrease in terms of statistical results, it still does not show the major breakdowns that it should show when the developing technology is considered.

To understand the development of these technologies and to shed light on future technologies, in this study, first an overview of pedestrian safety was provided and then the technologies developed in the last 20 years were revealed.

Keywords

Pedestrian Safety
Pedestrian Injuries

Highlights

EURO NCAP
UN-ECE Reg.
Head Impact
Leg Impact

1. Giriş

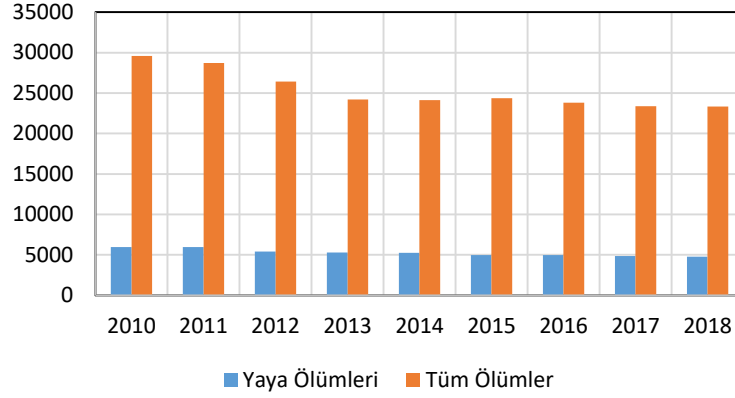
Günümüz dünyasında teknolojinin evrimini devam ettirmesiyle birlikte yeni araç teknolojileri mevcut teknolojilerin yerini almaktadır. On yıl önce elektrikli araçların pazarda ne kadar rekabetçi olabileceği tartışılırken bugün dizel yakıtlı araçlar ile neredeyse başa baş noktasına gelmiş; artık hidrojen gibi alternatif yakıtlı ve otonom araçlar gibi türevlerin geliştirilmesi söz konusu olmuştur. Dünya üzerindeki araç sayısı, artan insan nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamak üzere artmaya devam etmektedir. Trafikte her gün artan taşıt sayısı; çevresel kirlilik, güvenlik ve gürültü vb. birçok problemi de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda güvenlik ve özellikle yaya güvenliği konusu geçmişten günümüze sektördeki üreticilerin ve yasama organlarının özellikle üzerinde durduğu başlıklardan birisidir.

Trafik kazalarında yayalar, ölüm ve yaralanma ile sonuçlanabilen çarpışma koşullarında savunmasızdır. Dolayısı ile yayaların kaza anında güvenliklerinin sağlanması ya da bu kazaların azaltılması taşıt, çevre koşulları, kanuni düzenlemeler ve bu düzenlemelere uyuma bağlıdır. Güncellenen trafik kuralları, geliştirilen çevre koşulları ve taşıtlar üzerindeki geliştirmelere rağmen günümüzde, yaya yaralanmalı ve ölümlü kazalar için halen kesin bir çözüme ulaşmamış, ölüm ve sakatlık ile sonuçlanan vakalar ile karşılaşılmaya devam etmektedir [5].

Bu çalışmada yaya güvenliği üzerine gerçekleşmiş olan gelişmeler, bu gelişmeleri teşvik eden regülasyonlar ve bu regülasyonların hangi temeller üzerine kurulduğu işaret edilerek son 20 senede yaya güvenliği alanındaki gelişmeler ve Avrupa pazarında yaya güvenliği alanında uygulanması planlanan yeni çözümler incelenecektir.

2. Yaya Yaralanmalı Kazalar

Dünya çapında yaşanan trafik kazalarında ölen insan sayısı 1.24 milyonun üzerinde olup yaşanan bu kazalarda 20 ila 50 milyon insan yaralanmaktadır. Tüm bu ölüm ve yaralanmaların ise 1/5'inden yayalar etkilenmektedir. Avrupa' da trafikte meydana gelen ölümlü kazaların ve Yaya yaralanmaları kazaların sayılarında yıllar içinde meydana gelen değişkenlik görülebilmektedir [19].



Şekil 1. Avrupa Birliğinde Trafik Kazalarında Yaya Ölümleri ve Tüm Ölümler (European Road Safety Observatory 2020)

Otomotiv üreticileri, tüm diğer işletmeler gibi kâr amacı güderler ve ürünlerini hukuki zorunluluklar ve müşteri beklentilerini merkeze alarak geliştirirler ve pazarlamada; ürün geliştirme süreçlerini, üreticilerin markalarını konumlandıkları pozisyonlarına hizmet edecek şekilde ilerletmektedirler. Otomotiv sektöründe, müşterilerin satın alma parametreleri incelendiğinde; insan güvenliği başlığında dikkat ettiği konuların, öncelikle sürücü ve yolcu konumunda bulunan insanların güvenliğini bir kriter olarak esas aldığı ve yaya güvenliği bu başlık altında müşterinin maddi açıdan bir tasarruf sağlayacağı bir konu olarak yer almadığı gözlemlenmektedir. Tıpkı motorlu taşıtların dışarıya saldığı egzoz emisyonun çevreye verdiği zararlar gibi, müşterinin satın alma parametreleri içerisinde en alt sıralarda yer alan yaya güvenliği parametresi de; müşteri beklentilerine göre değil zorunlu olarak otomotiv endüstrisini kısıtlayan hukuki regülasyonlara göre şekillendirilmekte ve firmalar bu regülasyonlara uygun olarak sınırlandırılmış şartlar altında araçlarını geliştirmektedir.

2.1. Yaya Yaralanmalarının Sınıflandırılması

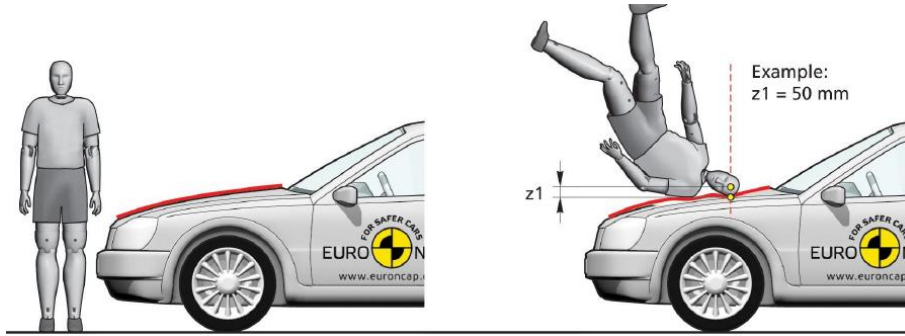
Otomotiv endüstrisinde yaya güvenliğinde sınırlandıran regülasyonlar yaya kazalarını 3 ana başlığa ayırmaktadır. Araçlar, aracın yayaya ilk çarptığı bölge olan *alt bacak*, ardından aracın hız ve geometrisine bağlı olarak kaput – tampon bölgesine çarptığı *üst bacak* ve kaput bölgesine çarptığı *kafa/baş yaralanmaları* olarak kategorize edilmekte ve derecelendirilmeleri bu üç başlık altında yapılmaktadır [3].



