



**Veli Gökhan Demir**

Balıkesir University, veligokhandemir@balikesir.edu.tr, Balıkesir-Turkey

**Hayrettin Yüksel**

Balıkesir University, hyuksel@balikesir.edu.tr, Balıkesir-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2016.11.2.1A0361>

## **AMBULANS SEDYESİ TASARIMINDA TİTREŞİM KAYNAKLI KONFORSUZLUK**

### **ÖZ**

İnsan vücudunun titreşimlere karşı hassas olduğu frekans değerleri, ambulans zemininde oluşan ve düşey doğrultudaki titreşim hareketlerinin baskın olduğu 0.1-80 Hz aralığındadır. Bu seviyedeki titreşimler ambulans ile taşınmakta olan hasta ve yaralı sağlık durumlarının daha da kötüye gitmesine neden olurlar. Gelişmiş ülkelerin birçoğunda titreşimlerin bu zararlı etkilerinden korunmak için araç zemini ile sedye arasında süspansiyon sistemleri bulunan üst düzey donanıma sahip ambulanslar kullanılmakta ve titreşim kaynaklı bu konforsuzluğun daha da azaltılması için araştırmalar yapılmaya devam etmektedir. Çalışmamızda, literatürdeki sedye süspansiyon sistemleri ile ilgili araştırmalar, sistemlerin çalışma mekanizmaları ve titreşim yalıtım performans analizleri sunulmaktadır. Ayrıca, Balıkesir merkez ilçelerinde hizmet veren ambulanslar ve bu ambulanslarda kullanılmakta olan sedye süspansiyon sistemleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ambulansların sadece %12'sinde sedye süspansiyon sistemlerinin kullanıldığı ve nakil esnasında hasta ve yaralı sağlığını daha da kötüleştirebilecek bu eksikliğin acilen giderilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ambulans, Nakil, Sedye, Süspansiyon, Titreşim Konforsuzluğu

## **VIBRATION BASED DISCOMFORT IN AMBULANCE STRETCHER DESIGN**

### **ABSTRACT**

The frequency values, sensitive for human body are in the range of 0.1-80 Hz where the vertical vibration movements emerging at the ambulance floor are dominant. Vibrations at this level lead to deterioration of the health conditions of patients and the injured being transported by an ambulance. In most of the developed countries, high-standard ambulances containing suspension systems between the vehicle floor and stretcher are used in order to prevent harmful effects of vibrations, and investigations are being made to reduce this vibration based discomfort continuously. In our study, the investigations about stretcher suspension systems were reviewed with representing mechanisms of these systems and analysis performance of vibration isolation. In addition, the ambulances serving in the central districts of Balıkesir and their stretcher suspension systems were investigated. According to the results, it was determined that stretcher suspension systems were used only in the 12% of the ambulances and this deficiency which could worsen patients and the injured's health needs to be eliminated urgently.

**Keywords:** Ambulance, Transportation, Stretcher, Suspension, Vibration Discomfort



## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde her geçen gün sağlık standartları yükseltilmekte ve insan ömrünü uzatmak için tıbbi ve teknolojik gelişmeler, yasa koyucunun isteğiyle veya özel sektördeki rekabet ile pratik hayatta uygulamaya sokulmaktadır. Ambulansdaki hasta ve yaralıları etkileyen titreşimlerin incelenmesine son 30 yıl içerisinde önem verilmiş, günümüzde de bu konu hakkındaki çalışmalar kısıtlı sayıda olsa da devam etmektedir [1]. Ambulanslar karayolunda seyir halinde iken iç ve dış kaynaklı titreşim ve şok hareketlerinin araç gövdesinden hasta ve yaralılara (özellikle durumu kritik olanlara) iletilmesiyle bu kişilerde yorgunluk, abdominal (karın) bölgede yoğunlaşan ağrılar, oksijen ihtiyacının artması, kalp ve akciğer fonksiyonlarının olumsuz etkilenmesi, vücut özellikle kafa içi kan basıncının artması; hatta ağır yaralanmalarda hasta durumunun tehlikeye girmesi gibi insan sağlığını kötüleştiren durumlara neden olduğu tespit edilmiştir [2 ve 3]. Konvansiyonel, yani araç zemini ile sedye arasında rijit temas bulunan ambulanslarda taşınan hasta, yoldan gelen darbelerden rahatsız olmakta ve hasta taşıma konforu artan hıza bağlı olarak azalmaktadır. Ambulansta dış kaynaklı titreşim kaynaklarının başlıcaları yol pürüzlülüğü, köşe dönüşleri (virajlar), kasis geçişleri ve ani hızlanma ve frenleme gibi hareketlerinde atalet kuvvetlerinin olduğu durumlardır. Yaşanan bu olumsuzlukların karşısında ambulans sürücüsünün seyir halinde araç hızını azaltmak zorunda kalması hasta veya yaralının hastaneye ulaştırılma zamanında istenilmeyen bir gecikmeye neden olmaktadır. Ambulans içindeki hastaya iletilen titreşim ve atalet kuvvetlerinin yalıtımında ambulans zemini ile sedye arasında kullanılan "sedye süspansiyon sistemleri" gösterdiği yüksek performans ve özel üretim ambulanslara göre düşük maliyetiyle makul bir çözüm sunmaktadır. Sağlanan titreşim yalıtımı ile hem hasta konfor seviyesi artırılmakta hem de ambulans seyir hızında artış sağlanmaktadır [1].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

İnsanın maruz kaldığı titreşimler üç gruba ayrılır: vücudun tümüne gelen titreşimler, dokunma yüzeylerinden iletilen titreşimler ve organlara gelen titreşimlerdir [4]. İnsan vücudunun ayrı parçalarının ayrı frekanslara karşı hassasiyeti vardır. Yapılan çalışmalarda insan vücudunun çoğu kısmının rezonans frekanslarını tanımlayan bio-mekanik modeller geliştirilmiş ve titreşime karşı en hassas olan bölgelerin rezonans frekans değerleri belirlenmiştir örneğin bel, karın boşluğu bölgesi 3-6 Hz, iç organların ise 4-8 Hz'tir [4 ve 5]. Karayolu ambulansları genellikle ticari araç şasili araçlardır ve sürüş karakteristikleri titreşimlere karşı istenen hassasiyette değildir. Genel olarak bu ambulansların doğal frekansı 1.2-2 Hz aralığındadır [6]. Sırt üstü yatar pozisyonundaki hastanın düşey yöndeki titreşime hassasiyeti en fazla 4-6 Hz aralığında iken yanal titreşime 2 Hz civarındadır. Oluşan bu titreşimler ambulansla taşınan hasta ve yaralılarda (özellikle durumu kritik olanlara); yorgunluk, özellikle karın bölgesinde oluşan ağrılar, oksijen ihtiyacının artması, kalp ve akciğer fonksiyonlarının bozulması, kan basıncının (özellikle kafa içi) artması, gebelerde prematüre doğum riskinin yükseltmesi, fetus sağlığının olumsuz etkilenmesi, ağır yaralanmalarda hasta durumunun tehlikeye girmesi gibi mevcut sağlık durumunun daha da kötüye gitmesine neden olmaktadır [2 ve 3].

