

DİNAMİK ŞEKİL DEĞİŞTİRME ÖLÇÜMÜ VE BİR TAVAN VİNCİNDE UYGULAMASI

Levent MALGACA
Caner KARA
Mine DEMİRSOY

ÖZET

Mühendislik yapılarının bilgisayar destekli tasarım ve analizlerinde seçilen eleman tipi ve sınır şartları gibi yapılan kabullerin sınanması açısından bazı ölçümlerin gerekliliği güncelliğini korumaktadır. Bu çalışmada, uzama ölçer modülleri, sinyal koşullandırma ünitesi ve veri toplama kartından oluşan taşınabilir bir şekil değiştirme ölçüm sistemi tanıtılarak, ölçüm sürecindeki önemli noktalar sunulmuştur. Köprü uzunluğu 2500 mm, araba aks açıklığı 430 mm, maksimum kaldırma yükü 400 kg olan bir tavan vincinde, 5 farklı noktaya yapıştırılmış uzama ölçerler ile dinamik şekil değiştirme ölçüm uygulaması yapılmıştır. Ölçüm sisteminin programı LabVIEW yardımıyla geliştirilmiştir. Tavan vinci ana kirişi olarak EN 13706' da EN23 olarak sınıflandırılmış cam elyaf takviyeli plastik malzeme (CTP) kullanılmıştır. Kirişler üzerinden alınacak ölçümler için eğilme gerilmelerinin maksimum olduğu tarafsız eksene en uzak olan kiriş alt yüzeyi üzerinden belirlenmiştir. Bu kirişlerin, yük altında EN 13706 ile verilen emniyetli gerilme ve şekil değiştirme sınırları içinde bulunması istenir. Sabit hızla hareket eden araba üzerindeki farklı yükleme değerleri için sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar sayısal analizde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Bilgisayar ve elektronik teknolojisindeki gelişmeler ölçüm sistemlerine de yansyarak ölçümlerin daha hassas ve daha hızlı bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır. Günümüzde şekil değiştirme ölçümü için değişik çözümler önerilmektedir [1]. Bu ölçümlerde için uzama ölçerler (Strain gauges) kullanılır. Uzama ölçerler; şekil değiştirmeyle orantılı elektrik direnci değişen algılayıcılar, ölçüm yapılacak yüzeye bir yapıştırıcı ile yapıştırılırlar ve ticari olarak değişik direnç değerlerinde mevcuttur. Uzama ölçerlerin temel parametresi ölçme katsayısıdır ve birim uzamaya karşılık elektrik direncindeki değişim olarak tanımlanır. Tipik olarak değeri yaklaşık 2' dir. Bu algılayıcılar genellikle Wheatstone köprü konfigürasyonu ile kullanılırlar. Wheatstone köprüsü beslenerek uzama ölçer direncindeki değişime karşılık çıktı voltajı verir. Ölçülen voltaj değerleri şekil değiştirme cinsinden ifade edilebilir.

Ölçümler değişik yapılara ve sistemlere uygulanabilir. İşletmelerde sıklıkla kullanılan mühendislik yapılarından biri kaldırma makinalarıdır. Tavan vinçleri işletmelerdeki kullanım sahasından daha fazla yararlanmaya imkan vermesi, işletme sahası üzerinde çalışarak diğer işletme makinalarına yer bırakması nedeniyle diğer kaldırma sistemlerine üstünlük sağlamaktadır. Tavan vinçlerin tasarlanmasında kaldırma yükü, kaldırma yüksekliği, kren açıklığı ile birlikte kren ana kirişinin sehimi ve bu kirişteki eğilme gerilmesi değerleri dikkate alınmalıdır. Ana kiriş geometrik boyutları belirlenirken öncelikle sehim açısından kontrollerinin yapılması ve mukavemet değerlerinin kontrol edilmesi gerekir. Literatürde hareketli yük etkisindeki değişik yapılar için analitik ve sonlu elemanlar yöntemleri ile incelenen çalışmalar mevcuttur [2, 3, 4]. Bu çalışmada, dinamik şekil değiştirme ölçüm sistemi tanıtılmış, cam takviyeli plastik (CTP) I profilli gezer köprülü kren ana kirişi üzerinde uygulaması

yapılmıştır. Aynı sistem için sayısal analiz yapılarak dinamik eğilme davranışları belirlenmiştir. Deneysel ve sayısal analiz sonuçları kıyaslanmıştır.