Şekil 2. Trafik kazalarında yaya yaralanma tipleri (Euro NCAP 2014)

2.1.1 Kafa Yaralanmaları

Yaya kazalarında yayanın araçla son temas bölgesi olarak kabul edilen kafa bölgesi; yayaların karıştığı yaralanmalı kazalar içerisinde, ölüm ve bitkisel hayat ile sonlanabilen sonuçları nedeniyle en kritik bölgelerden biridir [9]. Doğurduğu sonuçlar nedeniyle otomotiv üreticilerinin, sınırlayıcı protokolleri diğer çarpma bölgelerine göre daha kısıtlayıcı ve karşı önlem çalışmalarının daha yoğun yürütüldüğü kafa çarpma bölgesi için üreticiler tarafından yürütülen mühendislik çalışmaları; *kafa çarpma havuzları*, *pop-up kaputlar*, *kaputa entegre hava yastığı sistemleri* ve *gelişmiş kaza önleyici sistemler* başlıkları altında yoğunluk göstermektedir [7].



Şekil 3. Kafa Çarpma Testleri (Euro NCAP Pedestrian Testing Protocol 2018)

2.1.2 Üst Bacak Yaralanmaları

Yaya yaralanmalı kazalarda, ikinci darbe bölgesi olan üst bacak yaralanmaları; yaralanmanın kritikliği bakımından genellikle en az kritiklik seviyesine sahip bölgedir. İnsan vücudu ve araç geometrisi karşılaştırıldığında insan vücudunda yaklaşık olarak kalça bölgesi ve çevresine denk gelen, üst bacak yaralanmalarında; tampon ve kaput birleşim bölgesinin etkisi bulunur. İnsan vücudunda denk geldiği bölümün dayanımı ve kaza anında ilk olarak enerjinin etkisini almayan bölge olmasına paralel olarak yaralanma kritiklik seviyesi daha düşüktür [9].

2.1.3 Alt Bacak Yaralanmaları

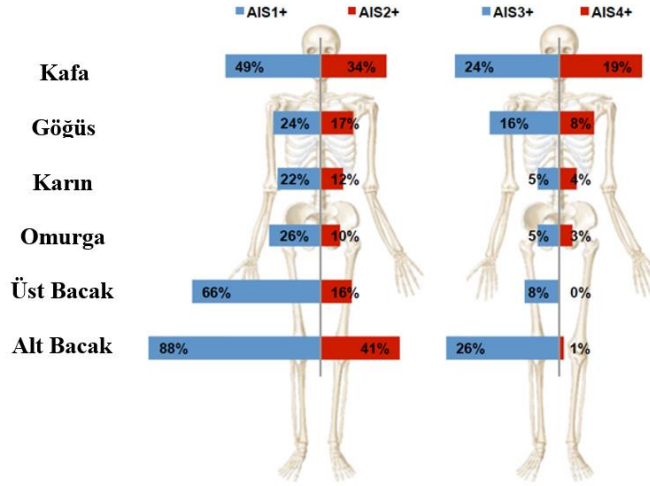
Kaza anında; yayanın, araç ile ilk temasının gerçekleştiği alt bacak bölgesi, araç geometrisi ve insan vücudu değişkenlerine bağlı olarak; insan vücudunda diz-eklem bölgesine denk gelmektedir. Kaza anında aracın ilk kuvvetinin hissedildiği diz-eklem bölgesi, yaralanmaların büyük oranda görüldüğü bölgedir [17]. Sonuçları her ne kadar kafa yaralanmalı kazalar kadar kritik olmasa da büyük oranda sakatlık ya da kalıcı sakatlık ile sonuçlanabilmektedir [9].

Benzer sonuçlar Hannover Tıp Üniversitesi (Almanya) Kaza Araştırma Birimi tarafından yapılan araştırmalarda gözlemlenmiştir. 1985-1995 yılında gerçekleşen 762 vakanın incelendiği araştırma sonucunda yayaların %75'inin AIS 1+ (Abbreviated Injury Scale) bacak yaralanmasına maruz kaldığını gösterdi. Bu yaralanmaların

%50'den fazlası bacağın alt kısmını, yaklaşık 1/3'ü ise dizini ilgilendiriyordu. Alt bacak yaralanmalarının yaklaşık 3/4'ü, diz yaralanmalarının ise %40'ı araba tamponundan kaynaklandığı görülmüştür [25].

2.2. Yaralanma Bölgelerinin Dağılımı

Yaya yaralanmalarındaki gerçekleşme sayısı, gerçekleşmesine sebep olan araç üzerinde bölge, bileşenler ve gerçekleştiğinde oluşan sonuçların kritiklik seviyeleri anlamında birbirinden farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmalarda bu kritiklik seviyeleri AIS (Abbreviated Injury Scale) ölçekleri ile gösterilmektedir. AIS yaralanmayı sınıflandıran bir ölçüm sistemidir ve 6 farklı derecelendirme puanı ile yaralanmalar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır. Derece 1 (küçük), 2 (orta), 3 (ciddi), 4 (şiddetli), 5 (kritik) ve 6 (azami) [1].



Şekil 4. Kritiklik Seviyelerine Göre Vücut Bölgeleri Yaralanmaları (Helmer ve ark. 2010).

Şekil 3'e bakıldığında en kritik yaralanmaların kafa bölgesinde olduğu görülürken alt bacak bölgesinin AIS2+ ve AIS3+ derecesinde önemini koruduğu görülmektedir.