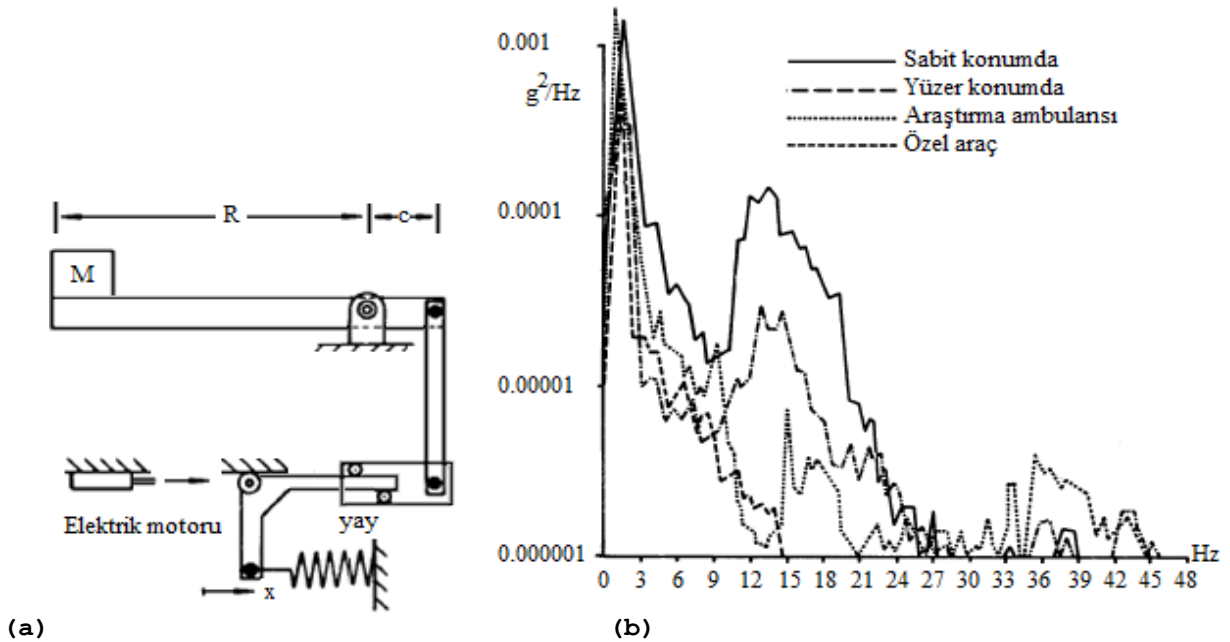
Ambulans içindeki hastaya iletilen titreşim ve atalet kuvvetlerinin yalıtımında ambulans zemini ile sedye arasında kullanılan "sedye süspansiyon sistemleri" gösterdiği yüksek performans ve özel üretim ambulanslara göre düşük maliyetiyle makul bir çözüm sunmaktadır. Sağlanan titreşim yalıtımı ile hem hasta konfor seviyesi

artırılmakta hem de ambulans seyir hızında artış sağlanmaktadır [1]. Yaptığımız bu çalışmada, uluslararası düzeyde yapılmış olan sedye süspansiyon sistemleri hakkındaki çalışmalar ve geliştirilen tasarımlar derlenmiş ayrıca örnek il olarak Balıkesir merkez ilçelerinde hizmet veren ambulanslar incelenerek konu hakkında durum raporu çıkarılmıştır.

### 3. SEDYE SÜSPANSİYON SİSTEMLERİ (STRETCHER SUSPENSION SYSTEMS)

Ambulans sedye süspansiyon sistemleri hakkında yapılmış uluslararası ve özellikle de ulusal bilimsel çalışmalar kısıtlı sayıdadır. Bu bölümde, literatürdeki ambulans titreşimleri ve sedye süspansiyon tasarımları hakkında yapılmış temel çalışmalar sunulmuştur. Delft Üniversitesinde geliştirilen ve literatürde ismi "yüzen sedye" olarak geçen sedye süspansiyon sisteminin temel çalışma prensibi Şekil 1a'da gösterilmiştir. Sistemde ambulans zeminine yatay konumda bulunan bir mekanik yay kullanılmakta ve her iki uçta bulunan elektrik motorlarıyla hareketli mil ok yönünde itilip sedyenin zeminden yukarıya doğru kaldırılması sağlanmaktadır. Milin pozisyonunu aktuatör ile ayarlayarak yükten bağımsız bir sürüş yüksekliğinin elde edilmesi ve sedye süspansiyonunda değişken bir rijitlik sağlanmaktadır. Şekilde R yükün, c aktuatör kuvvetinin moment kolunu; x ise yayın yer değiştirmesini ifade etmektedir.

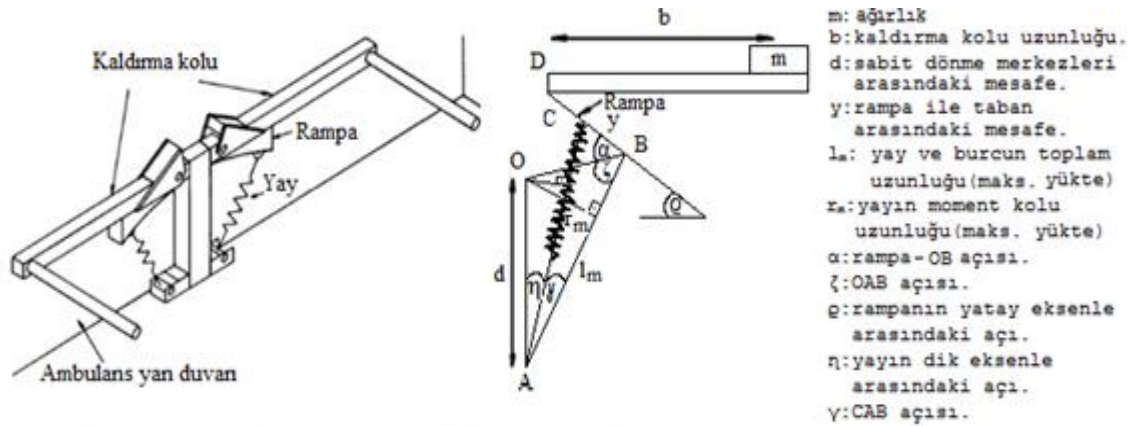
Snook ve Pacifco bu sistemi standart ticari şasili van tipi ambulansla, sedye gövdesine yerleştirilmiş ivmeölçerlerle düşey eksenindeki titreşimleri ölçerek test etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda yüzer konumdaki sedyenin gerek tüm ortalama rms değerlerinde, gerekse pik değerlerinde önemli bir azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Sonuçlar (Bkz. Şekil 1b) yüzen sedye kullanımıyla 3-10 Hz aralığında özel araştırma ambulansına göre daha düşük, 10-25 Hz aralığında ise daha yüksek ivme seviyelerinin elde edildiğini göstermiştir. 0-9 Hz arasında özel araçla hareketli sedye arasında büyük bir fark gözlenmemiş fakat 9 Hz'den sonra yüzen sedyenin performansı özel araca göre hızla azalmaya başlamıştır. Genel olarak yüzen sedye süspansiyon tasarımı sistemi konvansiyonel ambulansla hasta taşıma durumuna göre düşey titreşimlerde makul bir azalma sağlamıştır [7].