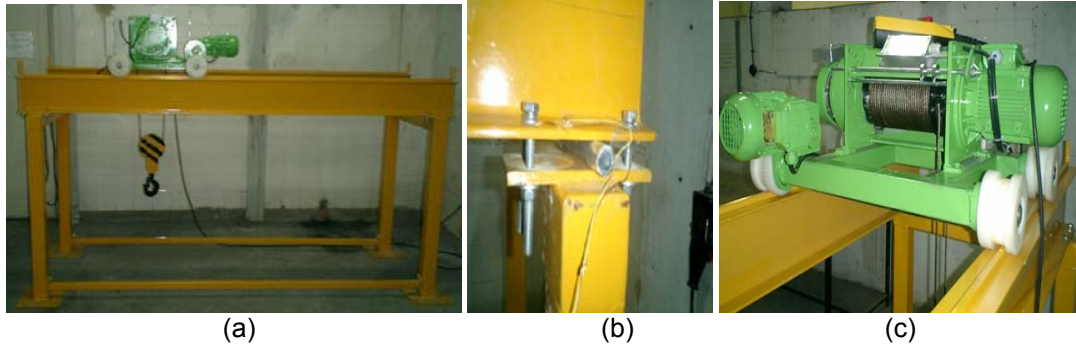
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney düzeneği, ölçüm ve yük taşıyıcı tavan vinci gibi iki ana sistemden oluşmaktadır. Ölçüm sistemi, uzama ölçer giriş modülü (SC-SG01), sinyal toplama ünitesi (SC-2345) ve çok fonksiyonlu veri toplama kartı (DaqPAD 6015) ve bir kişisel bilgisayarı kapsamaktadır [1], (Şekil 1). Uzama ölçer modüller sinyal koşullandırıcı ünite içine yerleştirilir, sinyal koşullandırıcı ünite veri toplama kartına bağlanır. Veri toplama kartı ise USB bağlantısı aracılığıyla bilgisayarla ilişkilendirilir. Modüllerde 2.5 V besleme voltajı, sıfır ayar devre sistemi mevcuttur ve şekil değiştirme sinyalleri 100 katlık sabit bir kazanç ile güçlendirilir. Sinyal koşullandırıcı üniteye toplam sekiz modül ve her bir modüle iki uzama ölçer bağlanabilir. Böylece taşınabilir ölçüm sistemi aynı anda 16 kanaldan ölçüm yapmaya imkan tanımaktadır.



Şekil 1. Ölçüm Sistemi.

Ölçüm uygulaması laboratuvarında üretilen bir tavan vinci üzerinde yapılmıştır [5]. Bu çalışmada, Şekil 2 (a)' da gösterildiği gibi IPN 200 ana kirişli, kren açıklığı 2500 mm ve kaldırma yükü 400 kg olan tavan vinci kullanılmıştır. Kiriş bağlantı noktaları basit mafsal olarak tasarlanarak bu noktalarda kirişlerin yatay düzlemde kayması engellenmiştir (Şekil 2 (b)).

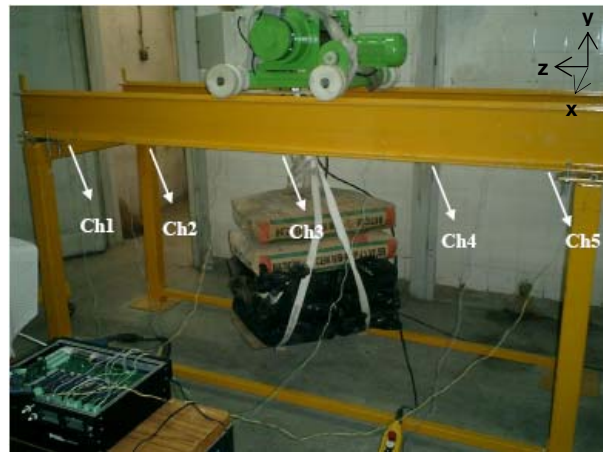


Şekil 2. CTP I Profilli Çift Kiriş KöprülÜ Tavan Vinç.

Şekil 2 (c)' de gösterilen araba ağırlığı 250 kg, tekerlekler arası mesafe 430 mm' dir. Burada tavan vincinin konstrüksiyon hesap detayları hakkında bilgi verilmemiştir. Kaynak [5]' de detaylı bilgi bulunabilir. Tel halat çapı 6 mm ve standart kesitli halat seçilmiştir. Kaynak [5]' de detaylı bilgi bulunabilir. Tel halat çapı 6 mm ve standart kesitli halat seçilmiştir. Tambur çapı 140 mm ve et kalınlığı 8 mm' dir. Araba tekerleklerinin imalatında poliyamid (PA6) malzeme kullanılmıştır. Tekerlekler için bu malzemenin seçilmesindeki en büyük etken, sistemde çelik tekerleklere göre hafiflik ve maliyet açısından avantaj sağlamasıdır. Araba yürütme sistemi için 0.18 kW, kaldırma sistemi için 0.55 kW güce sahip motorlara ihtiyaç vardır.