3. Yaya Yaralanmalı Kazalara Etki Eden Faktörler

Yaya yaralanmalı kazalarda etkili olan faktörleri anlamak, yasal düzenlemelerin teknik gerekliliklerinin hangi temel üzerine oturtulduğunu anlamak adına önemlidir. Farklı şartlar altında gerçekleşen bu kaza tiplerinde eğer gerçekleştikleri şartlara göre yayaların sağlık durumu, kazanın gerçekleşme olasılığı/sıklığı vb gibi çıktılar değişkenlik gösteriyorsa bu şartlar etkili birer faktör olarak incelenebilir.

3.1. Araç Bileşenlerinin Yaya Yaralanmalarına Etkisi

Yapılan çalışmalarda yaya yaralanmalı bir kazanın içerisinde bulunmuş araçların farklı bileşenlerinin insan vücudunda farklı bir bölgenin sakatlığına sebep olduğu

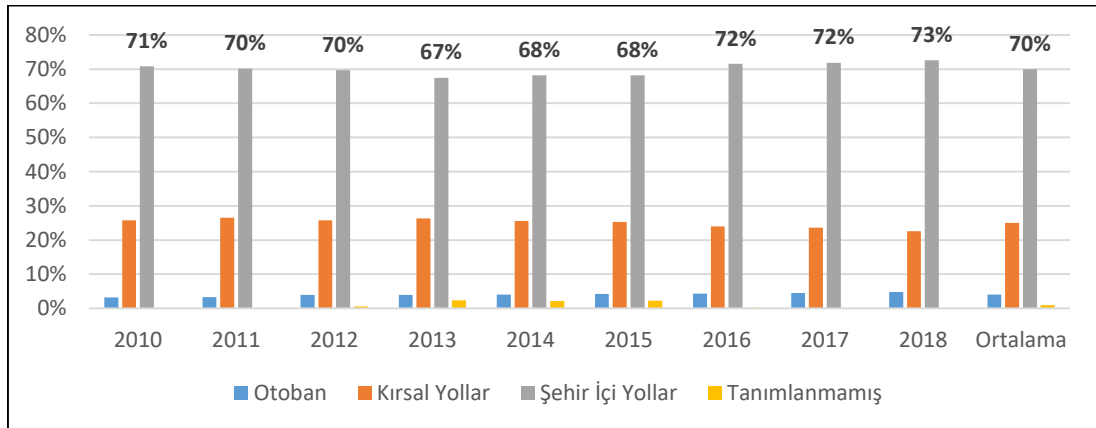
görülmüştür. Bu çalışmalarda, bütün araç geliştirme çalışmalarının nedeni olan düzenlemelerin teknik gerekliliklerine birer girdi teşkil etmektedir. Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere araç tamponu; ciddi bir oranda bacak yaralanmalarına sebep olurken kaput, A direği ve ön camın yoğunluklu olarak baş yaralanmalarında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Teknik düzenlemelerde ise buna karşılık olarak; baş bölgesi için kısıtlamaların bu bölgeler üzerinde oluşturulduğu ve bu bağlamda yapılan testlerin sonuçlarının birer referans alındığı gözlemlenmiştir.

Tablo 1. Bölgelere Göre Tüm Yaş Gruplarında Yaya Yaralanma (AIS2+) Kaynakları (Mizuno 2005).

| Yaralanma Kaynağı | Yaralanma Bölgeleri | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-----|-------|-------|---------|--------|-----|-------|------------|--------|------|
| | Baş | Yüz | Boyun | Göğüs | Abdomen | Pelvis | Kol | Bacak | Bilinmeyen | Toplam | |
| Araç Bölgeleri | Tampon | 24 | 2 | 0 | 3 | 5 | 3 | 6 | 661 | 1 | 705 |
| | Kaput | 223 | 15 | 2 | 139 | 44 | 43 | 86 | 30 | 1 | 583 |
| | Kaput Ayrılma Hatı | 15 | 2 | 4 | 43 | 78 | 85 | 35 | 127 | 0 | 389 |
| | Ön Cam | 344 | 56 | 12 | 30 | 5 | 12 | 23 | 4 | 1 | 487 |
| | A-pillar | 168 | 28 | 5 | 35 | 7 | 14 | 31 | 6 | 2 | 296 |
| | Ön Panel | 5 | 1 | 0 | 9 | 13 | 7 | 6 | 72 | 0 | 113 |
| | Diğerleri | 45 | 7 | 1 | 38 | 12 | 13 | 15 | 86 | 0 | 217 |
| | Ara Toplam | 824 | 111 | 24 | 297 | 164 | 177 | 202 | 986 | 5 | 2790 |
| | İndirekt | 13 | 0 | 17 | 1 | 1 | 7 | 1 | 9 | 0 | 46 |
| | Yol | 171 | 22 | 2 | 22 | 2 | 9 | 42 | 33 | 1 | 304 |
| Bilinmeyen | 27 | 6 | 3 | 19 | 10 | 16 | 25 | 52 | 7 | 165 | |
| Toplam | 1035 | 139 | 46 | 339 | 177 | 209 | 270 | 1080 | 13 | 3305 | |

3.2. Yol Tipinin Yaya Yaralanmalarına Etkisi

Düzenlemelerde, gerçekleşen test sonucunda alınan çıktılarından daha önemli olan bir faktör ise yapılan testin olabildiğince gerçek, yaşanabilir şartlar altında gerçekleşmesini sağlayan test prosedürleridir. Bu test prosedürlerinin en büyük girdilerinden birisi ise kazanın gerçekleştiği mekân olan yolun şartlarıdır. Farklı yol tiplerinde farklı tip kazaların ve farklı tip yaralanmaların görüleceği için konu yaya yaralanmalı kazalar olduğunda bu kazaların diğer yol tiplerine göre daha çok gerçekleştiği yol tipi ve yol koşulları baz alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