Şekil 1. Yüzen sedye mekanizması ve yol titreşim testleri [7]  
(Figure 1. Floating stretcher mechanism and road vibration tests [7])

Stammers ve Leyshon [6] sedye süspansiyon tasarımı temelinde; helezonik yaylar ve hareketli miller kullanılarak, süspansiyon geometrisi Şekil 2'de şematik olarak gösterilen bir mekanik süspansiyon tasarımı yapmışlardır (SL Süspansiyon sistemi). İki adet L şekilli kol, fork lift gibi yükü taşımakta olup bu kollar ortada bulunan merkez sütuna bağlı bulunmaktadır. Sütun, ambulansın yan duvarına yaslanmış pozisyonda yerleştirilmiştir. Rampa kılavuzunda hareket eden yayın üst ucu, yük kollarını sütuna bağlandıkları eksen etrafında dönme hareketi yapmaya zorlamaktadır. Düşey yönlü harekette her iki kol da sedyeye göre küçük boylamsal rölatif hareketlerle aynı fazda yer değiştirmektedir. Kaldırma işlemi ise kaldırma kollarındaki tekerlekler yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Sedye kollarının aynı fazda çalışmaması durumunda; ambulans yan duvarına dik olan eksen etrafında, sedyenin baş ve ayak kısmı baş vurma olarak adlandırılan rölatif hareket gerçekleştirir. Yay, DB eğimli rampa yolu boyunca üst ucu C noktasından çekilmekte ve maksimum yük tatbik edildiğinde de yayın üst ucu B noktasına gelmektedir (Bkz Şekil 2b). Yayın ve rampanın O merkezi etrafında dönmesinde hiçbir sınırlama olmamakta, destek kolu yatay olarak durmaya devam etmekte, bu da istenilen yönelime izin vermektedir. Rampa yük koluyla birlikte yekpare ve aynı hizada tutulmaktadır. AC için standart, kullanıma hazır bir yay kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada sisteme 3 sönümleyici eklenmiş ve tipik bir ambulans zemini titreşim seviyesi olan 0.5-5 Hz aralığında sallanmıştır. 68 kg'lık hasta kütesine ait sonuçlara göre zemin titreşim girdileri 2 Hz'in altına düştüğünde sedyenin titreşim seviyesinde makul seviyeye ulaşılmıştır. Zayıf sönümleme (0.15) ile iletkenlik pik nokta seviyesi azaltılmış ayrıca titreşim girdi aralığının hemen hemen hiç bir seviyesinde izolasyona zarar verilmemiştir. Çalışmada, bu seviyedeki bir sönümlemenin sedyeye yapılacak basit eklentilerle sağlanabileceğinden sistemin nispeten ucuz ve pratik bir sistem olduğu ve sabit sayılabilecek bir başvurma ve düşey yönlü doğal frekanslarının elde edilebileceği aktarılmıştır. Sarsma testlerinde zayıf sönümlemeyle birlikte 0.75 Hz civarında doğal frekanslar elde edildiği tespit edilmiştir [6].



(Sedye süspansiyon sistemi tasarımı)

(Süspansiyon geometrisi)

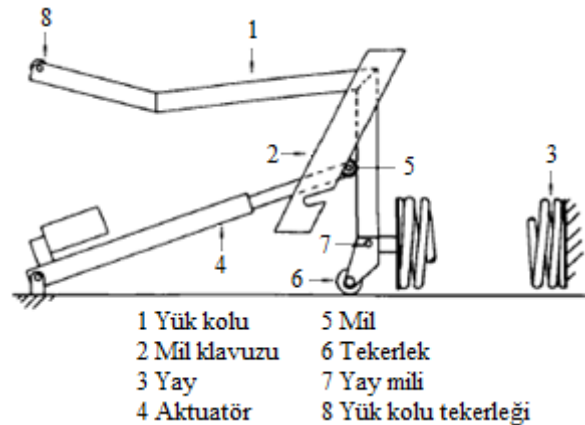
Şekil 2. SL Süspansiyon sistemi mekanizması [6]

(Figure 2. SL Suspension system mechanism [6])

Stammers ve Leyshon [8] bu tasarımlarında da helezonik yaylar ve hareketli miller kullanarak bir mekanik süspansiyon tasarlamışlardır (SL Süspansiyon sistemi II). Bu tasarımda (Şekil 3) amaçlanan diğer sisteme göre daha etkin olan düşey titreşimleri azaltmaktır. Tasarlanan hasta sedyesi; kütle merkezine yakın konumdaki mil yatağı civarında dönme hareketi yapan bir çerçeve üzerinde taşınmaktadır.

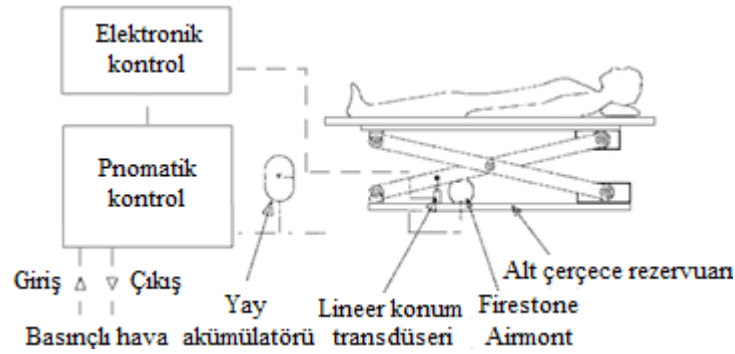
Bundan dolayı ambulansın ivmelenmesinde oluşan başvurma ve özellikle frenleme esnasında oluşan yunuslama hareketi engellenmektedir. Zemin ve sedye arasındaki izafi hareketi ayarlamak için bilyalı yataklar düşey şaft üzerinde çalışmakta, böylece araç zeminindeki titreşimlere rağmen hasta sedyesi sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Sedeyi taşıyan çerçeve bağımsız iki kol tarafından desteklenmektedir. Aktuatörün çalışmasıyla destek elemanındaki mile kuvvet uygulanır ve yay sıkıştırılır. Burada önemli olan yay tarafından uygulanan kuvvetin, yükün kaldırılması için yeterli olmasıdır. Süspansiyon için yeterli yükseklik sağlandığı zaman aktuatör mili bir dayanak gibi tutar, sistem yüklüken aktuatör kapalı olsa da mil geriye dönmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen hasta sedyesi süspansiyon sisteminin konseptini test etmek için iki farklı yöntem kullanılmaktadır; Hidrolik kuvvetli sarsma masası kullanılarak yapılan laboratuvar testi ve panelvan tipi araç şasili ambulans kullanarak yapılan yol testi. Yapılan deneylerde yük olarak; insan vücudunun kütle dağılımını simüle etmek için sedye üzerine yerleştirilmiş çelik plaklar kullanılmıştır. Çalışmalarda pratikte uygulanması muhtemel üç ayrı kütle seçilmiştir. Şekil 3'e bakıldığında 56 kg ve 94 kg'lık yükler için amplifikasyonlar 1.5 Hz'de 3 dB ve 4 Hz'de 7 dB civarında ölçülmüştür. Üç farklı yükün kesiştikleri frekans değeri 10 Hz civarında olduğu ve sedye gövdesinin rezonans frekansı 8 Hz bölgesinde olduğu tespit edilmiştir.

Yol testlerinde dört adet ivmeölçer kullanılmış; birincisi yükün ağırlık merkezine, ikincisi sedyenin baş kısmına (0.75 m mesafede) ve diğer ikisi de bu ivmeölçerlerin hizasındaki araç zeminin üzerine yerleştirilmiştir. Yapılan testlerde 3 farklı karayolu ve bir arazi yolu tercih edilmiştir. Bu 4 farklı yol için ambulans zemindeki başvurma ivmesi, düşey doğrultudaki ivmeyle 10 Hz civarında aynı değerlere karşılık gelmektedir. Daha düşük frekanslarda C ve D yüzeyleri hariç düşey yönlü ivme, başvurma ivmesinden daha belirgindir. Çok pürüzlü yollarda ise 1 Hz civarında, başvurma ivmesi düşey yöndeki ivmeye yaklaştığı ölçülmüştür. Yapılmış karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlara göre; süspansiyonlu sedye ambulans zeminindeki titreşimde 1.5 Hz'de 7 dB, 4 Hz'de ise 9 dB azalma sağladığı ve bunun makul bir seviyede olduğu ayrıca sedye çerçevesi ve yatağı 1.5 Hz'de 3 dB, 4 Hz'de ise 7 dB'lik bir amplifikasyon meydana getirdiği, bu durum da göz önüne alındığında süspansiyon sistemi tek başına ambulans zemin titreşimlerinde 1.5 Hz'de 10 dB ve 4 Hz'de 16 dB'lik bir kazanç sağladığı görülmüştür. Çalışmalarda, sedye süspansiyonunun düşey yöndeki ivme azaltıcı değerlerin 1.5 Hz'de 10 dB ve 4 Hz'de 16 dB olması kayda değer bulunmuştur [8].