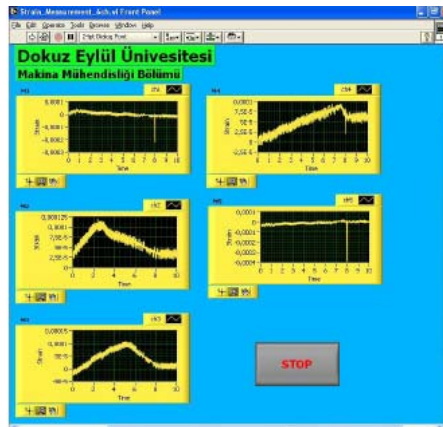
Tavan vincinin ana kiriş malzemesi bir çeşit kompozit olan ve EN13706' da EN23 olarak sınıflandırılan E-camı ve polyester resinden imal edilmiş cam takviyeli plastik (CTP)' dir. Farklı kesit ve büyüklüklerde CTP profiller pultrüzyon yöntemi ile imal edilmektedir [6]. Bu profillerin taşıyacağı yük kapasitesi sınırlıdır.

Birim uzama ölçümleri için TML-FRA-5-11 model rozet tip 120 Ω uzama ölçerler Şekil 3' de gösterildiği gibi eğilme gerilmelerinin maksimum olduğu tarafsız eksene en uzak olan ana taşıyıcı kiriş alt yüzeyine yapıştırılmıştır. Uzama ölçerler, kiriş boyunca tek eksende z yönündeki birim uzamaları ölçecek şekilde yerleştirilmiştir. Uzama ölçerler hassas algılayıcılardır ve yapıştırılacağı yüzeyler uygun kimyasal ile temizlenmeli, boyasız yüzeyler tercih edilmelidir. CTP profil kren köprüsü üzerine yerleştirilen uzama ölçerler bağlantı sıralarına göre soldan sağa doğru Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch5 olarak adlandırılmış ve uzama giriş modüllerine bağlanmıştır. Uzama ölçerler sırasıyla soldan 215 mm, 625 mm, 1250 mm, 1875 mm, 2285 mm mesafededir. Bu çalışmada, uzama ölçer modüller 120 Ω ve çeyrek köprü konfigürasyonundadır.



Şekil 3. Uzama Ölçerlerin Konumları.

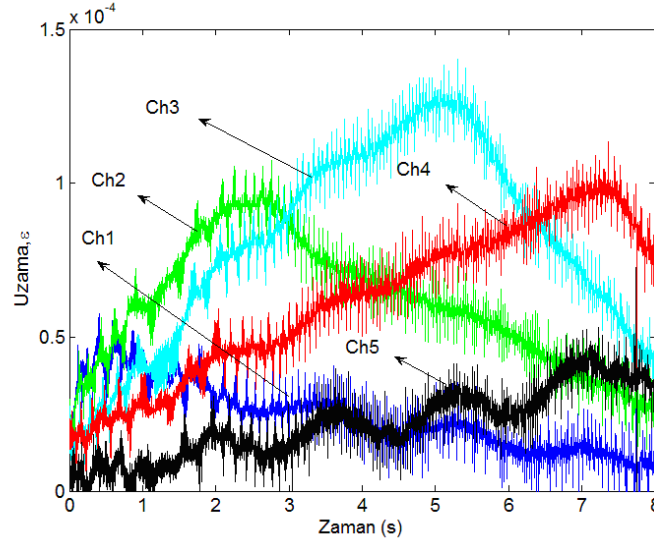
Araba hareket ettiği anda, eş zamanlı olarak 5 uzama ölçerden gelen sinyaller uzama ölçer modüllerin aracılığıyla veri toplama kartı üzerinden bilgisayara kaydedilmektedir. Sinyaller LabVIEW'de geliştirilen bir bilgisayar programı ile toplanır (Şekil 4). Programdaki ölçüm konfigürasyonu; bağlantı tipi çeyrek köprü, ölçme katsayısı 2.1, örnekleme hızı 500 Hz seçilir.



Şekil 4. Geliştirilen Veri Toplama Programı.

Ölçümlerde önce araba kaldırılarak, sistemin kendi ağırlığı altındaki uzama sinyalleri kaydedilir. Uzama ölçerlerin bağlı olduğu her kanaldan alınan bu ilk değerler referans değer olarak kabul edilir.