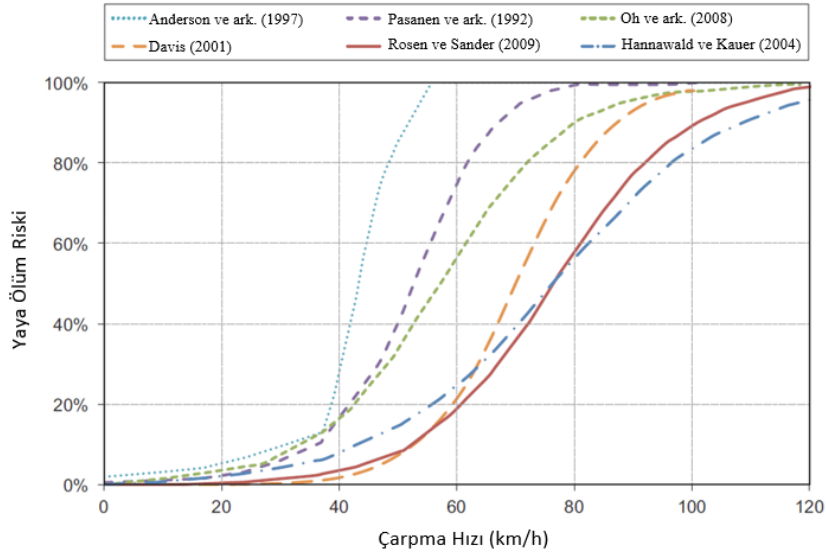


Şekil 5. Yaşanan Yaya Ölümlerinin Yol Tiplerine Göre Dağılımı (European Road Safety Observatory 2020)

2010-2018 yılları arasında yaşanmış yaya ölümlerinin yol tiplerine göre karşılaştırılması yapıldığında; ortalamada yaya kazalarının %70'inin gerçekleştiği yol tipinin şehir içi yollar olduğu görülmektedir. Bu sonucun çıkmasındaki etkenin yayaların yoğunlukta olduğu bölgeler olması olurken bu yol tipi gerçekleşecek olacak testlere bu yol tipinin koşulları belirleyici bir faktör teşkil etmektedir.

3.3. Hızın Yaya Yaralanmalarına Etkisi

Çarpma hızı, yaya yaralanmalı kazalarda yaralanma risklerini ve şiddetini etkileyen en önemli faktördür. Çarpma hızı, bir yaya çarpışmasının şiddetini tanımlamak için kullanılan ölçüdür ve ölçülen araç hasarını kullanarak araç çarpışma şiddetini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Farklı kaynaklardan alınan veriler incelendiğinde [2, 20, 19, 8, 21, 3] kaza anındaki hız ile yaya yaralanması arasında ciddi bir ilişki olduğu görülmektedir. Tüm bu çalışmaların ortak noktası olarak 80km/h hız seviyesinin üstünde gerçekleşen kazalarda yaya ölüm riskinin %60 seviyelerinin üstüne çıktığı görülmüştür.



Şekil 6. Yaşanan Yaya Ölümlerinin Yol Tiplerine Göre Dağılımı (Hu ve Klinich, 2012)

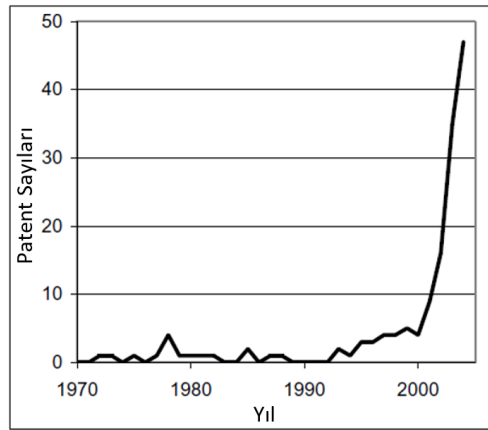
4. Yayıları Korumaya Yönelik Düzenlemeler

Daha önceki başlıklar altında da bahsedildiği üzere yaya güvenliği üzerine yapılan çalışmaların en önemli referansı bu alandaki düzenlemelerdir. Tüm proje süreçlerinden geçen bir aracın üretildikten sonra trafiğe çıkışına izin verilebilmesi için (Avrupa için) aracın dış gövdesinden direksiyon sistemine birçok şartla aracı kısıtlayan ve Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (ECE) tarafından yayınlanan düzenlemeleri karşılaması beklenmektedir. Binek araçların, Trafiğe çıkabilmeleri için, yaya güvenliği için gerekli onaylarını almaları bunun için de ECE 127 Yaya Koruma Düzenlemesinde yer alan gerekli şartları sağlamaları gerekmektedir. Bu konuda düşülen yanılığardan biri ise ECE düzenlemeleri ve EURO NCAP (European New Car Assessment

Program)'ın karıştırılmasıdır. ECE düzenlemeleri tüm araçların trafiğe çıkmak için onay almak zorunda olduğu düzenlemeler iken EURONCAP ise otomotiv üreticilerinin itibar ve pazarlama adına gönüllü olarak katıldığı bir platformdur ve üreticiler bu platformdaki testlere katılmak zorunda değildir.

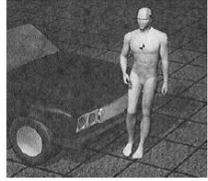
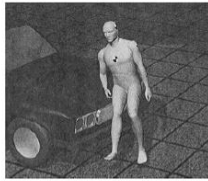
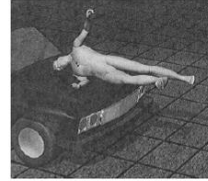
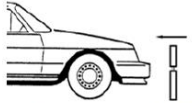

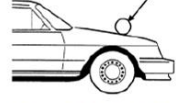
Birbirinden kanuni yetkiler ve onay süreçleri anlamında farklılıklar gösterse de her iki platformun da belirlediği sınırlayıcı test prosedürleri güvenlik alanındaki yarattıkları kanuni baskılar ve tüketici nezdindeki algısal kalite sebebiyle son derece önemlidir. ECE düzenlemelerinin hukuki olarak, NCAP puanının ise tüketici tarafından bir itibar ve kalite ölçüğü olarak algılanması sonucu otomotiv üreticilerinin ürünlerini beklentiler yönünde geliştirilmesi yönünde teşvik ettiği görülmüştür.

2006 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada Avrupa Parlamentosu ve Konseyi [24] tarafından 2003 yılında kabul edilen ve 2005 yılında uygulamaya giren 2003/102/EC sayılı direktif sonrasında yaya güvenliğinde getirilen kısıtlamalar ile yaya güvenliğinde daha iyi bir performans sergilemek zorunda kalan araç üreticileri tampon üzerine aldıkları patent çalışmalarına hız kazandırmıştır [22].