Şekil 3. SL Süspansiyon sistemi-II mekanizması [8]  
(Figure 3. Mechanism of SL Suspension system-II [8])

Yapılan çalışmada bugüne kadar mekanik yaylı sistemlerle elde edilen tasarımlardan daha basit olan, makas mekanizmalı ve tek serbestlik derecesine sahip pnömatik süspansiyon tasarımı gerçekleştirilmiştir (Bkz Şekil 4). Sistemde yay gibi işlev gören Firestone 1M1A Airmount yalıtıcıları kullanılmış ve bunlar yeterince düşük bir doğal frekans elde etmek için, ek bir rezervuara bağlanmıştır [9]. Sisteme ait pnömatik devrenin en önemli özellikleri: kontrol edilebilir oranda süspansiyonun yükseltip alçaltılabilmesi ve kalp masajı ve suni teneffüs için airmount'ların daha sert bir yatak özellikleri sağlayabilmesidir. Elle değiştirilebilen sönümleme sınırlayıcısı olarak kullanılabilmesidir. Yapılan deneysel çalışmalara göre sistemde 2 Hz civarında bir doğal frekans tespit edilmiştir. Her ne kadar bu sistemin 2 Hz'lik doğal frekansı, ambulans zemin ivmeleri spektrumunun pik derecesine yakın olup nicel faydası düşük olsa da, performansa yönelik öznel izlenimler iyi çıkmıştır. Süspansiyonlu sedeyi kullanan hastalar, sedyenin doğrudan zemin üzerine yatırıldığı duruma kıyasla sürüşün çok daha konforlu olduğunu ve büyük ölçekli darbelerin sarsıcı etkisinin ortadan kaldırıldığını belirtmişlerdir [9 ve 10].

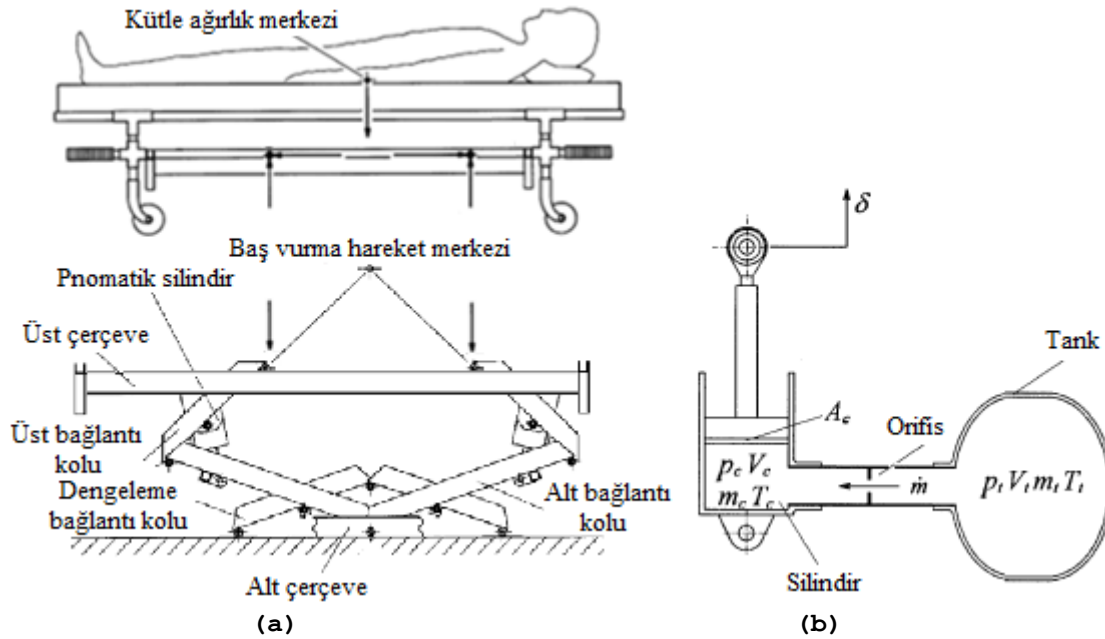


Şekil 4. Tek serbestlik dereceli pnömatik sedye süspansiyonu [9]  
(Figure 4. Single degree of freedom pneumatic stretcher suspension system [9])

Raine ve Henderson [10], bir önceki bölümde bahsedilmiş olan tek serbestlik dereceli pnömatik sedye süspansiyonunu geliştirerek temel çalışma prensipleri benzeyen daha üstün bir sistem tasarlamışlardır (Bkz Şekil 5a). Sönümlenme pnömatik devre şeklindedir; pnömatik yay ve basınç dengeleme tankı arasında hava bir orifisten geçirilip akışı sınırlandırılarak sönümleme gerçekleştirilir (Bkz Şekil 5b). Orifisin çapı daraldıkça izolasyonun sertliğinde artış meydana gelir. Sınırlandırıcı orifisin çapı önemlidir; eğer istenenden küçük olursa izolasyonun sertliğindeki fazla artış konforu düşürmekte, büyük olursa da istenen sönümleme sağlanamamaktadır [10]. Yapılan teorik çalışmalarda, düşey yönlü doğal frekans ( $\omega_h$ ) ve başvurma hareketindeki doğal frekans ( $\omega_p$ ) değerlerinde, artan hasta kütlesiyle birlikte ufak bir düşüş olacağı hesaplanmıştır. Ortalama ağırlıktaki bir hasta (68 kg) ve süspansiyonlu sedye için (25 kg), teorik doğal frekansları, hem başvurma hem de düşey yönlü hareket için 0.46 Hz olarak bulunmuştur. Yapılan tasarımda, sedye üzerinde yatan hastanın kütle ağırlık merkezi, sedye mekanizmasının orta noktasındaki düşey eksen üzerinde bulunmaktadır dolayısıyla başvurma ve düşey hareketleri birleşik olarak oluşmaktadır. Uygulamada ise yük her zaman merkezde bulunmayacağından, başvurma ve düşey yönlü hareketler birleşik olarak meydana gelebilmektedir. Yapılmış çalışmalarda sadece düşey hareket göz önünde bulundurularak 54 km/h hızda kısa bir yolda (600 m)



