

# Zamanla Değişen IIR Alçak Geçiren Filtre ile Dinamik Tartım Yöntemi Dynamic Weighing Method with Time-variant IIR Low-pass Filter

Mustafa Can Gülbaş<sup>1</sup>, Tuba Ayhan<sup>2</sup>, Müştak Erhan Yalçın<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
gulbas19@itu.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
MEF Üniversitesi, İstanbul  
ayhant@mef.edu.tr

<sup>3</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
mustak.yalcin@itu.edu.tr

## Özetçe

Sanayide üretimden sevkiyat aşamasına kadar birçok alanda kullanılan otomatik ağırlık kontrol terazisi sistemi, üç adet konveyör bant, en az iki adet fotosel, yük hücresi, işlemci, kullanıcı için kontrol ekranı, kontrol kabini ve reddedici/yönlendirici kollarından oluşmaktadır. Ürün kütlesine ulaşırken, yük hücresi tarafından alınan ölçüm sinyalinin filtrelenmesi aşamasında literatürde kaskat yapıda zamanla değişen alçak geçiren filtrenin önemli bir yeri olduğu gözlemlenmiş ancak sonuca ulaşma konusunda oldukça fazla filtre adedinin kullanıldığı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlara ulaşma aşamasının hızlandırılması amacıyla bu çalışmada zamanla değişen alçak geçiren filtre ile farklı bir yaklaşım denenmiştir. Sonuca daha hızlı ulaşabilmek için kaskat bağlı alçak geçiren filtre adedi önem arz etmektedir. Ürün ağırlık ölçümü esnasında salınımlar oluşmaktadır. Filtre adım adım uygulanarak oluşan salınımlardan ürünün ağırlığına minimum filtre adedi ile ulaşmak hedeflenmiştir. Matlab'ta yapılan deneyler sonucunda çok yüksek hızlarda bu işleme yönetmelikte belirtilen hata limitleri içerisinde sonuçların elde edilemediği görülmüş olup hata limitleri içerisinde elde edilen maksimum hız belirtilmiştir. Sonuç olarak filtre adedi azaltılıp, sönümleme hızlandırılarak oluşan salınımlardan ağırlık verisine yönetmelikte verilen hata sınırları içerisinde ulaşılmıştır.

## Abstract

The automatic weight control system, in other words checkweigher is used in many areas from production to shipment in the industry, consists of three conveyor belts, at least two photocells, load cell, processor, control screen for the user and rejector/router arms. It has been observed in the literature that the time-varying low-pass filter in the cascade structure plays an important role in the filtering of the measurement signal received by the load cell while reaching the product mass, but it has been observed that quite a lot of filters are used to reach the result. In this study, a different approach was tried with a time-variant low-pass filter in order to accelerate of reaching the results. The number of cascade form

low-pass filter used in filtering is important to get the accurate weight.

By applying the filter step by step, it is aimed to reach the mass of the products from the oscillations with minimum number of filters. As a result of the experiments carried out in MATLAB, it was observed that the results could not be obtained within the error limits specified in the regulation with this process at very high speeds. The maximum speed obtained within the error limits was specified. As a result, by reducing the number of filters and increasing the damping, the mass of product from the oscillations were reached faster within the error limits given in the regulation.

## 1. Giriş

Statik ölçümler yani durağan halde ölçümler, teknolojinin gelişimine ve artan ürün talebine ayak uydurabilmek için üretim ve sevkiyat aşamasında büyük ölçekte yerini dinamik tartıma bırakmıştır. Otomatik ağırlık kontrol terazisi sistemi, endüstride üretimden sevkiyata kadar birçok alanda sıklıkla kullanılan dinamik tartım sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Ağırlık kontrol terazileri, bir üretim veya sevkiyat hattından geçen ürünlerin ağırlığını, hattı durdurmaya gerek kalmadan ölçmede görev almaktadır. Sonrasında ağırlık kütleye dönüştürülür ve doğru kütledeki ürünler ağırlık kontrol terazisi tarafından ambalaja gönderilirken, olması gerekenden farklı kütledeki ürünler ayrıştırılır.

Konveyör bantlardan geçen ürün ağırlığını ölçerken mekanik titreşimler, elektriksel ve dışarıdan gelen gürültüler ölçümü etkileyen temel problemlerdir. Yük hücresi tarafından ağırlık verisi alınırken bu gürültüler de ağırlık sinyaline eklenmektedir. Bu bağlamda gürültülerin filtrelenmesi amacıyla bu çalışmada kaskat yapıda zamanla değişen alçak geçiren sonsuz dürtü yanıtı (IIR) filtre kullanılmıştır.