Şekil 6. Yaya Koruma için Tampon Üzerinde Alınan Patent Sayılarının Yıllara Göre Değişimi (Schuster, 2006)

Aynı yıllarda tampon üzerindeki yay güvenliğine yönelik geliştirme çalışmalarını teşvik eden 2003/102/EC ile EU-NCAP derecelendirmeleri karşılaştırıldığında yine bahsi geçen farklılıkların oldukları da görülmüştür (Şekil 7).

| Tampon ve Alt Bacak | Kaput Kenarı ve Üst Bacak | Kaput ve Kafa |
|---|---|--|
|  |  |  |
|  |  |  |
| <u>Directive 2003/105/EC</u> | <u>Directive 2003/105/EC</u> (Monitor Only) | <u>Directive 2003/105/EC</u> |
| Eğilme < 21° | | HPC < 1000 Alanın 2/3'ü |
| Yer Değişirme < 6 mm | | HPC < 2000 Alanın 1/3'ü |
| İvme < 200 g | | |
| <u>EuroNCAP</u> | <u>EuroNCAP</u> | <u>EuroNCAP</u> |
| Eğilme < 15° | Total kuvvet < 5 kN | HPC < 1000 |
| Yer Değişirme < 6 mm | Eğilme Momenti < 300 Nm | |
| İvme < 150 g | | |

Şekil 7. EU-NCAP ve 2003/102/EC Direktifinin Karşılaştırılması (Schuster, 2006)

Zaman içerisinde çevre, araçların değişmesi, yapılan yeni araştırma yöntemleri ile kaza anındaki insan davranışlarının daha iyi analiz edilebilmesi ve araçların yaya güvenliğindeki performanslarındaki artış beklentisi ile ECE düzenlemeleri yıllara göre değişiklik göstermekte ve yeni derecelendirme kriterleri eklerlerken var olan kriterlerini de sıkılaştırmaktadır. Yukarıda görülen 2003/102/EC numaralı direktifin 2015 yılında yayınlanmış olan ECE 127 düzenlemesi ile karşılaştırıldığında ECE 127 düzenlemesinin daha kapsamlı olduğu gözlenmektedir.

2015 yılında yayınlanan ECE 127 düzenlemesinde alt bacakta kriterler; azami diz bükme açısında 21°'den 19°'ye kaval kemiğinin üst ucunda ölçülen en üst ivmelenme 200g'den 170g'ye getirilirken, en fazla yer değişirme 6mm'de sabit tutulmuştur. (ECE 127, 2015) (2003/102/EC)

Üst bacakta ise daha öncesinde net bir şekilde ortaya koyulmayan üst bacak kriterleri 2015 yılındaki güncellemeyle darbe kuvvetlerinin zamana göre anlık toplamı 7,5 kN' u ve test çarpma tertibatı üzerindeki eğilme momenti 510 Nm' yi geçmemelidir şeklinde düzenlenmiştir.

Kafa çarpmalarda ise kafa çarpma alanının 2/3'ünde aranan HPC <1000 (Head Performance Criteria) değerinde sabit tutulurken alanın 1/3'ünde ise 2000 HPC' den 1700 HPC' ye çekilerek bu kriter de zaman içerisinde sıkılaştırılmıştır.

5. Yaya Koruma Alanında Gerçekleşen Gelişmeler

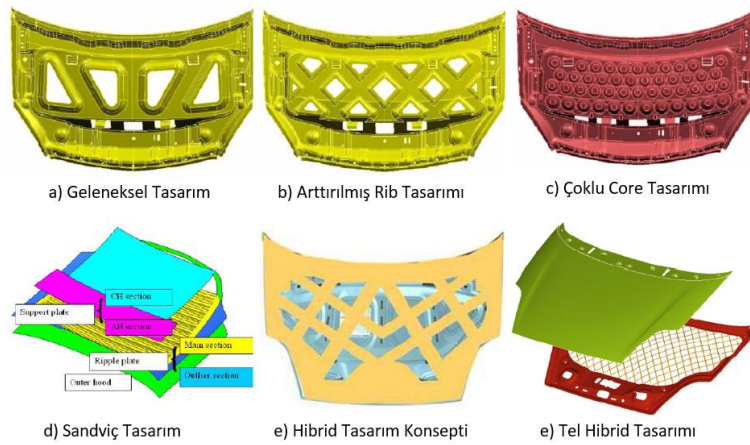
Bu alanda ECE tarafında yayınlanan düzenlemeler doğrultusunda yapılan ürün geliştirme faaliyetleri ve beklentiler araçların kafa çarpma ve bacak çarpma alanları olmak üzere iki ana başlık altında incelenecektir.

5.1. Kafa Bölgesi Koruyucu Sistemler

Otomotiv sektöründe bu alandaki gelişmeler incelendiğinde, yaralanmaların kritiklik seviyesinin en yüksek olduğu alan olan kafa çarpmaları aynı zamanda geliştirme faaliyetlerinin de en yoğunlukta görüldüğü alandır, öyle ki zaman içerisinde teknolojik ilerlemelerden de faydalanan sektör, kaput üzerinde kafa çarpma havuzu analizleri ile kaput üzerinde kafanın çarpması sonucu oluşan ezilmenin herhangi bir rijit obje ile sonlanmasını engelleyen motor boşluğu yerleşim çalışmalarından, yaya ile gerçekleşen kazalarda kaput üzerinde açılan hava yastığı çözümü gibi daha sistemsel gelişmelere doğru yönelim göstermiştir.

5.1.1. Kafa Çarpma Havuzları

Kaput üzerine küre metodu kullanılarak hazırlanan, kafa çarpmaların yoğunlukta görüldüğü bir alanın belirlenmesiyle başlayan kafa çarpma havuzları temelde kaza anında yayanın minimum hasarı alması istemiyle belirlenen bu alan içerisinde yapılan kafanın çarptığı alanda yaralanmaya sebebiyet verebilecek objelerin arındırılması işlemidir. Aracın kaputunun dış sacından zemin düzlemine doğru 70 mm'lik boş bir alan oluşturularak kaput altındaki motor boşluğunda yer alan objelerin bu alan içerisinde konumlandırılması engellenir. Kaput iç sacı, bu alana doğru bükülerek yayanın minimum hasarı alacağı bir bölge oluşturulur. Bu büküm geometrileri zaman zaman tamamen içeri boş zaman zaman ise aracın önden çarpma performansını arttırmak ve kaput deformasyonunu azalmak için içerisinden kaburga formundaki yapıların (riblerin) geçtiği bir geometride olabilmektedir.