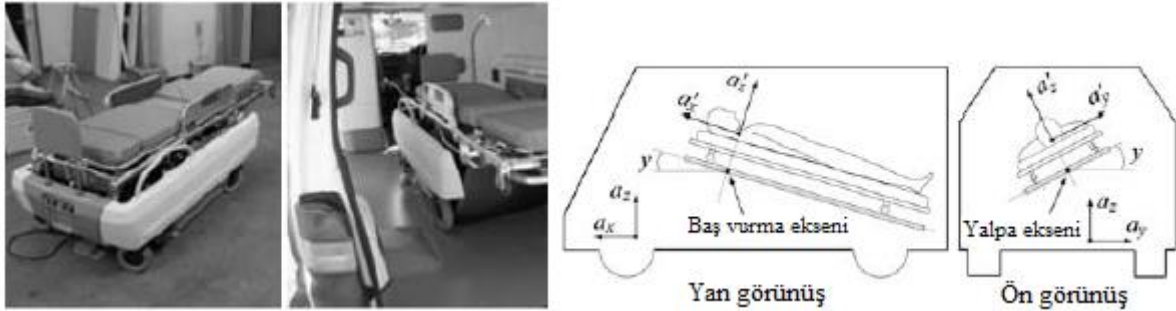
seyreden çeyrek-araç ambulansda kullanılan süspansiyonun düşey hareket simülasyonunu gerçekleştirilmiştir. MATLAB programı kullanılarak yapılan analizlerde 3 mm çapındaki bir orifis en iyi performansı vermiştir. Sistem 1 Hz üzerindeki frekanslarda titreşim izolasyonunda etkili olurken, süspansiyonun doğal frekansı bölgesinde tam tersi bir etki gösterdiği ayrıca kullanılan orifisle birlikte, hasta kütlesi varyasyonlarının sönümlemede pek fazla bir değişime sebep olmadığı gözlemlenmiştir. Yol testlerinde A, D ve E yolları şehrin varoş kısımlarındaki yollar olmak üzere toplamda 6 farklı yol; A, B, C, D, E, F üzerinde ölçümler yapılmıştır. B ve C yolları kırsal yollar olup, B yolu çukurlar ve bir demiryolu geçişi bulunan kötü yüzeyli bir yoldur. F yolu ise düzgün yüzeyli bir anayoldur. A yolu, ambulans yaylı kütlesinin doğal frekansına yakın uyartımlarına neden olan kısa dalga boyu uzunluklarına sahip önemli ölçüde çukurlar içeren bir yoldur. Tüm A, B, C, D ve E yolları, sıcak asfalt kaplamalı F yoluna göre kısa dalga boyu uzunluğuna sahip pürüzlü yüzeylere sahiptir. Elde edilen verilere göre yüzeyi en bozuk olan A yolunda pik değerinde %64, r.m.s. değerinde %65; düzgün yüzeyli E yolunda ise pik değerinde %58, r.m.s. değerinde %50 azalma sağlandığı gözlemlenmiştir. Pik değerindeki en yüksek azalış C yolunda %83 olmuştur. Genel olarak pürüzlü yollarda elde edilen zemin r.m.s. değerlerindeki azalışın düzgün yollara göre daha fazla olduğu anlaşılmıştır [10 ve 11].



Şekil 5. İki serbestlik dereceli pnömatik sedye süspansiyonu[10]  
(Figure 5. Two degree of freedom pneumatic stretcher suspension system [10])

Sırtüstü pozisyonda yatan kişinin ayaktan başa doğru ve yanal yöndeki ivmesini azaltmak amacıyla gerçek zamanlı olarak sedyenin pozisyonunu kontrol altında tutan Aktif Kontrollü Sedyeler (AKS) geliştirilmiştir. Aktif kontrollü sedyeler kan basıncının yükselmesine ve yana doğru vücudun sarsılmasına neden olan fren ve viraj dönmesi gibi durumlarda eylemsizlik ivmesi etkisinin azaltılmasında önemli rol oynarlar. Sistemin sedye açısını gerçek zamanlı olarak kontrol altına almasıyla, ambulansı yavaşlatmaya gerek kalmadan 0 ile 1 Hz arasındaki frekanslarda boyuna ve yanal ivmenin hasta üzerindeki etkisi etkin bir

biçimde azaltılabilmektedir [12 ve 13]. 2 serbestlik derecesine sahip bir AKS Şekil 6'da gösterilmiştir. AKS'nin, hasta boynunun 20 cm altında yer alan iki dönüş eksenini vardır. Bu eksenler etrafında sedye iki motor sayesinde eğilerek ve döndürülerek yerçekimi ivmesinden kaynaklanan ve hastayı etkileyen boylamsal ve yanal ivme engellenir. Hastayı yoldan kaynaklanan düşey titreşim ve şoklardan koruyabilmek için sedye altına havalı süspansiyon sistemi monte edilmiştir. Aktif Kontrollü Sedye'nin kontrol sistemi, başvurma ve yalpa açısı için iki ayrı servo sisteminden oluşmaktadır; yani, yatağın başvurma ve yalpa açıları ayrı ayrı kontrol edilmektedir. Tasarlanmış bu sistemde ivme azaltma performansı sürüş deneyleri aracılığıyla incelenmiştir. Deneyde kullanılan panelvan tipi araç, Japonya'da kullanılan bir ambulanstır. Deney sırasında denek, sedye üzerinde gözleri kapalı ve sakin bir biçimde sırt üstü yatırılmıştır. Test aracı, tüm deneklerle virajlı bir yolda 60 km/h'ı geçmeyecek şekilde hızlanma-yavaşlama testine tabi tutulmuştur. Araştırmalarda ambulansla nakil sırasındaki ivme azaltıcı etkiyi tahmin etmek için, ambulansın ivme verilerine dayanarak kontrol edilen bir donanım simülasyonu kullanılmıştır. Bu simülasyonda AKS'nin servo kontrol ünitesine, daha önceden 29 farklı ambulansla nakil işlemi sırasında ölçülmüş  $a_x$  ve  $a_y$  ivme girdileri uygulanmıştır. Veri uzunluğu 255 dakikadır. Simülasyon sırasında denek, park edilmiş test aracındaki sedyede sakin bir biçimde sırtüstü yatmaktadır. Deneğin kütlesi 67.5 kg'dır. Çıkan sonuçlarına göre, hasta üzerindeki baş-ayak doğrultusundaki ivme yaklaşık %65, yanal doğrultudaki ivme ise %75 oranında azaltılmıştır. Böylece AKS'nin özellikle ani fren sırasında beyindeki basıncın aşırı derecede artmasını ve virajlı yollarda vücudun yanlara doğru sallanmasını önlemede etkili olduğu anlaşılmıştır [12].

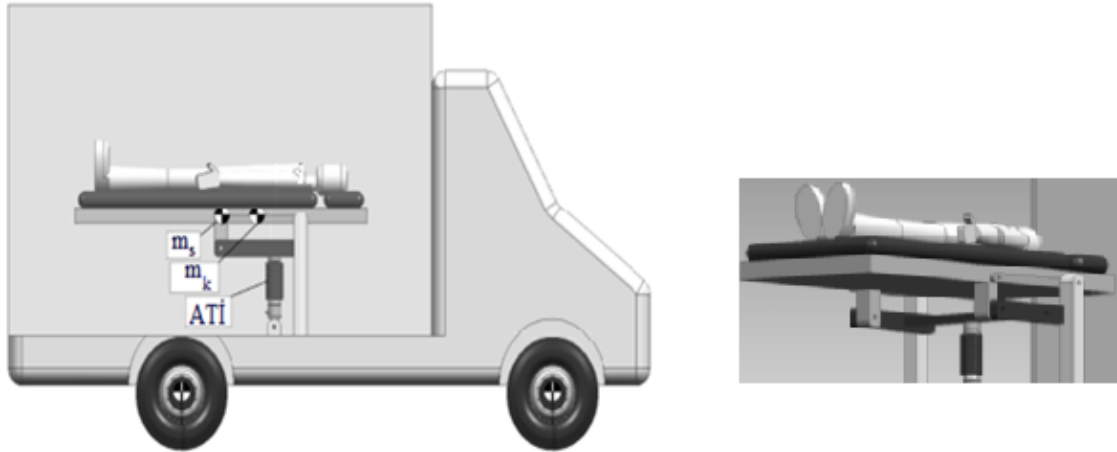


Şekil 6. Aktif kontrollü sedye [12]  
(Figure 6. Active controlled stretcher [12])