Pietrzak P ve Niedzwiecki tarafından 2016 yılında yapılan bir çalışmada, Sonlu Dürtü Yanıtı (FIR) ile dinamik tartım işleminin mevcut teknolojiden 4 kata kadar daha doğru sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışma her ne kadar otomatik ağırlık kontrol terazileri üzerinde yapılmış olsa da tren ve araçlar gibi dinamik sistemlere kolaylıkla entegre edilebileceği belirtilmiştir. Ancak bilindiği üzere IIR filtrelerin

gecikmesi ve kurulum maliyeti FIR filtrelere göre daha düşüktür.

2015 ve 2017 yıllarında yapılan [5] ve [6] çalışmalarında güvenilir ve hızlı bir şekilde meyvelerin tartılarak sıralanması için sistemde hızlı durağan olmayan filtreleme yöntemi kullanılmıştır. Sunulan bu çözümde bir sensör yardımıyla ham sinyal tespit edilip adaptif filtre uygulanmaktadır. Böylelikle yük hücresi sinyalinin kararlı duruma geçiş süresi azaltılmıştır. Bunun sonucunda dinamik ölçüm sisteminde ölçüm doğruluğu artırılmış ve yüksek hızlar için de ağırlık tahmini geliştirilmiştir. Bu uygulamanın henüz prototip aşamasında olduğu, yakın gelecekte endüstride denenmesi planlandığı belirtilmektedir.

2015 yılında [7] çalışmasında raylı sistem üzerindeki araçların ağırlığının hareket halinde tartılması üzerine farklı bir metod denenmiştir. Bu yöntem WIM Algoritması olarak adlandırılmıştır. Birkaç farklı noktadan alınan dikey teker yükleri ile ray üzerinde yüksek hızla hareket halindeki aracın ağırlığının tahmini üzerine öneri geliştirilmiştir. Algoritmanın testi farklı hızdaki araçlar için yapılmış ve bu yöntemin her şartta iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Yakın zamanda endüstriyel partnerleri olan bir şirketten deney verileri ile bu uygulamanın doğrulanması planlanmaktadır.

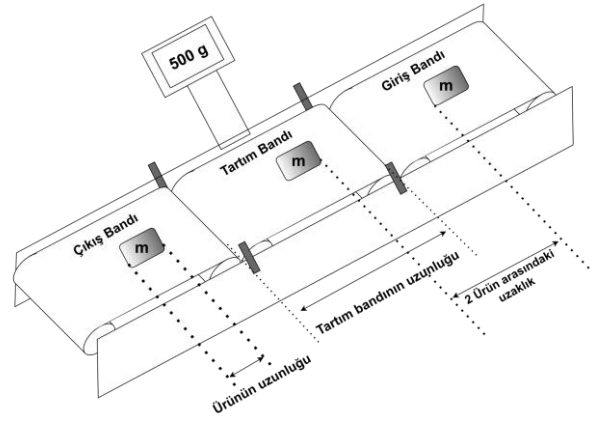
2009 yılında Xiao tarafından yapılan çalışma ile otoyollarda hareket halinde hızlı ve doğruluğu yüksek tartım için, tartım sinyalini etkileyen otoyol titreşimi, yüksek süratin ve çevresel diğer faktörlerin neden olduğu gürültünün engellenmesi amaçlanmıştır [8]. Bu bağlamda Dalgacık dönüşümü (wavelet transform) yöntemi önerilmiştir. Dalgacık dönüşümü ile frekans ve zaman bölgesinde analiz yapılabilmesi, gürültünün azaltılması için uygundur. Ancak bu yöntem seyrek veri olmadığında daha iyi performans göstermektedir. Belirli bir eşikten fazla miktarda örneğin olması gerekmektedir.

2013 yılında N. Chen tarafından yapılan bir çalışmada ise ölçümlerin hızlandırılması ve doğruluğu yüksek sonuçlar alınması yazılım tarafında çözülebileceği vurgusu yapılmıştır. Bu konuda yapay sinir ağı teknikleri üzerine çalışılmıştır. Öncelikle Back-propagation sinir ağı kullanılarak hareket halinde tartım (WIM Weigh-in-motion) sisteminden alınan veri eğitilmiştir. Back-propagation (BP) metodunun genetik algoritma bazında optimize edilmesiyle ortalama hatanın azaltılması ve %2 doğrulukla ölçümlerin alınması sağlanmıştır [9]. Ağ eğitimi ile doğruluk arasındaki bağlantı önem taşımaktadır. Eğitim süresinin artması doğruluğu iyi yönde etkilerken, zaman açısından olumsuz etki oluşturmaktadır.