Şekil 8. Farklı Tip Kaput İç ve Dış Panel Tasarımları (Hu ve Klinich, 2012)

5.1.2. Pop-Up Kaputlar

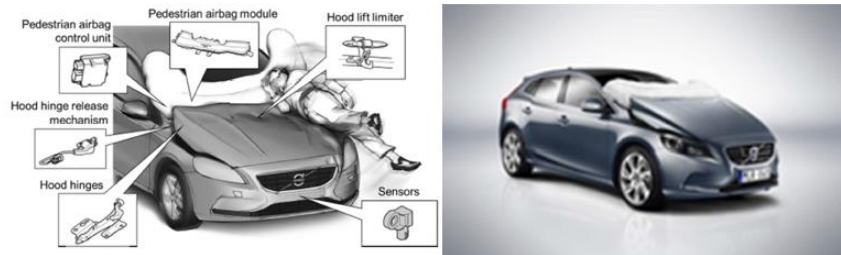
Yaşanan her bir problemin beraberinde çözüme yönelik bir yenilik getirdiği mühendislik dünyasında, otomotiv sektöründe kullanılan kaputların tâbi tutulduğu testler sonrasında aranan performans değerlerini sağlamadığı durumlar ile karşılaşmıştır. Karşılaşılan bu durumları iyileştirmek adına tasarlanan bu kaputlar [7, 15, 19, 23, 24, 13, 14, 11, 6], kaputun menteşe bölgesinde uygulanan ayrı bir kilit ve sensör sistemiyle kaza anında yayanın kafasını çarpmasından önce kaputun arkasını (menteşe bölgesinden) kaldırarak kaput ile altındaki sert bileşenler arasında ek boşluk sağlamaktadır. Bu sayede, daha büyük kaporta deformasyonu ve daha fazla darbe enerjisi yaya kafasını riskli bir bölgeye vurmadan emilebilir ve böylece yaya çarpışmalarında kafa travması riski azaltılabilir. Açılabilir bir tasarım olduğu için, genellikle bir çarpışma sensörü, bir elektronik kontrol ünitesi (ECU), bir kaput tahrik sistemi ve bir kaput serbest bırakma mekanizması içeren karmaşık bir sistemdir.



Şekil 9. Pop-up Kaput (Inomata ve ark. 2009)

5.1.3. Air-Bag Sistemleri

Araç içi kabin bölgesinde kullanımı oldukça yaygınlaşan ve bir yasal zorunluluk haline gelen air-bag sistemleri önden çarpmalarda yayaların kafa çarpma performanslarını iyileştirmek amacıyla ilk olarak Volvo tarafından otomotiv ana sanayinde kullanılmaya başlanmıştır. Çarpmanın gerçekleşmesini yaya çarpışma sensörü ve bir elektrik kontrol ünitesi (ECU) ile algılayan bu sistem kaza anından yayanın kafasını çarpma anına kadar geçen sürede kaputun arka tarafından çıkararak hem bir pop-up kaput görevi görmekte hem de yayanın baş bölgesini ön cam ve A sütunu bölgesinden korumaktadır.



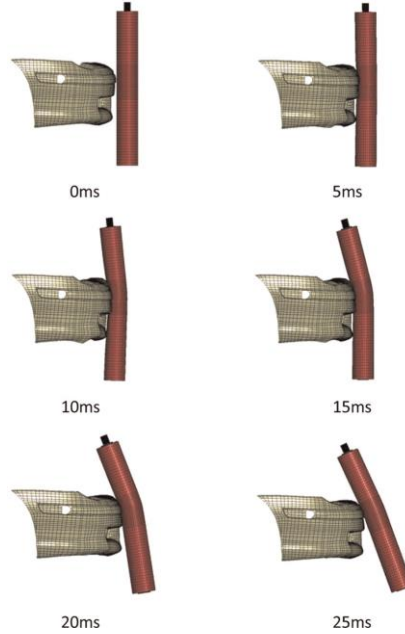
Şekil 10. Yaya Airbag Sistemi (Jakobsson ve ark. 2013)

5.2. Bacak Bölgesi Koruyucu Sistemleri

Gelişen bacak çarpma koruyucu sistemlerinin gelişim süreci kafa çarpma koruyucu sistemlerinin paralelinde ilerlemektedir. Kafa çarpma koruyucu sistemlerinde olduğu gibi yapılan çalışmalar, mekanik ve geometrik çözümlerle kaza anında yayanın alacağı hasarı azaltmaya yöneliktir.

5.2.1. Tampon Tasarımları

Özellikle bacak bölgesinin korunmasını artırma amacıyla yapılan çalışmaların temelidir. Araçlarda kullanan tamponun stili ve tasarımının tamponun kaza anında ilk temas bölgesi olması ve bu doğrultuda kazanın gidişatını etkileyebilmesi sebebiyle önemi büyüktür. Kazanın gerçekleştiği anda, yayaya ilk temas eden bölge olan tamponun geometrisi aracın tasarım isterlerine göre çeşitli şekillerde olabilmekte fakat yaya güvenliği ön plana alındığında bu tamponun bacak çarpma performans kriterlerine yanıt verebilmesi için diz-eklem bölgesinden bacağı mümkün olduğunca az eğecek, yine aynı bölgede gerçekleşen yer değiştirmeyi minimumda tutacak ve aktarılan enerjinin düşük olmasını sağlayacak bir tampon tasarımı ortaya koyulmalıdır fakat bunların yanında yayanın kaza anındaki diğer pozisyonları ve araç geometrisinin bu çarpma anı için geliştirdiği objeler düşünüldüğünde; yayanın tampona çarptıktan sonra kafasının a sütünü ve menteşe bölgesine denk gelmeyecek şekilde kaput kafa çarpma havuzuna düşürülmesi, yayanın güvenliğini yanlış bir tasarım ile yayanın kaza anında aracın altında kalacağı ya da yayanın trafik akışı var olan bir yola doğru savrulma ve duruma göre daha ileriye taşınması mevcut şartlarda ön görülmektedir.