Bu referans değerler hareket esnasında kaydedilen ölçüm değerlerinden çıkarılır. Sabit hızda, farklı araba yükleri altında dinamik şekil değiştirme ölçümleri gerçekleştirilir. Araba hareket hızı ise 5.5 m/dak. dır. Örnek olarak kren 250 kg yükte iken beş kanaldan 8 s boyunca kaydedilen birim uzama sinyalleri (ε) Şekil 5' de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi eğrilerden yükün hareketi gözlenmekte ve en büyük birim uzama kirişin orta noktasında oluşmaktadır.

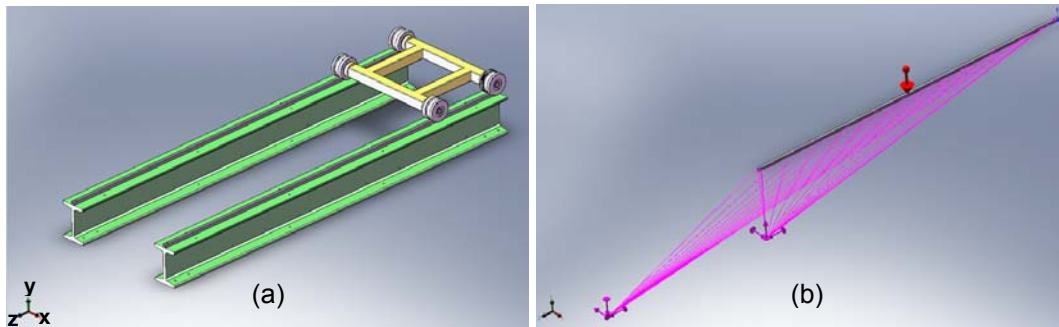


Şekil 5. Hareketli Yük Etkisindeki Ana Kirişin Farklı Noktalarındaki Dinamik Birim Uzama Değişimleri.

3. SAYISAL ANALİZ

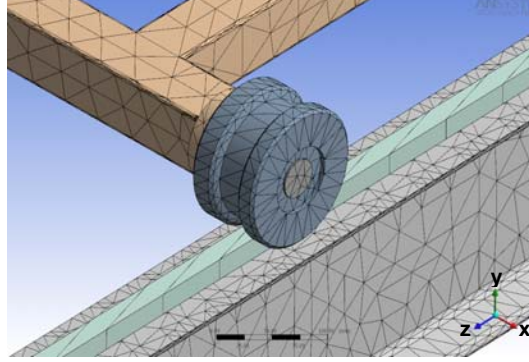
Hareketli yük altındaki tavan vincinin CTP ana kirişinin dinamik davranışlarının belirlenmesi analitik olarak karmaşık bir problemdir. Bu nedenle sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi için sistemi oluşturan tüm elemanların mekanik özellikleri, tavan vincini oluşturan elemanlar arasındaki temas yüzeyleri ile bu yüzeylerdeki sürtünme katsayıları ve sınır şartları tanımlanarak problemin çözümüne gidilmiştir. Sayısal analizlerde SolidWorks (Versiyon 2007), CosmosMotion, (Versiyon 2007) ve Ansys Workbench (Versiyon 10.0) bilgisayar programları kullanılmıştır.

Kren hareketi için kaldırma makinası, yükler ve kirişler SolidWorks bilgisayar programı ile modellenmiştir (Şekil 6 (a)). Hareketli yük etkisinde atalet kuvvetlerini hesaplamak için CosmosMotion ile kren üzerindeki araba hareketi simule edilmiştir. Hareket için simülasyon süresi gerçekte olduğu gibi 8 s, zaman aralığı ise 0.2 s olarak belirlenmiştir. Bu sistem için 40 adet hareket yükü hesaplanmıştır. Hareket yüklerinin zamana bağlı olarak kren rayı üzerindeki dağılımı Şekil 6 (b)'de gösterilmiştir.



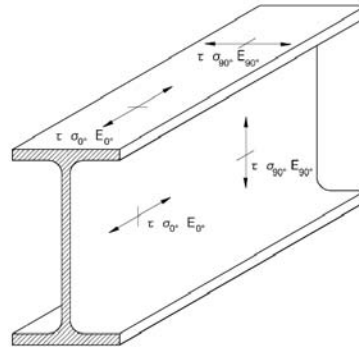
Şekil 6. (a) Model, (b) Yerçekimi Kuvveti Ve Hesaplanan Atalet Yükleri.

AnsysWorkbench programına, yerçekimi, faydalı yük ve hareketli yükten kaynaklanan atalet yükleri tanımlanmış ve sonlu elemanlar analizleri 0.2 s zaman adımıyla gerçekleştirilmiştir. Analizlerde tavan vinci üzerinde ray için 10 düğümlü Quadratic tetrahedron, diğer elemanlar için 20 düğümlü Quadratic hexahedron eleman tipleri seçilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Sonlu Elemanlar Modeli.

