



Hızlı Ağırlık Belirleme İçin Yük Hücresi İşaretlerinin İşlenmesi

Zehan KESİLMİŞ^{1,*}, Tarık BARAN²

¹*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye*

²*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye*

Başvuru: 26/04/2016 Kabul: 02/07/2016

ÖZ

Bu çalışmada endüstriyel dinamik tartım sistemlerinde tercih edilen kiriş tipi yük hücrelerinin tepki işaretleri incelenerek, kalıcı yük seviyesinin hızlı bir şekilde belirlenmesi için yapı dinamiği formülleri sayısal olarak çözülmüştür. Yük hücresinin çıkışındaki yüksek salınımlı işaretlerin sönümlenmesini beklemeden ağırlığın tespit edilmesi hızlı ağırlık tespiti açısından önemlidir. Bu çalışmada, TEDEA 1042 model yük hücresinin çıkış işareti NI PCI 6221 DAQ kartı ile toplanmış ve veriler MATLAB ortamında sayısal olarak çözülen yapı dinamiği denklemlerine girildi olarak kullanılmıştır. Doğrulama için literatür ve deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Deney sonuçları yapılan çözümlemenin hızlı ağırlık makinalarına uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: *Yük hücresi, yapı dinamiği, dinamik tartım, işaret işleme*

The Processing of Load Cell Response Signals for Fast Weighing

ABSTRACT

In this study, the response signals of beam type load cells which are preferred in industrial weighing systems are investigated and structural dynamics equation of motions are solved numerically to determine the steady state load level swiftly. The determination of weight before the damping of highly oscillated signal response in the load cell output is important for fast weighing determination. In this study, TEDEA 1042 load cell response signals are acquired by the use of NI PCI 6221 DAQ card and data is used as input to numerically solved structural dynamics equation of motion. Literature and experimental work results are used for the verification of the method. Experimental results showed that the method can be applicable to fast weighing machines.

Keywords: *Load cell, structural dynamics, dynamic weighing, signal processing*

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde birçok sanayi ve tarım ürünü kalite, ebat ve ağırlık standartlarına göre sınıflanmakta ve son kullanıcıya sunulmaktadır. Bu ürünler ilgili ağırlık standartlarını sağlayacak şekilde dinamik tartım sistemleri kullanılarak sınıflandırılmaktadırlar. Basit blok şeması Şekil-1'de verilen ağırlığa dayalı sınıflama makinesi, mekanik tahrik için bir elektrik motoru,

meyveleri taşımak için taşıyıcı yapı ve ağırlık ölçüm biriminden oluşmaktadır [1].

Statik ve dinamik ağırlık ölçme sistemlerinde ağırlık algılayıcısı olarak sıklıkla yük hücreleri (Load Cell) kullanılmaktadır. Yük hücreleri üzerine uygulanan fiziksel kuvveti özel gerinim ölçerler (strain gauge) ile

*İletişim yazarı, e-mail: zehankesilmis@osmaniye.edu.tr

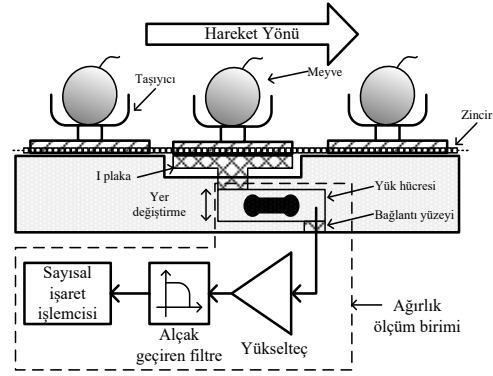
elektriksel işarete çeviren dönüştürücülerdir. Hasat sonrası paketleme endüstrisinde yüksek işlem kapasitesine ulaşmak için meyve ağırlığının hızlı ve doğru tespiti büyük önem taşımaktadır. Bu tarz çalışmalarda ağırlıklı olarak kullanılan yük hücresi tipi konsol giriş tipleridir. Bu tarz yük hücreleri üzerine düşen ek bir kütle ile -çalışmada meyve- kritik sönüm altı bir salınım hareketi yapmaktadır. Hareketin sönümlendiği yük düzeyi kalıcı ağırlık olarak okunarak ağırlık belirleme işlemi her bir meyve için belirlenmektedir. Yüksek hızlı ölçümlerde çıkış işaretinde yüksek frekanslı salınımlar görülmekte ve sönümlenme zamanı da uzamaktadır. İyi tasarlanmış bir ölçüm sisteminden çıkış işaretinin sönümlenme bölgesini beklemeden kalıcı yük değerini hesaplaması beklenmektedir.