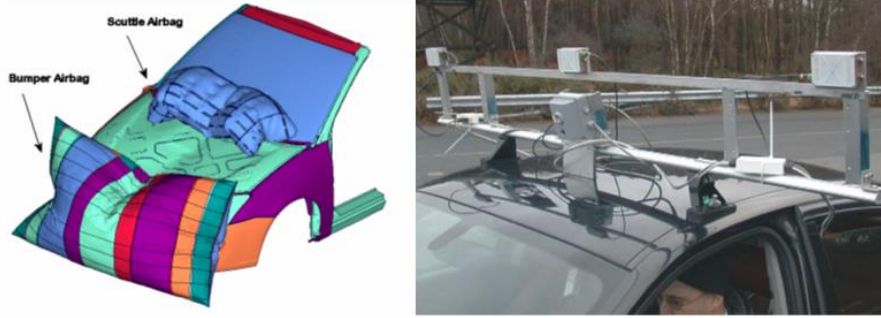
Şekil 11. Yaya Bacak Çarpma Simülasyonu ve Tampon Geometrisinin Davranışı (Huang, ve ark. 2011)

5.2.2. Enerji Sönümleyici Sistemler

2003 yılında yayınlanan 2003/102/EC numaralı direktif ile doğrultusunda yaya koruma alanında gelişime giden otomotiv üreticilerinin yoğunluklu olarak başvurdukları sistemlerdir. 2003 yılının ardından alınan patentlerin enerji sönümleyici çerçevesinde fakat farklı metotlarla (Köpük Enerji Sönümleyicileri, Kalıplanmış Plastik Enerji Sönümleyicileri, Hava Dolgulu Enerji Sönümleyicileri vs.) oluşturulan sistemler olduğu görülmüştür. Temel olarak, tampon bölgesinde çarpışma esnasında enerjinin sönümlenmesini amaçlayarak bacak çarpma performanslarını geliştirmeyi amaçlayan sistemlerdir [22].

5.2.3. Air-Bag Sistemleri

Yapılan çalışmalarda kafa çarpma bölgesine paralel olarak yayaların bacak çarpma bölgesindeki güvenliğini arttırmayı amaçlayan bir diğer gelişme ise yine air-bag sistemleridir. Yayaya çarpmadan hemen önce tampon bölgesinde açılacak bir air-bag ile aktarılan enerjinin sönümlenmesi ve bacak bölgesi eğilme-yer değiştirme değerlerin düşük tutulması amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Kafa çarpmalarda kullanılan air-bag sistemi ile karşılaştırıldığında bacak çarpmalar için yapılacak olan air-bag sisteminin mevcut air-bag sistemleri gibi aracın çarpışması gerçekleştikten ms'ler sonra algılamasından farklı olarak kaza olmadan önce algılanması gerektiğinden bu bölgedeki sistemlerin kaza algılama konusundaki farklılığıyla diğer air-bag sensörlerine göre daha karmaşıktır ve bu sebeple yapılan çalışmalar bilimsel literatüre bir katkı sağlasa da ana sanayi otomotiv üreticileri tarafından endüstriyel olarak henüz kullanılmamıştır.



Şekil 12. Bacak ve Kafa Çarpma Air-Bag Sistemi ve Sensörleri (Moxey ve ark. 2006)

5.3. Gelişmiş Koruma Sistemleri

Günümüzde otonom ve elektrikli araçların kullanımının artmasıyla yaya güvenliğindeki gelişmeler, yolcu ve sürücü güvenliği konuları paralelinde bu zamana kadar yapılmış en yoğun çalışmalarla desteklenmektedir. Bu sistemlerin daha önce yapılmış ve gelenekselleşen koruyucu sistemlerle en önemli farkı kaza anında yayayı ya da sürücüyü korumaktan öte sahip olduğu gelişmiş yaya-arac tanıma sistemleri sayesinde

otomatik fren sistemleriyle gerçekleşme ihtimali olan kaza potansiyelini en aza indirgeyebiliyor olmalarıdır.

Aktif güvenlik sistemlerinin yaya korumasına fayda sağlayabileceğini gösteren önemli kanıtlar mevcut olsa da bu tür sistemlerin güvenilirliği ve etkinliği hala belirsizdir. Aktif algılama sisteminde güvenilirlik sağlanabildiğinde bir yaya kazasının erken tespiti, tampon hava yastığı ve kaput ön kenar hava yastığı gibi ek pasif açılabilir özelliklerin uygulanması için daha fazla olasılık sağlayabilir. Ayrıca, açılır kaput ve ön cam hava yastığı için aktif algılama sinyallerinin entegrasyonu performanslarını büyük ölçüde artıracaktır [16].

6. Sonuç

İncelenen yaya güvenliğini etkileyen hız, yol tipleri gibi konulara ışık tutularak her gün kullanılan karayolları hız limitlerinin özellikle yaya kazalarının gerçekleştiği şehir içi yollarda hız limitinin belirlenmesinde yaya sakatlık ve ölümlerini etkileyen hız faktörünün etkileri saptanmıştır. Yaya güvenliğini sınırlayıcı etkileri bulunan düzenlemelerin değerlendirilme kriterleri, bu kriterlerin nasıl belirlendiği, zaman içerisinde olan değişimleri ve bu değişimlerin otomotiv üreticilerini nasıl teşvik ettiği değerlendirilmiştir.

Bu bilgilerle birlikte yaya güvenliğinin en önemli faktörlerinden biri olan araç üzerindeki teknolojik gelişmelerin zaman içerisindeki değişimleri, değişimlerin temelini oluşturan konular ortaya koyulmuş, özellikle son 20 yıla bakıldığında bu değişimlerin ana sistematığının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma doğrultusunda mekanik sistemlerden daha çok elektronik sistemlere evrilen yaya koruma teknolojileri, geleceğin araçları olması planlanan otonom araç teknolojisi ile birlikte günümüzdeki sınırına ulaşmış ve gelecek yıllarda hangi noktaya gideceği hakkında öngörüler ortaya konulmuştur. Özellikle otomatik fren sistemlerinin hayatımıza girişi her ne kadar otomotiv dünyasında bu kazaların önemli ölçüde önüne geçileceği düşünülse de gelişmelerin kronolojisi ön planda tutulduğunda bu oldukça büyük bir yanılgıdır. Otomatik fren sistemleri her ne kadar bilinçsiz ve dikkatsiz sürücülerin hatalarını tolere edebilecek sistemler dahi olsalar, bilinç ve dikkat düzeyi yüksek olan bir taşıt sürücüsü ile karşılaştırıldığında, gerçekleşen işlem en temelde bir; algıla ve dur işlemidir. Bu teknolojiyi geliştiren otomotiv üreticileri teknolojinin pazarlama ayağında gösterdikleri reklamlardaki kazaları ideal fren mesafesi gibi en optimum şartlarda göstermekte fakat her nedense bu sistemlerin hiçbirinin araca çok yakın bir anda yaya saptandığı durumdaki alacağı aksiyonlar belirtilmemektedir.