CTP taşıyıcı I profillerin bazı malzeme özellikleri Şekil 8' de tanımlanan yönlere göre Tablo 1' de verilmiştir. 0° profilin fiber yönünü göstermektedir. Aynı zamanda 0° profilin imalatı sırasında pultrüzyon yönüdür. 90° ise fibere dik olan yönü ifade etmektedir. Deneylerde ana taşıyıcı kirişteki şekil değiştirme malzemenin 0° yönünde ölçülmüş, analizlerde aynı yön dikkate alınmıştır.



Şekil 8. CTP Profiller İçin Fiber Yönleri

Tablo 1. CTP Profil Malzeme Özellikleri.

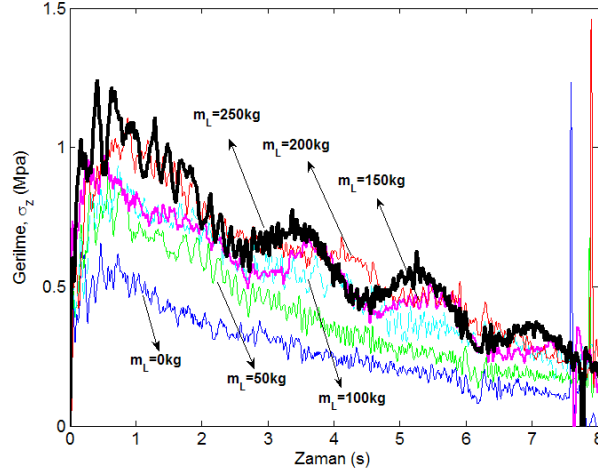
Elastisite Modülü, E_{0°	DIN 53 457-87	N/mm ²	25000
Elastisite Modülü, E_{90°	DIN 53 457-87	N/mm ²	8500
Poisson Oranı $V_{0^\circ,90^\circ}$		-	0.23
Poisson Oranı $V_{90^\circ,0^\circ}$		-	0.09
Yoğunluk		kg/m ³	1800

4. DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

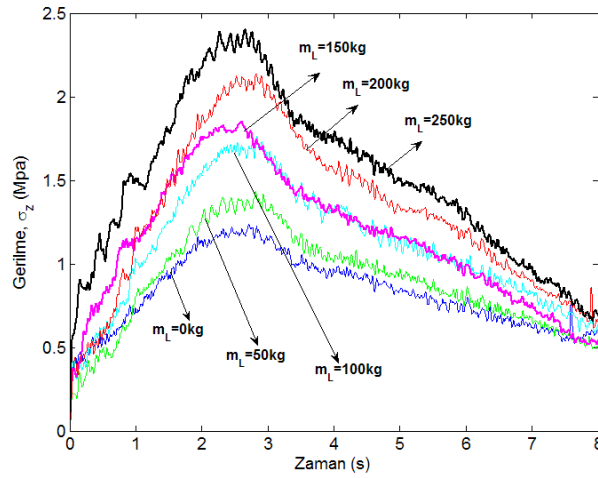
Krenin hareketi sırasında, tavan vinci ana kirişlerinde eğilme gerilmeleri meydana gelmektedir. Bu gerilmeler araba ağırlığı, faydalı kaldırma yükü ve hareketli yükten kaynaklanmaktadır. Bu bölümde sonuçlar eğilme gerilmeleri cinsinden verilmiştir. Deneylerde z yönünde ölçülen dinamik birim uzama

değerleri Şekil 8' de gösterildiği gibi 0° yönündeki elastisite modülü (E_{0°) ile çarpılarak dinamik eğilme gerilme değerleri elde edilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar yüksüz durum, 50 kg, 100 kg, 150 kg, 200 kg ve 250 kg faydalı kaldırma yükleri (m_L) için elde edilmiştir.

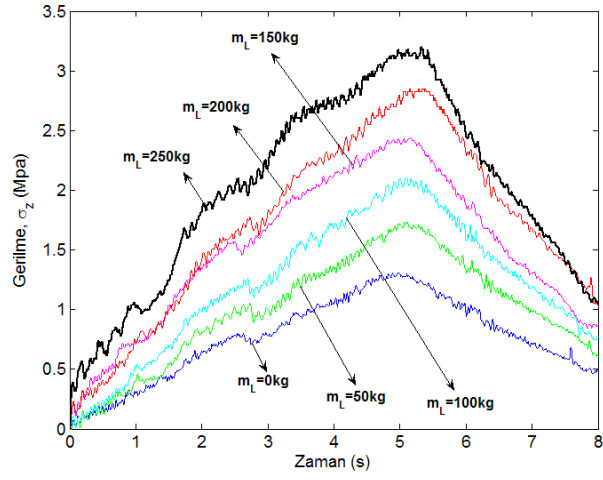
Şekil 3' de belirtilen Ch1, Ch2, Ch3, Ch4 ve Ch5 noktalarındaki farklı yükleme durumları için 15 Hz' lik alçak geçirgen bir filtre kullanılarak elde edilen deneysel eğilme gerilmeleri Şekil 9' da gösterilmiştir.