Yük hücresinin çıkış işaretindeki yüksek frekanslı işaretleri bastırmak için analog veya sayısal alçak geçiren filtreler kullanılabilir. Fakat alçak geçiren filtrelerin ölçüm süresini uzattığı böylece makinenin işlem hacmini düşürdüğü bilinmektedir. Bu durum alçak geçiren filtre çözümünün yerine alternatif bir yaklaşım aranmasına neden olmaktadır.

Hasat sonrası dinamik tartım sistemlerinde $\pm 1\%$ hassasiyette ve 10-15 meyve/s hızlarda ölçüm yapılmasını beklenmektedir. Bununla beraber çoğu paketleme tesisi meyvelerin tekilleme, taşıyıcıya aktarımı ve düşürme gibi işlemler sırasında fiziksel hasara uğramaması için 10meyve/s hızın üzerini tercih etmemektedir.

Sayısal işaret işlemcileri ile filtrelenmiş yük hücresi verilerinden model temelli yaklaşımlar kullanarak ağırlık tespiti yapılabilmektedir. Fakat modellerin kullandığı parametreler yük hücresinden yük hücresine değiştiği gibi aynı yük hücresinde bile ortam ve kullanım şartlarına bağlı olarak zaman içerisinde de değişebilmektedir. Hızlı ağırlık tespiti için yük hücresinin dinamik davranış parametrelerini anlık ve sağlıklı olarak belirleyip ölçüm işlemi başarılı ve hızlı bir şekilde sağlayan bir yöntem veya bu parametrelere olabildiğince az bağımlı bir yöntem gerekliliği aşikârdır. Her ne kadar basit bir işlem gibi görünse de çıkış işaretinde bulunan mekanik ve elektromekanik gürültü bu işlemi oldukça zor bir hale getirmektedir. Bu gürültü ve çıkış işaretinin düzgün olmayışı, işareten elde edilecek olan kalıcı yük seviyesinin ilk birkaç yüz milisaniyede belirlenmesini gerektirmektedir. Bu süre sistemin toplam kütlesi ve rijitliğine göre değişiklik gösterir.

Bu çalışmada dinamik salınım işaretlerinden hızlı ağırlık belirleme için yüksek hız ve hassasiyete sahip ucuz 8 bitlik mikro denetleyicilerle bile uygulanabilecek bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem ile yük hücresinden okunan işaretin filtre işlemine ihtiyaç duymadan, salınım verisindeki ilk birkaç en büyük ve en küçük genlik verilerini ve bu ilgili genliklerin zaman değerlerini kullanan sayısal bir yöntemdir.



Şekil 1. Sadeleştirilmiş dinamik ağırlık ölçüm sistemi
(Simplified dynamic weighing system)

Literatürde yük hücresi işaretinden yüksek hızlı ağırlık tespiti için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmaların bazıları analog veya sayısal adaptif filtreler önermektedir [2]. Önerilen adaptif filtre yaklaşımı özünde alçak geçiren filtre olduğundan ölçüm süresini uzatmakta ve bu yüzden birim zamanda yapılabilecek ölçüm sayısı azalmaktadır. Ayrıca bu yöntem deneysel olarak sınanmamıştır [3].