Yaya kazaları hayatımızın her anında, her şart altında gerçekleşebilmektedir. Günümüz teknolojilerinin bu konuyu tamamen çözeceğini düşünüp gelişim perspektifi daraltmak yerine 2022 teknolojinin getirdiği tüm yenilikleri ön planda tutarak geliştirilen yeni hayata geçecek yasal düzenlemelerin otomotiv üreticilerinin ciddi efor sarf edeceği bir

noktaya getirmesi, tamamen ortadan kaldırmasa bile bu alanda ciddi düşüöşlere sebebiyet vereceği öngörölebilmektedir.

Finansal Destek

TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Anonim Şirketi

Çıkar Çatışması

Yoktur.

Yazar Katkısı

Tunahan ÖZYER : Literatür Araştırması, Metot ve akışın düzenlenmesi, makale yazımı, final düzenleme

Gökhan BİLGE : Genel düzenleme, Makale yazımı

Teşekkür

Destekleri için TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Anonim Şirketi'ne teşekkür ederiz

Kaynaklar

- [1] AAAM (2008). The Abbreviated Injury Scale (AIS) 2005 - Update 2008. Association for Advancement of Automotive Medicine.
- [2] Anderson, R. W., A. J. McLean, et al. (1997). Vehicle travel speeds and the incidence of fatal pedestrian crashes. *Accid Anal Prev* 29(5): 667-74.
- [3] Davis, G. A. (2001). Relating severity of pedestrian injury to impact speed in vehicle-pedestrian crashes: Simple threshold model. *Transportation research record*, 1773(1), 108-113.
- [4] European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) Pedestrian Testing Protocol Version 8.5, October 2018.
- [5] European Road Safety Observatory, Annual statistical report on road safety in the EU 2020.
- [6] Evrard, B. (2011). Innovative Bonnet Active Actuator (B2A) For Pedestrian Protection. The 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference. Stuttgart, Germany.
- [7] Fredriksson, R., Håland, Y. (2001). "Evaluation Of A New Pedestrian Head Injury Protection System With A Sensor In The Bumper And Lifting Of The Bonnet's Rear Part." SAE2001-06-0089. Society of Automotive Engineers. Warrendale, PA. Geneva, Switzerland.
- [8] Hannawald, L., Kauer, F. (2004). Equal Effectiveness Study on Pedestrian Protection. Technische Universität Dresden. Dresden, Germany.
- [9] Helmer, T., Ebner, A., 2010. Injury risk to specific body regions of pedestrians in frontal vehicle crashes modeled by empirical, in-depth accident data. *Stapp Car Crash J* 54: 93-117.
- [10] Hu, J., Klinich, K. D. (2015). Toward designing pedestrian-friendly vehicles. *International journal of vehicle safety*, 8(1), 22-54.

- [11] Huang, S., Yang, J. (2010). "Optimization of a reversible hood for protecting a pedestrian's head during car collisions." *Accid Anal Prev* 42(4): 1136-43.
- [12] Huang, T.J., Wu, J.T., Hsiao, C.Y., Wang, M.S., Lee, K.C. 2011. Design of a bumper system for pedestrian lower-leg protection using the Taguchi method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 225(12), pp.1578-1586.
- [13] Inomata, Y., Iwai, N., Maeda, Y., Kobayashi, S., Okuyama, H., Takahashi, N., (2009). Development Of The Pop-Up Engine Hood For Pedestrian Head Protection. The 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference. Stuttgart, Germany. International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.
- [14] Jakobsson, L., Broberg, T., Karlsson, H., Fredriksson, A., Gråberg, N., Gullander, C., Lindman, M. (2013). Pedestrian airbag technology—a production system. In 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) National Highway Traffic Safety Administration (No. 13-0447).
- [15] Lee, C., Abdel-Aty, M. (2005). "Comprehensive analysis of vehicle pedestrian crashes at intersections in Florida." *Accid Anal Prev* 37(4): 775-86.
- [16] McCarthy, M., Simmons, I. (2005). Active Pedestrian Protection. The 19th
- [17] Mizuno, Y. (2005) Summary of IHRA Pedestrian Safety WG Activities (2005) - Proposed Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Afforded By Passenger Cars. The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Washington, D.C.
- [18] Moxey, E., Johnson, N., McCarthy, M.G., Galloway, L., Parker, G.A., McLundie, W.M. (2006). Advanced protection for vulnerable road users: a case study. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of automobile engineering*, 220(6), pp.723-734.
- [19] Oh, C., Kang, Y. S., Youn, Y., Konosu A., (2008). "Development of probabilistic pedestrian fatality model for characterizing pedestrian-vehicle collisions." *International Journal of Automotive Technology* 9(2): 191-196.
- [20] Pasanen, E., Salmivaara, H. (1993). "Driving speeds and pedestrian safety in the city of Helsinki." *Traffic Eng. Control* 34: 308-310.
- [21] Rosen, E., Sander, U. (2009). Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accid Anal Prev* 41(3): 536-42.
- [22] Schuster, P.J. (2006). Current Trends in Bumper Design for Pedestrian Impact (No. 2006-01-0464). SAE Technical Paper.
- [23] Shin, M. K., Park, K. T., ve ark. (2008). "Design of the active hood lift system using orthogonal arrays." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D-Journal of Automobile Engineering* 222(D5): 705-717.
- [24] The European Parliament and of The Council (2009), 2003/102/EC and 2005/66/EC on the type-approval of motor vehicles with regard to the protection of pedestrians and other vulnerable road users.

- [25] UNECE (2006). Informal Group on Pedestrian Safety - 10th meeting, EEVC Working Group 17 Report: Improved Test Methods To Evaluate Pedestrian Protection Afforded By Passenger Cars.
- [26] United Nations (2015). Status of United Nations Regulation Ece 127-00 Uniform Provisions Concerning The Approval Of: Motor Vehicles With Regard To Their Pedestrian Safety Performance, Washington, D.C.