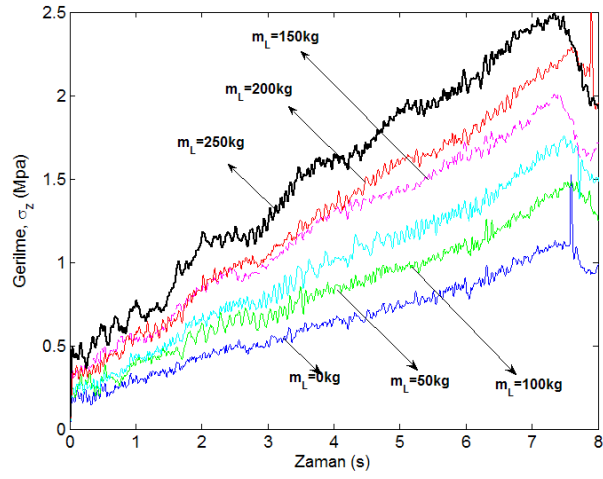
(a)



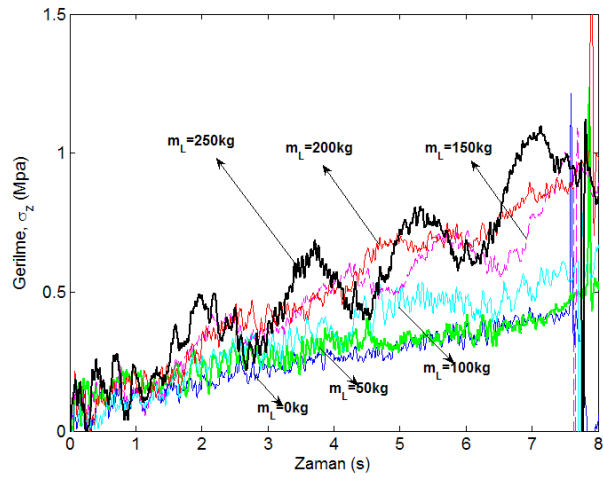
(b)



(c)



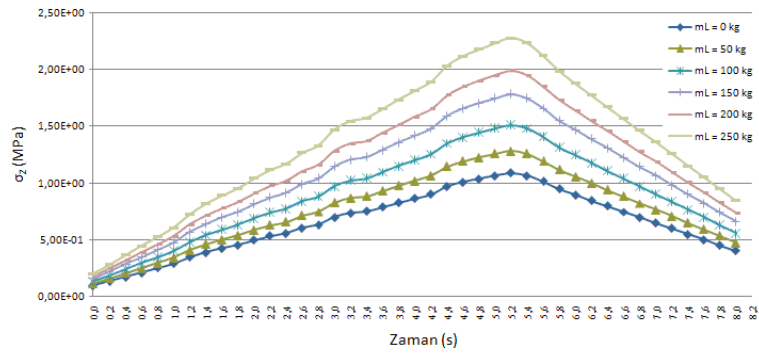
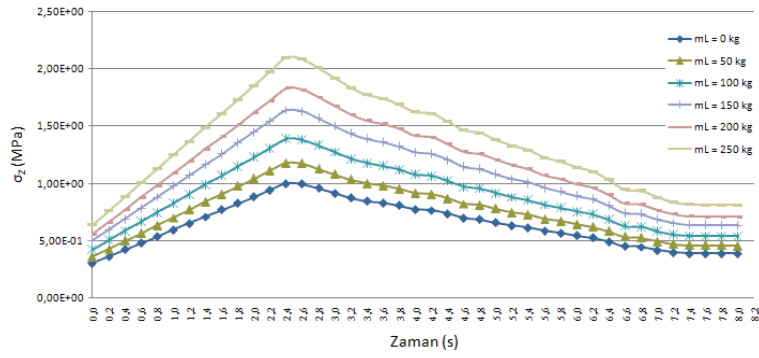
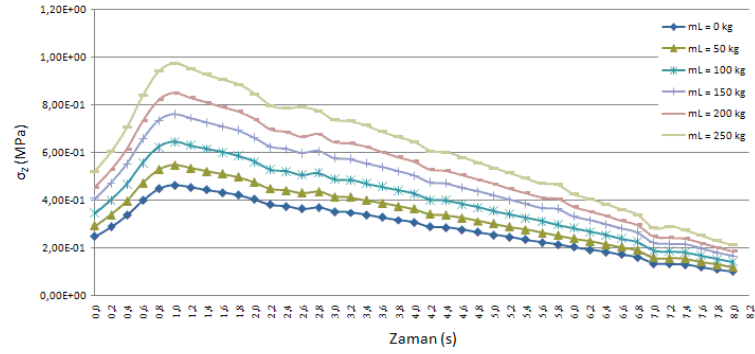
(d)