Raemaekers [14] yaptığı çalışmasında ambulans zeminiyle hastayı taşıyan sedye arasında kullanılacak aktif titreşim izolatör sistemi (ATİS) ve 6 serbestlik dereceli tam ambulans modelini (Şekil 7) tasarlayıp analizini gerçekleştirmiş ve bu sistemi konvansiyonel ambulans ve pasif sedye süspansiyon sistemleriyle karşılaştırmıştır. Sistemde iki farklı kuvvet uygulanmaktadır: pnömatik kuvvet, sedye hasta ve medikal ekipmanların kütlelerinin karşılanmasında; elektromanyetik kuvvet ise aktif olarak hastanın ambulans zemininden gelen titreşimlerden izole edilmesinde. Kontrol PID sistemi ile sağlanmaktadır. Bu kontrol sistemi ATİS'in hareketlerini ayarlamaktadır ayrıca ATİS'in çalışması için gerekli çalışma alanının sağlanması ve titreşim izolasyonu yapılırken sedyenin kaldırılacak konumunun belirlenmesi gibi hareketleri kontrol etmektedir. Analiz için 6 serbestlik dereceli tam ambulans modeli Matlab programının Sim Mechanics tool box'ı kullanılarak oluşturulmuştur. Aktif süspansiyon

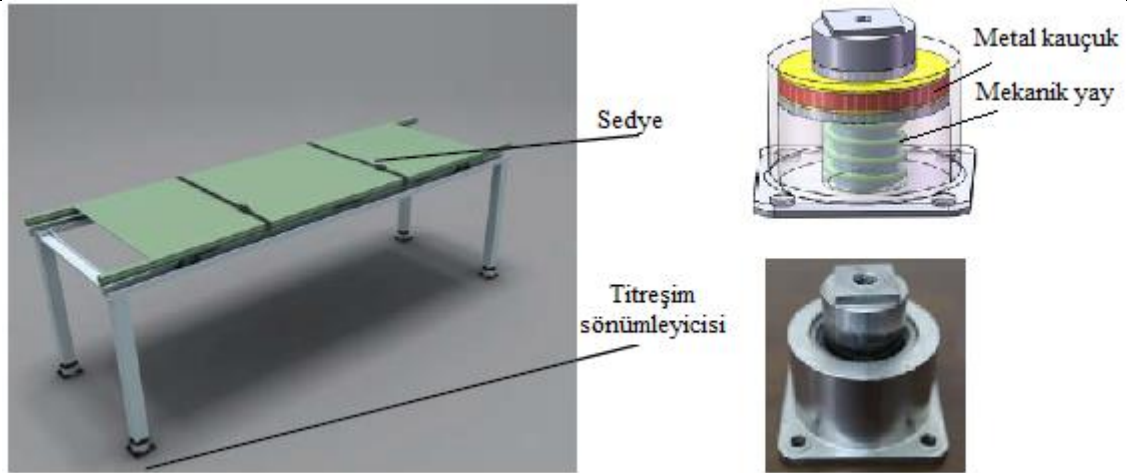


sistemi, pasif süspansiyon sistemi ve konvansiyonel ambulanslarla (sedye, ambulans zeminine rijit olarak birleştirilir) karşılaştırılmıştır. Pasif süspansiyonlu sistemde hava yayı tam sedye kütlelerinin ağırlık merkezinin altına yerleştirilmiştir. Bu hava yayına ilave bir sönümleyici ile titreşimleri sönümlemesi için sönümleme oranı  $\xi=0.35$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Diğer tüm parametreler üç ambulans modeli için de aynı tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda ISO 2631 standartlarına göre rijit sistemlerde ambulans içindeki hastanın yüksek konforunun korunması için kasis ve bozuk yollarda araç hızının düşürülmesi gerektiği görülmüştür. Bu oran 60 km/h'den 15 km/h'e ya da nominal hızın %75'e düşüşüne denk gelebilmektedir. Pasif sistem rijit sisteme göre daha iyi konfor oranı sağlamaktadır. Nominal hızda yollardan veya kasislerden geçtiği çoğu durumda maruz kaldığı titreşim kategorisi "konforlu" seviyesine düşmektedir. Ancak pasif sistemlerde pik titreşim seviyeleri yüksek çıkmıştır. Aktif sistem ise bozuk yollarda konfor indeksini "konforlu" kategorisi içinde tutmayı başarmıştır. Bu kriter yükselen hızlarda ( $V>80$  km/h) da elde edilmiştir. Böylece pasif ve rijit sistemlere göre ambulans daha hızlı sürülebileceği, hastanın hastaneye yetiştirilme süresinin kısaltılabileceği görülmüştür.



Şekil 7. Aktif titreşim sönümleyicili sedye [14]  
(Figure 7. Stretcher with active vibration isolator [14])

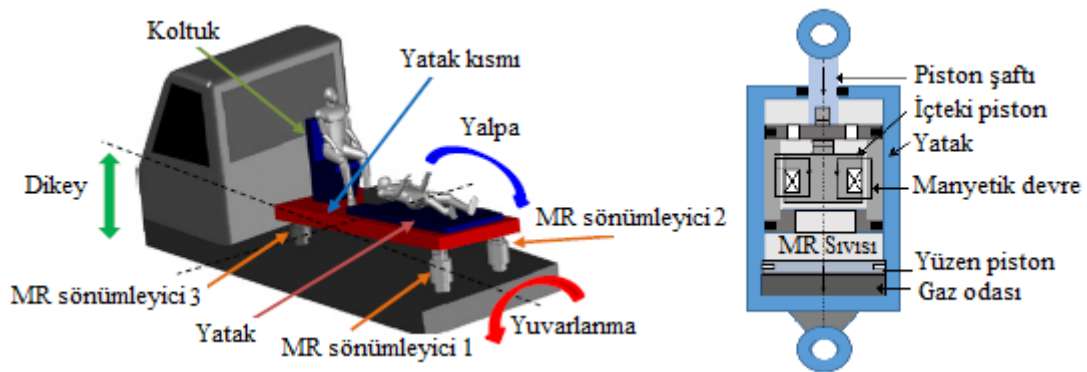
Niu Fu ve diğ. [15], yüksek dayanım ve enerji absorbe kapasitesine sahip ayrıca hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda stabil olarak çalışabilen metal kauçuk ve konvansiyonel mekanik yaydan oluşan titreşim sönümleyicisini ambulans sedye süspansiyon sisteminde kullanmışlardır (Bkz Şekil 8). Deneyler sedyede yatan denek için 3 farklı yol şartlarında; şehiriçi, bozuk arazi ve genel olarak tüm arazi yollarında ve 10 ila 80 km/h aralığındaki seyir hızlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ambulans zemininden gelen titreşimler rms değer bazında genel olarak 17% ila 45% azaltılmıştır. 1 Hz'lik doğal frekans değerleri altında herhangi bir amplifikasyon oluşmamış, ağırlıklandırılmış rms seviyesi  $0.216 \text{ m/s}^2$  and  $1.216 \text{ m/s}^2$  aralığında hesap edilmiş ve şehiriçi yolda, 80 km/h hız ile dahi ISO2631-1:1997 ve GB/T 18368:2001 standartlarına göre konforsuzluk değerine düşülmemiştir.