Alçak geçiren filtre yönteminin eksikliklerini kapatmak için çeşitli model temelli ve model temelli olmayan yöntemler önerilmiştir [4]. Bu yöntemlerden birisi Yapay Sinir Ağı (YSA) yaklaşımıdır [5,6]. YSA'ların eğitimi için deneysel verilere veya matematiksel modellerden türetilmiş verilere ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Her ağırlık aralığı ve yük hücresi tipi için eğitim amacıyla deneysel veri toplamak mümkün olamamaktadır. Bu kısıtlamalar yüzünden tek bir YSA modeli geniş ağırlık aralığı ve farklı yük hücresi tipleri için uygulanabilir değildir. Horrocks ve Bahar tarafından geliştirilen YSA temelli ağırlık ölçme sistemi 5-45kg aralığı için yapılan deneysel verilerle eğitilmiştir [5]. Bu ölçüm sisteminin ağırlık tespit süresi 400msdir. Bu durumda sistem saniyede 2,5 ölçüm yapabilmektedir. Bu hız da dinamik ağırlık ölçüm sistemlerinde kullanılmayacak kadar düşüktür.

Yukarıda belirtilen yöntemler genel olarak yükselteç, alçak geçiren filtre ve sayısal işaret işlemcisinden oluşmaktadır. Literatürdeki çoğu uygulama yük hücresinin çıkış işaretindeki kalıcı statik yük seviyesini (p_{st}) bulmak için salınımları bastırarak alçak geçiren filtreler önermektedir. Kesilmiş ve Baran çalışmalarında yük hücresi işaretini işlemek için doğrusal bir yöntem uygulayarak dinamik sistem parametrelerinden bağımsız yüksek hızlı bir ağırlık tespit yöntemi sunmuşlardır [7].

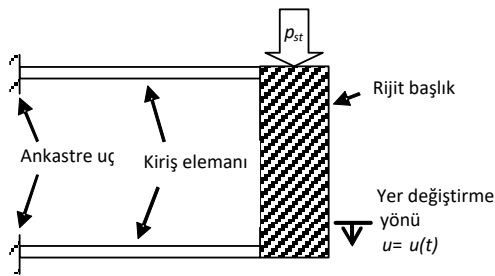
Bu çalışmada şok yükleme için verilen klasik yapı dinamiği denklemlerinin analitik çözümleri kalıcı yük seviyesinin (meyve ağırlığı) hızlı tespiti için filtreye ihtiyaç duymayan sayısal bir yöntemle çözülerek hızlı ağırlık ölçümü için alternatif olarak sunulmaktadır.

2. YÖNTEM (METHOD)

Dinamik ağırlık ölçme sistemleri Şekil 1'de verildiği gibi bir veya iki adet yük hücresi içerirler. Bu sistemlerde meyveler taşıyıcı yapı yardımıyla tek tek yük hücresinin

üzerinden geçirilirler. Yük hücreleri genellikle Wheatstone köprüsü şeklinde yerleştirilmiş 4 adet gerinim ölçer içerirler. Gerinim ölçerler fiziksel yük altında direnci değişen, yüke duyarlı ve yerleştirildiği eksen doğrultusunda birim boy değişimini ölçen dönüştürücülerdir. Gerinim ölçerler sayesinde yük hücreleri mekanik deformasyonu elektriksel işarete dönüştürürler. Yük hücrelerinin çıkış işaretleri genellikle mV seviyesindedir. Bu yüzden üzerinde işlem yapmadan önce bir yükselteç tarafından işaretin kuvvetlendirilmesi gerekmektedir.

Konsol kiriş tipli yük hücreleri Şekil 2’de gösterildiği gibi tek serbestlik dereceli ucunda toplanmış kütleyle sahip bir yapı sistemi olarak modellenilebilir.