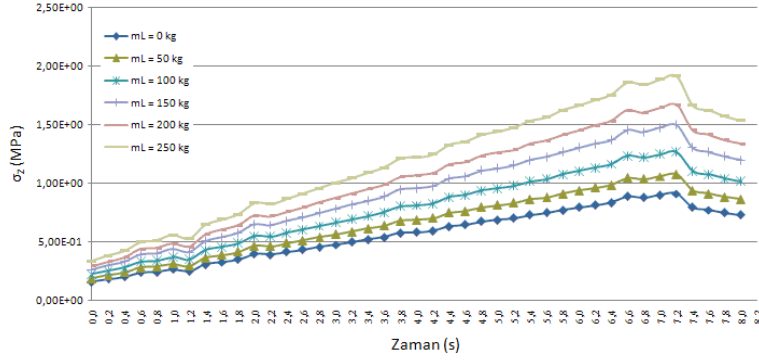


(e)

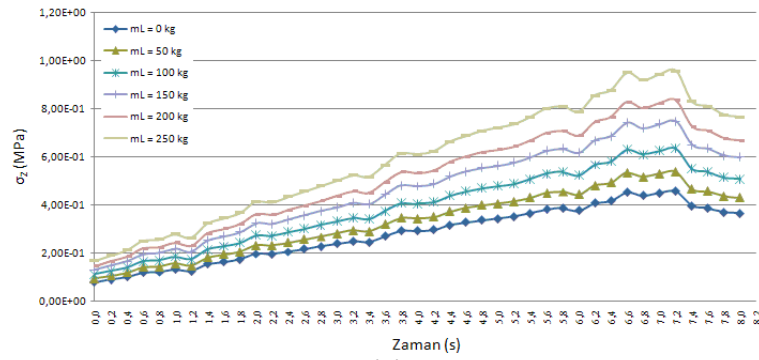
Şekil 9. Deneysel Dinamik Gerilme Değerleri (A) Ch1, (B) Ch2, (C) Ch3, (D) Ch4, (E) Ch5.

Şekil 3' de belirtilen Ch1, Ch2, Ch3, Ch4 ve Ch5 noktalarındaki farklı yükleme durumları için elde edilen sayısal eğilme gerilmeleri Şekil 10' da gösterilmiştir.





(d)



(e)

Şekil 10. Sayısal Dinamik Gerilme Değerleri (A) Ch1, (B) Ch2, (C) Ch3, (D) Ch4, (E) Ch5.

SONUÇ

Şekil değiştirme ölçümü, uzama ölçerin elektrik direncindeki çok küçük değişimlere dayanır. Bu nedenle köprü konfigürasyonu, sinyal koşullandırma ve veri toplama sisteminin uygun seçimi ve kullanımı, bu ölçümlerin hassas ve doğru yapılması açısından önemlidir.

Uzama ölçerler çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Böylece, uzama sinyalleri elektronik gürültüye maruz kalmaktadır. İstenmeyen gürültü sinyalleri dijital veya analog filtreler ile önlenabilir. Şekil 5' de verilen uzama sinyallerinde filtre kullanılmamıştır. Şekil 9' da istenmeyen frekans bileşenleri önlenerek dijital olarak filtrelenmiş sinyaller verilmiştir.