Şekil 8. Metal kauçuk ve mekanik yay kullanılan sedye süspansiyon sistemi [15]

(Figure 8. Stretcher suspension system using spring and metal rubber [15])

Chae ve Choi [16] yaptıkları çalışmada seyir halindeki titreşimleri azaltmak için ambulans sedyesi ve sağlık personeli koltuğunu kapsayan taban kısmında Manyetoreolojik (MR) yarı aktif sönmüleyiciler kullanmışlardır (Şekil 9). MR sönmüleyici sistemi, oluşturulan manyetik alanla birlikte MR sıvısı içerisindeki mikroskopik boyuttaki serbest halde bulunan paritküllerin uyarılması böylelikle MR sıvısının viskozitesinin ve yüke karşı oluşan reaktif kuvvetin artması şeklinde çalışmaktadır. Manyetik kuvvetin büyüklüğüne göre sistemin yüke karşı oluşturacağı kuvvet ayarlanabilmektedir. Çalışmada 4 adet; -40 ila 130°C aralığında çalışabilen,  $0.092 \pm 0.015$  Pa.s viskoziteye sahip CMRF-132DG MR sıvısı kullanan MR sönmüleyici kullanılmış ve bu sönmüleyiciler platformun köşelerine konumlandırılmıştır. Gerçekleştirilen yol testleri ve deneylerde, viraj (ambulans hızı 20 km/h) ve kasis testleri (ambulans hızı 15 km/h) için MR kullanımıyla birlikte pasif sistemlere göre düşey yönlü titreşimlerde min %32, yalpa hareketinde ise min %29 düşüş sağlanmıştır.



Şekil 9. Manyetoreolojik (MR)titreşim sönmüleyicileri kullanan süspansiyon sistemi [16]

(Figure 9. Suspension system using magnetorheological (MR) dampers [16])

#### 4. BALIKESİR MERKEZDE HİZMET VEREN AMBULANSLARIN İNCELENMESİ (INVESTIGATION OF THE AMBULANCES SERVING IN THE CENTRAL DISTRICTS OF BALIKESİR)

Bu bölümünde Balıkesir Merkez ilçelerinde hizmet veren özel ve kamuya ait kara yolu ambulansları ve bu ambulanslara ait sedye sistemleri, süspansiyon tipleri açısından istatistiksel olarak incelenmiştir. Genel olarak van tipi ticari araçların dönüştürülmesiyle oluşturulan ambulanslarda, üç farklı sedye sisteminin kullanıldığı tespit edilmiştir:

- **Rijit Sedye Sistemi:** Bu sedye sistemlerinde herhangi bir süspansiyon mekanizması kullanılmamakta, sedye ile zemin arasında rijit bir temas oluşmaktadır (Bkz Şekil 10). Hizmet veren ambulansların tamamına yakını ticari yük araçlarının (van tipi) dönüştürülmesiyle elde edilen ve süspansiyon sistemleri yolcu ya da hasta taşımaya değil yük taşımaya uygun olan araçlardır. Dolayısıyla bu tür ambulanslar ile gerçekleştirilen hasta/yaralı nakillerinde, hem araç süspansiyon sistemlerinin oldukça sert olması hem de ambulanda harici bir sedye süspansiyon sisteminin kullanılmaması tekerlekten gelen titreşimlerin hastaya büyük oranda aktarılmasına neden olmaktadır. Literatürde bu sistemi kullanan ambulanslar konvansiyonel ambulanslar olarak adlandırılmakta ve süspansiyon sistemi (aktif/pasif) kullanan ya da özel üretim ambulanslara göre oldukça kötü bir hasta taşıma konforu oluşturmaktadırlar.



Şekil 10. Rijit sedye sistemi [1]  
(Figure 10. Rigid stretcher system [1])

- **İki Yön Hareketli Platformlu Sedye Sistemi:** İki eksenli hareketli sedye platformunda (Şekil 11) herhangi bir titreşim yalıtım özelliği bulunmamaktadır. Bu sistemin asıl görevi, araç içindeki sağlık personelinin hastaya uyguladığı tıbbi müdahalenin daha ergonomik şartlarda gerçekleştirebilmesi için sedyenin iki eksen üzerinde hareket ettirilebilmesini (sağa ve sola) sağlamak ve rampa ekipmanı sayesinde de sedyenin olay yerinden ambulansa daha kolay yerleştirilmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 11. İki yön hareketli platformlu sedye sistemi  
(Figure 11. Stretcher system with two directional movement platform  
[1])

Bu sistemde sedye, ambulanstaki sedye platformu üzerine yerleştirilir ve platform üzerindeki hareketlerini sınırlandırmak için emniyetli kilit sistemi ile platforma sabitlenir. Olay yerindeki sedye hasta/yaralı ile beraber platform üzerinde bulunan sedye rampası kullanılarak tek kişi tarafından ambulansa transfer edilebilir. Platform üzerinde kullanılan sedyenin teknik özellikleri şu şekildedir:

- Taşıyıcı tekerlek kolları, otomatik olarak katlanabilir (roll-on, roll-off) ve sedye yere 28-30 cm kalacak şekilde indirilebilir.
- Sedyenin üst kısmı ayrılabilir, ayrı bir sedye olarak kullanılabilir.
- Sedyenin baş tarafı 60 derece, ayak tarafı 40 derece yükseltilebilir.
- Arka tekerlerde bulunan fren mekanizması sayesinde zemine sabitlenebilir.
- **Hidrolik Süspansiyonlu Sedye Sistemi:** Şok emicili hidrolik sedye platformu alt pozisyondan 18 cm yukarı kalkabilen ve üst ve ara pozisyonlarda yükü taşıyabilen şok emici bir sisteme sahiptir (Şekil 12). Trendelenburg-ters trendelenburg hareket özelliğiyle birlikte sedyenin olay yerinden ambulansa yerleştirilmesi kolaylaştırılmaktadır ayrıca hasta/yaralı baş kısmının nakil veya acil müdahale esnasında üst ya da alt kısımda tutulması sağlanmaktadır. Sağa ve sola hareket edebilme özelliği de olan platformun baş kısmı motorsuz olarak aşağıya inebilmektedir. Sedyenin postür açıları Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Hidrolik süspansiyonlu sedye sistemi mekanizması  
(Figure 12. The mechanism of stretcher system with hydraulic suspension)

Yapılan incelemede, Balıkesir ilinde hizmet veren ve sedye süspansiyon sistemine sahip olan ambulansların tamamının EMS firmasına ait "şok emicili hidrolik sedye platform (EP-SA030)" sistemini kullandıkları tespit edilmiştir (Şekil 13). Bu sistemde kullanılan ana sedye, "iki yön hareketli platformlu sedye sistemi" başlığında teknik özellikleri verilen ana sedye ile aynıdır.

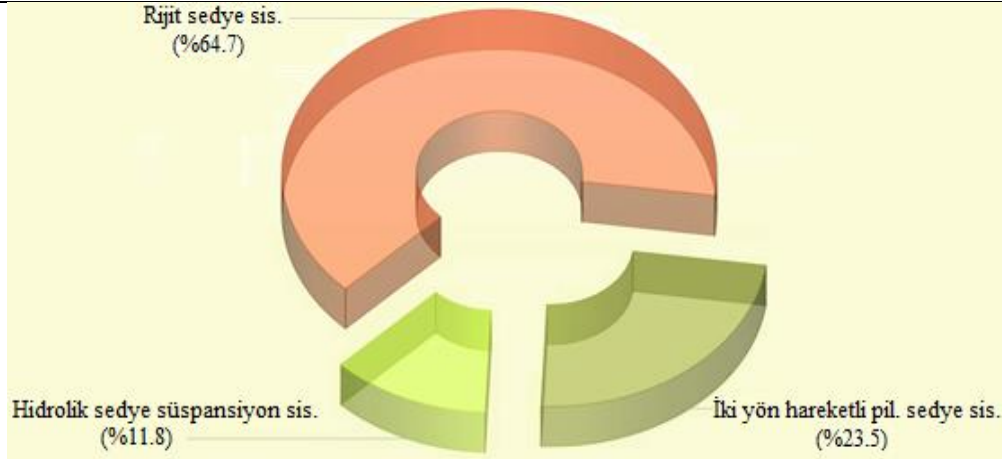


Şekil 13. Hidrolik süspansiyonlu sedye sistemi [1]  
(Figure 13. Stretcher system with hydraulic suspension [1])

#### 4.1. Değerlendirme (Evaluation)

Balıkesir merkez ilçelerinde hizmet veren ambulansların süspansiyon sistemi kullanımı hakkında yaptığımız istatistiksel çalışmada; mevcut tüm ambulansların %64,7'lik en büyük bölümünün sedye ile ambulans zemini arasında herhangi bir platform bulunmayan rijit sedye sistemini, %23,5'inin titreşim yalıtım özelliği bulunmayan ancak hastanın ambulansa aktarılmasını kolaylaştıran ve kabin içinde sağlık ekiplerinin daha rahat çalışabilmesi için iki yönlü hareket edebilen platforma sahip sedye sistemini, %11,8'inin ise harici bir sedye süspansiyon sistemi olan hidrolik süspansiyonlu sedye sistemini kullandığı tespit edilmiştir (Şekil 14).