Şekil 2. Yük hücresi modeli (Load Cell model)

Yük hücresinin dinamik bir yükleme altında tek serbestlik dereceli bir sistemin davranışını idare eden denklem Eşitlik 1’de gösterildiği gibidir [8,9].

$$(M + m)\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t) \quad (1)$$

$$u(t) = \frac{P_{st}}{k} + e^{-\frac{\xi\omega_d t}{\sqrt{1-\xi^2}}} \left[\left(u_0 - \frac{P_{st}}{k} \right) \cos(\omega_d t) + \left(\frac{v_0}{\omega_d} + \frac{\xi \left(u_0 - \frac{P_{st}}{k} \right)}{\sqrt{1-\xi^2}} \right) \sin(\omega_d t) \right] \quad (6)$$

Eşitlik 6 en genel halde aniden yüklenen bir yapı sisteminin hareket denkleminin ifadesidir. Çözümleme için gerekli olan yer değiştirme ifadesi yük hücresi yer değiştirmeye göre kalibre edilirse tepki işaretlerinden zamana bağlı olarak elde edilebilmektedir. Eşitlikleri yüke göre düzenlemek için rijitlik ile çarparak tekrar düzenlemek de bir diğer yaklaşımdır. Sönümlü titreşim frekansı (ω_d) genlik işaretindeki tepelerin belirlenmesinden sonra elde edilebilmektedir. Yer değiştirme işaretindeki tepe değerlerin elde edilebilmesi için işaretteki tepe değer bölgelerindeki yönlenmeyi artış veya azalış şeklinde değerlendirmenin yolu yer değiştirme işaretinin zamana göre birinci türevinin işaret değişimini yani hız fonksiyonundaki işaret değişimini belirlemektir. Bu işlem sayısal türev formülleri yardımı ile yapılır. Eşitlik 7 bu işlemi tüm fonksiyon için tariflemektedir.

Denklemden, t , zamanı, M , ölçülmek istenen kütle, m , yük hücresinin kütle, c , viskoz sönüm, k , sistemdeki kirişlerin rijitliğini, $P(t)$, taşıyıcı sisteme aniden yüklenen ve taşıyıcı sistem üzerinde kalan yük olup değeri p_{st} olan kuvveti, u, \dot{u}, \ddot{u} , ise sırası ile sistemin serbest ucundaki düşey yer değiştirmeyi, yer değiştirmenin zamana göre birinci türevini (hızı) ve yer değiştirmenin zamana göre ikinci türevini (ivmeyi) göstermektedir.

Bu çalışmada amaç değeri bilinmeyen p_{st} değerini yüksek hız ve başarı ile tespit etmektir. Yük hücresi kritik sönüm altı hareketli bir sistemdir. Eşitlik 1 formundaki idare eden denklem için çözüm kalıcı yük için p_{st} yazılarak Eşitlik 2’teki gibi verilir [8,9].

$$u(t) = \frac{P_{st}}{k} + e^{-\xi\omega t} (A \sin(\omega_d t) + B \cos(\omega_d t)) \quad (2)$$

Denklemlerde, ω, ω_d , sırası ile sönümsüz serbest titreşim açılmal frekansı ve sönümlü titreşim açılmal frekansı, ξ , viskoz sönüm oranı, A ve B ise integral sabitleridir. ω, ω_d arasındaki ilişki ve ξ , Eşitlik 3-5’te görülen denklemlerdeki gibidir.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M+m}} \quad (3)$$

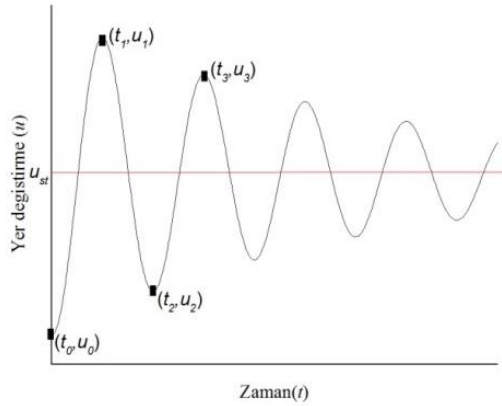
$$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \quad (4)$$

$$\xi = \frac{c}{2\omega(M+m)} \quad (5)$$

$u(0)=u_0$ ve $\dot{u}(0)=v(0)=v_0$ başlangıç şartları için integral sabitleri A ve B bulunduktan sonra Eşitlik 2, Eşitlik 6’teki gibi yazılabilir.