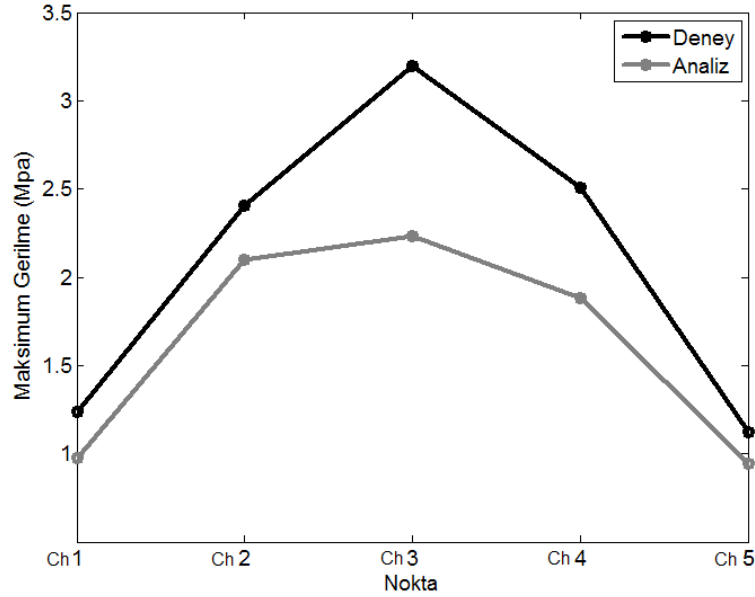
Şekil 9 ve Şekil 10' dan görüldüğü gibi hareketli yük etkisinde yapının hem deneysel hem de teorik olarak paralel bir dinamik davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, yük artışına bağlı olarak meydana gelen gerilmelerin hem deneylerde hem de sayısal analizlerde yaklaşık doğrusal bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen ölçüm grafiklerinde; başlangıçta ve duruşta ani pikler, hareket boyunca da dalgalanmalar olduğu gözlemlenmiştir. Pikler arabanın ani duruş kalkışından, dalgalanma ise yükün hareketi sırasında salınımından kaynaklanmaktadır.

Ölçüm sonuçlarına göre, arabanın harekete başladığı ve durduğu anlarda ani ivmelenmeler nedeniyle oluşan ani yükler, kaldırma yükü nedeniyle meydana gelen maksimum gerilme değerlerinden daha

büyüktür. Gerilme emniyetleri hesaplanırken bu durumlar dikkate alınmalı ya da yumuşak kalkış ve duruşlu yürütme tertibatına sahip arabalar tercih edilmelidir.

Şekil 9 ve 10' dan maksimum yüke karşılık gelen (250 kg) maksimum gerilme değerleri, dikkate alınan noktalar için Şekil 11' de gösterilmiştir.



Şekil 11. Deneysel Ve Sayısal Maksimum Dinamik Gerilme Değerleri

Sayısal analiz ile elde edilen dinamik gerilme değerleri, deney ile elde edilen dinamik gerilme değerlerinden daha küçüktür. Sonuçlar arasındaki farklılıklar; deneylerde yükün simetrik olmayışı, salınımı ve ani ivmelenmesi olarak yorumlanabilir. Sayısal analizde de bu etkiler modellenerek daha yakın sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] National Instruments Corporation, <http://www.ni.com>, 19 Ağustos 2008.
- [2] Wu, J.J. Whittaker, A.R., Cartmell, M.P., "Dynamic responses of structures to moving bodies using combined finite element and analytical methods", *International Journal of Mechanical Sciences*, 43, 2555–2579, 2000.
- [3] Wu, J.J. Whittaker, A.R., Cartmell, M.P., "The use of finite element techniques for calculating the dynamic response of structures to moving loads", *Computers and Structures*, 78, 789-799, 2000.
- [4] Yang, W. Zhang, Z., Shen, R., "Modeling of system dynamics of a slewing flexible beam with moving payload pendulum", *Mechanics Research Communications*, 34, 260-266, 2006.
- [5] Kara C. "Farklı Taşıyıcı Sistemli Krenin Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2008.
- [6] Fiberline Composites-GRP profiles, <http://www.fiberline.com/gb/tools/designmanual.asp>, 19 Ağustos 2008.

ÖZGEÇMİŞLER

Levent MALGACA

1975 yılı İzmir doğumludur. 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü Bölüm birincisi olarak bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2001 yılında Yüksek Mühendis ve 2007 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1997 Yılından beri Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Makina Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Ölçme ve sinyal analizi, bilgisayar destekli tasarım/mühendislik, akıllı yapılar ve aktif titreşim kontrolü ilgi alanlarıdır. Evli ve bir oğlu vardır.

Caner KARA

1982 yılı İzmir doğumludur. 2005 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2008 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünün Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalını bitirerek Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. Kaldırma makinaları ve kompozit komponent tasarımları konularında çalışmaktadır.

Mine DEMİRSOY

1963 yılı İzmir doğumludur. 1986 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1988 yılında Yüksek Lisans, 1994 yılında Doktor ünvanı, 1999 yılında Doçent unvanı almıştır. 2006 yılından beri Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalında profesör olarak görev yapmaktadır. İletim makinaları, kaldırma makinaları ve makina tasarımı konularında çalışmaktadır.