Şekil 14. Balıkesir merkez ilçelerinde hizmet veren ambulanslarda sedye süspansiyon sistemi kullanımı [1]

(Figure 14. Using of stretcher suspension systems in the ambulances serving in the central districts of Balıkesir [1])

Hidrolik süspansiyonlu sedye sistemi kullanılan ambulanslarda görev yapan sağlık personellerinden alınan geri dönüşler; süspansiyon sisteminde hidrolik sıvı kaçağının yaşanabildiği, hasta/yaralı taşınması sırasında yol kasisleri ve viraj geçişlerinde sedye postür konumunun kontrol dışında değişebildiği ve Balıkesir’de süspansiyon sistemi üreticisine ait bir teknik servisin bulunmaması nedeniyle arıza anında sistem kullanımında uzun zaman kayıpları yaşandığı şeklindedir. Elde edilen veriler göstermiştir ki Balıkesir merkez ilçelerinde kullanılan kara ambulanslarının genelinde, hasta ve yaralıların transferinde meydana gelen yol kaynaklı titreşimler ve ambulansın ani manevralarında (viraj dönüşleri vb.) oluşan dış kuvvetleri yalıtım için herhangi bir sedye süspansiyon sistemi kullanılmamaktadır.

Özellikle hamilelerin ve kritik durumdaki hasta ve yaralıların taşınması esnasında; karın bölgesindeki artan ağrılar, kan basıncının ve oksijen ihtiyacının artması gibi tehlikeli sonuçlara neden olabilen bu titreşimlerin önlenmesi için mevcut ambulansların ivedilikle araç ve sedye süspansiyon sistemi hasta/yaralı taşınması için uygun üretilmiş özel ambulanslar ile değiştirilmesi ya da daha pratik ve az maliyetli bir çözüm olan ambulans sedyesi süspansiyon ekipmanlarının mevcut ambulanslara ilave edilmesi gerekmektedir.

##### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, uluslararası literatürde bulunan; hasta ve yaralıların taşınma esnasında sağlık durumuna olumsuz etki yapan yol pürüzlülüğü, hız kesici kasisler, virajlı yollar vb.’nin neden olduğu dış kaynaklı kuvvetlerin yalıtıldığı sedye süspansiyon sistemleri tanıtılmıştır. Buna göre, hasta ve yaralıların aktif veya pasif süspansiyon sistemleri ile donatılmış ambulanslarla taşınmasının konvansiyonel ambulanslar ile (rijit sedye sistemi) taşınmasından çok daha konforlu olduğu ve konfordaki bu artışın, özellikle bozuk yol şartlarındaki taşınma esnasında hasta/yaralının sağlığında titreşim kaynaklı negatif etkinin azalmasını ve ambulans seyir hızının artırılıp, hasta/yaralının hastaneye daha erken ulaştırılmasını sağladığı görülmüştür. Ayrıca Balıkesir ili merkez ilçelerinde yapılan incelemelerde, tüm ambulansların sadece %11.8’inde sedye süspansiyon sistemlerinin kullanıldığı, diğer ambulanslarda ise yol kaynaklı titreşimlerin önlenmesi amaçlı herhangi bir mekanizmanın kullanılmadığı tespit edilmiştir. Gelişmiş ülkeler ile mukayese



yapıldığıında, ülkemizdeki ortalama insan ömrünün uzatılması ve sağlık standartlarının yükseltilmesi için gerekli yasal düzenlemelerin bir an önce yapılması ve kullanılmakta olan ambulansların sedye süspansiyon sistemleri ile donatılması gerekliliği açıkça görülmektedir. Böylece, ambulanslarda veya ambulans sedyesinde gerçekleştirilecek iyileştirmeler ile hasta ve yaralıların sağlık durumlarının kötüye gitmeden yapacakları güvenli yolculuk, taşınma konforu ve hastaneye varış süresi arasındaki uyumsuzluklar azaltılmış olacaktır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Demir, V.G., (2011). Ambulans Sedyesi Tasarımında Titreşim Konforsuzluğunun İyileştirilebilirliği. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. İşsever, H. ve Sabuncu, H.H., (1998). El Kol Vibrasyonlarına Mesleki Maruziyetlerde Vücut Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Göztepe Tıp Dergisi, Cilt:13, Ss:72-75.
3. Yıldırım, G.Ö., (2008). Alanda kritik hasta transportu, IV. Paramedik Sempozyumu, Ankara.
4. Melemez, K. ve Tunay, M., (2010). Ormancılıkta Traktör Titreşiminin Ergonomik Değerlendirmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. Sayı:1, Ss:96-108.
5. Çakır, Ç., (2006). Pasif ve aktif Kamyon Kabini Süspansiyon Sistemleri Tasarımı ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
6. Stammers, C.W. and Leyshon, D.R., (1985). Ambulance Stretcher Suspensions. Proc. Instn. Mech. Engrs., V:199/D2, P:151-160.
7. Snook R. and Pacifico, R., (1976). Ambulance Ride: fixed or floating stretcher?. British Medical Journal, V:2, P:405-407.
8. Leyshon, D.R. and Stammers C.W, (1986). The Development and Performance of an Ambulance Stretcher Suspension. Proc. Instn. Mech. Engrs., V:200/D4, P:249-257.
9. Pettigrew, K.B., (1991). Vibration Isolation of Patients in Ambulances. Project report 68, University of Canterbury Department of Mechanical Engineering.
10. Raine, J.K. and Henderson, R.J., (1993). Vibration Isolating Ambulance Stretcher Suspension, In proceedings of IPENZ Annual Conference, Hamilton.
11. Raine, J.K. and Henderson, R.J., (1998). A two-degree-of-freedom Ambulance Stretcher Suspension Part 3: laboratory and road test performance. Proc Instn Mech Engrs. V:212/D, P:401-407.
12. Ono T. and Inooka, H., (2009). Actively-controlled beds for ambulances. International Journal of Automation and Computing, V:06(1), P:1-6.
13. Zakian, V., (1989). Critical Systems and Tolerable Inputs. International Journal of Control, V:49/4, P:1285-1289.
14. Raemaekers, A.J.M., (2009). Active vibration isolator design for ambulance patients. M. Sc. Thesis. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
15. Fu, N., Wenjuan, W., Jinggong, S., Xudong, R., Chen, S., and Lingshuai, M., (2015). Experimental Investigation of an Ambulance Stretcher Suspension using Spring and Metal Rubber



---

Structure, The 22nd International Congress on Sound and  
Vibration, Florence, Italy.

16. Chae, H.D. and Choi, S.B., (2015). A New Vibration Isolation Bed  
Stage With Magnetorheological Dampers for Ambulance Vehicles.  
*Smart Mater. Struct.* , V:24, pp:14.