$$v(t) = \frac{d(u(t))}{dt} \quad (7)$$

Şekil 3’te yer değiştirme işareti ve yöntemde kullanılmak üzere değeri bilinmesi gereken noktalar verilmiştir. Bu noktaların değeri tepki işaretinden okunabilmektedir. Denklem çözümlemesi için gerekli olan diğer bileşen rijitlik-yay katsayısı (k) ise yük hücresine yapılan statik bir yükleme veya yapı mekaniği formülleri ile kolaylıkla belirlenebilmektedir. Aktif işaret okuma yapıldığı için Eşitlik 6’te görülen başlangıç şartları sükunetten harekete başlama şartları olan $u_0=0$ ve $v_0=0$ değerine kolaylıkla ötelenerek Eşitlik 7 daha da sadeleştirilebilmektedir.



Şekil 3. Yük hücresi çıkış işaretini (Load Cell output signal)

Bu durumda Eşitlik 6 ve Eşitlik 6'dan türetilen Eşitlik 7'de bilinmeyen olarak sadece kalıcı yük seviyesi (p_{st}) ve sönüm oranı (ξ) kalmaktadır. Yapı sistemlerinde sabit sönüm oranı kullanmak mümkün olsa da Eşitlik 3-5 denklemlerinde görüldüğü gibi yapı toplam kütleleri değiştiği için sönüm oranı da değişecektir. Bu durumda herhangi bir t anında değeri bilinen yer değiştirme ve hız için Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'te görülen p_{st} ve ξ değerine bağlı olan iki fonksiyonun belirli bir t anında çözülmesi ile ulaşılmak istenen kalıcı yük p_{st} elde edilebilmektedir.

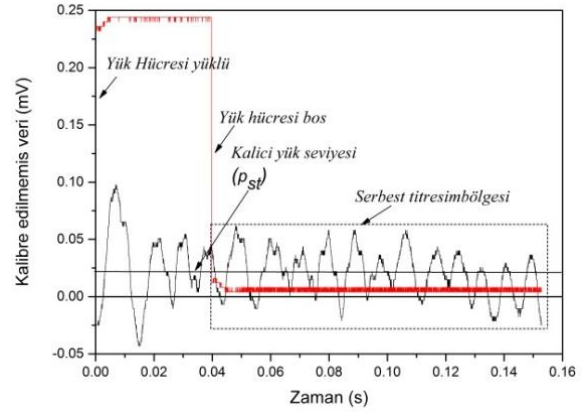
Çözümde kullanılmak üzere açısal frekans, başlangıç değerleri ve zaman adımlarını belirlemek gerekmektedir. Bunun için harekete başlama anındaki zaman ve yer değiştirme değeri, ilk yer değiştirme tepesi anındaki zaman ve yer değiştirme değeri ve ikinci yer değiştirme tepesi anındaki zaman ve yer değiştirme değeri anlık olarak yük hücresi işaretinden okunur. Tepe anlarındaki zaman değerlerinin tespiti için sayısal türev ile işaret değişikliğine devamlı bakılır.

Bu değerlerin tespitinden sonra doğrusal olmayan denklemler çözülerek bilinmeyen p_{st} ve ξ değerleri bulunabilir. Viskoz sönüm oranının tespiti için yük hücresi çıkış işaretinde yarım devir yapan ardışık iki pik değerinin okunması ile logaritmik azalma oranı kullanılabilir. Şekil 3'te görülen u_1 ve u_2 tepeleri bu tepe değerlerdir. Sönüm oranı ve frekans için başlangıçtaki iki tepenin seçilmesinin sebebi Şekil 4'ten görülebileceği gibi başarılı iki tepenin oluşmasından sonra örnekleme hızına, işaretteki gürültüye ve çevresel faktörlere bağlı olarak (yükün hareket etmesi vb.) işaretin düzensizleşmesidir. Viskoz sönüm oranı belirlenmesi için Eşitlik 8 kullanılır. Eşitlik 8 yarım devir için sönüm oranını belirlemektedir.

$$\xi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{2 \ln \left(\frac{u_1 - u_{st}}{-(u_2 - u_{st})} \right)} \right)^2}} \quad (8)$$

Denklemden, yapılan okumalar eğer yük cinsinden ise, n herhangi bir indisi göstermek üzere Eşitlik 9 kullanılabilir.

$$u_n = \frac{P_n}{k} \quad (9)$$



Şekil 4. Dinamik Tartım Sistemi üzerindeki bir yük hücresinden okunan tipik tepki işaretini

(Typical response signal acquired from a load cell which mounted on dynamic weighing system)

Bu çalışmada önerilen yöntemin başarısının sınaması için TEDEA 1042 yük hücresi [11], AD623 enstrümantasyon yükseltici, NI PCI 6221 veri toplama kartı ve üzerinde MATLAB® çalışan bir PC'den oluşan bir deney düzeneği kurulmuştur. Bu deney düzeneği yük hücresi verilerinin gerçek zamanlı toplanmasına ve analizine olanak sağlamaktadır. Veri toplama kartının örnekleme hızı ve çözünürlüğü sırasıyla 100KS/s ve 16bit olarak seçilmiştir. Toplanan veriler önce yerel dönüm noktalarının tespiti için bu çalışma için özel olarak yazılan arama algoritmasına tabi tutulmaktadır. Bu algorithmadan alınan dönüm noktası değerleri ise gene MATLAB ortamında yapı dinamiği denklemlerine uygulanmıştır.

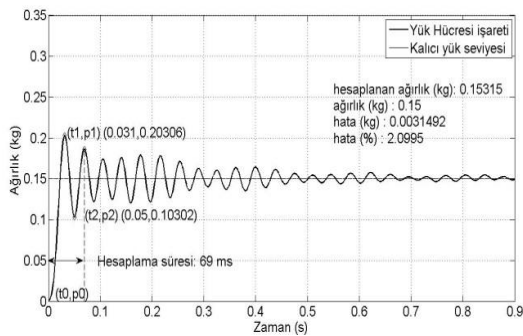
3. DENEYSEL VE SAYISAL UYGULAMA (EXPERIMENTAL AND NUMERICAL IMPLEMENTATION)

Çalışmada kullanılan yöntemin doğrulaması amacı ile literatürde bulunan benzer bir çalışmadan alınan değerler [12] ile deneylerden elde edilen sonuçların yanı sıra sayısal bir yazılım olan SAP2000® [13] kullanılarak elde edilen veriler kullanılmıştır. Deneylerde 0.5kg, 0.2kg ve 0.15kg'lık üç ağırlık yük hücresinin üzerine düşürülerek tepki işaretinden anlık olarak belirlenen verilerden hızlı ağırlık tespiti yapılmıştır. Deneyler sırasında düşürülen kütlelerin sıçramasını engellemek amacı ile taşıyıcı yapıda sönümleyici olarak küçük bir miktar kum kullanılmıştır. Literatürden alınan değerler ve yazılım sonuçları ise grafiklerden okunarak çalışmaya aktarılmıştır. Deneylerden elde edilen tipik grafikler 0.15kg'lık ağırlık için Şekil 5'te ve 0.2kg'lık ağırlık için Şekil 6'da görüldüğü gibidir. Şekillerden görülebileceği gibi deney

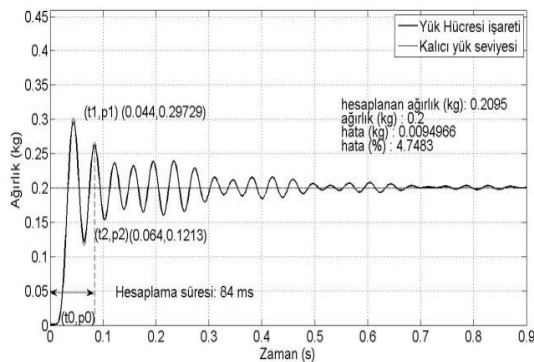
ortamında dahi düzgün bir sönüm davranışı takip edilememektedir. Bu durumda ilk birkaç tepeyi kullanarak kalıcı yük seviyesini belirlemek işlem süresini kısaltırken aynı zamanda daha az hataya yol açmaktadır.

Yöntemini başarısını sınamak amacıyla tüm ağırlıklar için deneyler on kez tekrarlanmıştır. Bu deney verilerine, literatürden [12] elde edilen verilere ve SAP2000® ile türetilen verilere önerilen yöntem uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 1’de sunulmuştur. Ayrıca, Çizelge 1 uygulama için gerekli okuma değerlerini, uygulama sonucunu ve yüzde hatayı özetlemektedir. Çizelge 2 ise önerilen yöntemin kullanıldığı, üç farklı ağırlık için onar kez tekrar edilen deneyden elde edilen tepki işaretinin anlık değerlendirmesine ait sonuçları göstermektedir. Çizelge 2’nin birimi noktadan sonraki hassiyeti vurgulamak açısından gram olarak hazırlanmış ve sunulmuştur.

Çizelge 1 ve Çizelge 2’deki sonuçlar önerilen yöntemin hata oranının oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Ölçülen kütle büyüdükçe standart sapma da artmaktadır. Yüzde olarak ise bu hata ortalamada 0.5 kg için %2.37, 0.2 kg için %2.17 ve 0.15 kg için %1.59’dur.



Şekil 5. 0.15 kg için ölçülen yük hücresi tepki işareti
(Load cell response signal for 0.15 kg)



Şekil 6. 0.2 kg için ölçülen yük hücresi tepki işareti
(Load cell response signal for 0.2 kg)

Tablo 1. Uygulama sonuçları (Implementation results)

	t_1 (sn)	t_2 (sn)	u_1 (kg)	u_2 (kg)	Sonuç (kg)	Hata (%)
[12]* 0.141kg	0.012	0.024	0.21	0.103	0.152	8.36
SAP2000 0.15kg	$5.7 \cdot 10^{-4}$	$\frac{0.0011}{3}$	0.276	0.04	0.143	4.57
0.5kg	0.065	0.086	0.807	0.234	0.522	4.3
0.2kg	0.023	0.044	0.409	0.054	0.191	4.72
0.15kg	0.031	0.05	0.216	0.093	0.156	0.15

* $u_0=0$ ve $t_0=0$ noktasına ötelenmiş olarak değerler okunmuştur.

Tablo 2. Deney sonuçları (Experimental results)

Ağırlık (g)	500 g	200 g	150 g
	505,4	211,5	153,1
	511	209,5	156,2
	525,5	202,4	145
	521,6	206,2	148,1
	505,2	210,6	157,4
Hesaplanan (g)	495,8	201,4	160,1
	512,3	188,4	144,8
	509,4	212,3	155,3
	513,9	204,5	148,9
	522,1	199,7	155,1
	508,3	201,2	152,3
Ortalama (g)	511,8636	204,3364	152,3909
Std Sapma (g)	8,681045	6,941221	5,081231

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, giriş tip yük hücresinin çıkış işaretinden hızlı ağırlık tespiti yapmak üzere yapı dinamiği denklemlerinden faydalanarak bir yöntem geliştirilmiştir. Hızlı ağırlık tespiti için elde edilen denklem sayısal olarak çözülmüş ve elde edilen sonuçların uygulama için yeterli olduğu gösterilmiştir. Yöntem sanayi yapılarında kullanılan konsol tip kritik

sönüm altı sönüme sahip yük hücresi ile çalışan her türlü hızlı ağırlık belirleme işlemine uygundur. Yöntemin kodlanması ve uygulamasında dikkat edilmesi gereken noktalar ve ulaşılan bazı sonuçlar ise şunlardır:

Yapılan ölçümlerin yük cinsinden olması durumunda denklemler yer değiştirme cinsinden olduğu için sabit bir yay sabiti değeri ile çarpılıp bölme işlemi uygulanmaktadır, bu durumda yay sabiti önemsizleşmektedir. Deney sonuçlarından alınan değerler birim yay katsayısı için alınan değerlerdir.

Yöntemde başlangıç değeri seçimi doğru köke yakınsama için önemlidir. Denklemlerin özelliğinden dolayı reel olmayan değerlerin denklemi sağlama olasılığı vardır. Bu yüzden başlangıç değeri olarak ilk tepe ve ikinci tepe arasında seçilen bir değeri oranını yükseltmektedir. Özellikle ilk tepenin yarısı yapı dinamiğinde dinamik büyütme katsayısı uygulamasında ani yüklenen tek serbestlik dereceli sistemlerde yaklaşık olarak alınan değeri için başarılı sonuçlar vermektedir. Tepe değerlerinin arasında olmayan bir başlangıç değeri reel olmayan kök bulunmasına yol açmaktadır.

Eşitliklerde kullanılan frekansın hesabı büyük önem taşımaktadır bu yüzden çözünürlüğü yüksek veri toplama yöntemin başarısı açısından önemli bir faktördür.

İşaretin aşırı gürültülü olması durumunda ortalama düzeltme veya alçak geçiren filtreleme ile yöntem için gerekli ilk iki tepe değerine kadar yapılacak bir düzenleme yöntemin başarısını arttıracaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Clement J., Novas N., “High Speed Intelligent Classifier of Tomatoes by Colour, Size And Weight”, **Spanish Journal of Agricultural Research**, 2, 314-325, 2012.
- [2] Piskorowski J., Barcinski T., “Dynamic Compensation of Load Cell Response: a Time-Varying Approach”, **Mechanical Systems and Signal Processing**, 22, 1694-1704, 2008.
- [3] Jafaripana M., Bashir M., Al-Hashimi M., White N. “Load Cell Response Correction Using Analog Adaptive Techniques”, **Circuits and Systems**, 4, 752-755, 2003.
- [4] Boschetti G., Caracciolo R., Richiedei D., Trevisani A., “Model-Based Dynamic Compensation of Load Cell Response In Weighing Machines Affected by Environmental Vibrations”, **Mechanical Systems and Signal Processing**, 34, 116-130, 2013.
- [5] Bahar B., Horrocks H., “Dynamic Weight Estimation Using an Artificial Neural Network”, **Artificial Intelligence in Engineering**, 12 (1), 135-139, 1998.
- [6] Almodarresi Y. ve White M., “Application Of Artificial Neural Networks to Intelligent Weighing

Systems”, **Science Measurement and Technology**, 146, 265-269, 1999.

- [7] Kesilmiş Z. ve Baran T., “A Geometric Approach to Beam Type Load Cell Response for Fast Weighing”, **Journal of Metrology Society of India**, DOI: 10.1007/s12647-016-0168-2, 2016.
- [8] Chopra, A. K., “Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering”, 2nd ed., New Jersey, USA, Prentice-Hall, 2001.
- [9] Clough, R.W. ve Penzien, J., “Dynamics of Structures”, 2nd ed., New York, USA, McGraw Hill, 1993.
- [10] Chapra, S.C. ve Canale, R.P., “Numerical Methods for Engineers”, 5th. ed., Boston, USA, McGraw Hill, 2006.
- [11] VPG sensor, “TDEA 1042 Yük Hücresi Katalog Bilgisi”, <http://www.vishaypg.com/docs/12010/1042.pdf> (28.03.2016)
- [12] Elbeltagi, R., “In-Process Weighing Systems”. **ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition**, American Society of Mechanical Engineers, 1113-1122, 2011
- [13] Computers and Structures Inc., “SAP2000-Integrated Structural Analysis and Design Software”, Berkeley, California, USA, 1997.