Bu çalışmada hız ve doğruluk ilişkisi önemlidir. Otomatik ağırlık kontrol terazisinde yüksek hızda ve doğrulukta ölçümlerin yapılması üzerine çalışılmıştır. Bu bağlamda yönetmelikte sunulan ağırlık-hata verileri doğrultusunda ürün bazında en yüksek hıza ulaşılması hedeflenmiştir. Ayrıca sistemin kısa kurulum süresi diğer bir avantajdır.

2. Bölümde otomatik ağırlık kontrol terazisi hakkında genel bilgi verilmiştir. Test yüklerinin tartıldığı dinamik sistemin özellikleri verilmiştir. Test yükünün dinamik tartımı esnasında etkilendiği belirtilmiştir. 3. Bölümde ise dinamik tartım için sinyale uygulanan filtre ve metod anlatılmıştır. 4. Bölümde otomatik ağırlık kontrol terazisinden farklı hızlarda alınan verilerin sonuçları belirtilmiştir. Başarı [10] çalışması ile kıyaslanmıştır.

## 2. Otomatik Ağırlık Kontrol Terazisi

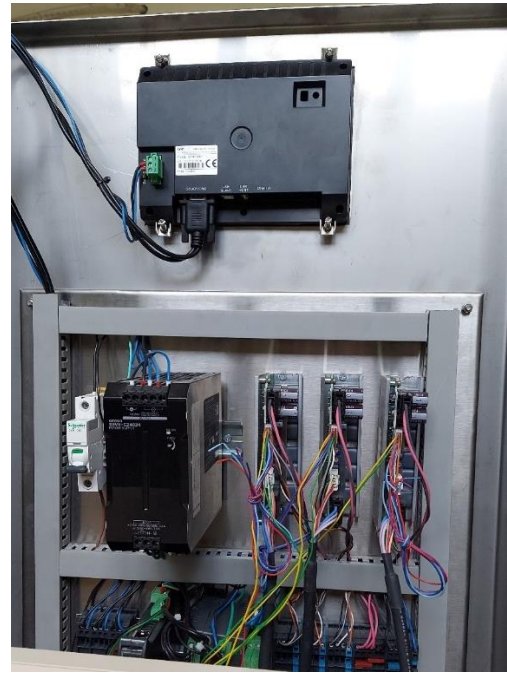


Şekil 1: Ağırlık kontrol terazisi şematiği

Bir otomatik ağırlık kontrol terazi sistemi diğer adıyla Checkweigher; kontrol ekran paneli, kontrol kabini, 3 konveyör bant, tartım modülü yani yük hücresi, optik sensörler, titreşim önleyici dengeleme ayakları, ana gövde, ayırıcı kollar olmak üzere 8 ana parçadan oluşur. Şekil 1’de otomatik ağırlık kontrol terazisinin şematiği, Şekil 2’de ise bu çalışmada dinamik tartım için kullanılan otomatik ağırlık kontrol terazisi sistemi gösterilmiştir.

Kontrol paneli, sistemin kullanıcı tarafından manuel olarak kontrol edilmesini sağlar ve ölçüm hakkında kullanıcıyı bilgilendirir. Bu panel sayesinde kullanıcı, konveyör bandının hızını değiştirebilir, sistemi durdurabilir veya çalıştırabilir ve konveyörden geçen ürünün kütlesinin doğru olup olmadığını görebilir.

Kontrol kabini kullanıcının en az temas ettiği kısımdır. Sistemin arka kısmında yer alan kontrol kabini, güç kaynağı, röleler, haberleşme modülleri, PLC, işlemci vb. tüm bileşenlerin bağlandığı kısımdır.



Şekil 2: Kontrol kabini

Bir ağırlık kontrol terazisi sisteminde 3 adet konveyör bant bulunmaktadır. Bu bantlardan ilki, yani besleme bandı yük hücresine bağlı olan konveyör bantta ürünün taşınmasından sorumludur. Ortadaki konveyör bant doğrudan yük hücresine bağlıdır ve gelen ürünün ağırlığının hareket halinde ölçülmesinde görev alır. Üçüncü konveyör bant, diğer adıyla çıkış bandı ürünün tartıldıktan sonra ilgili yerlere iletilmesinden sorumludur. Genellikle kütlesi doğru olmayan ürünün ayrıştırılmasını için bant üzerinde sisteme bağlı ayırıcı kollar bulunmaktadır.

Diğer önemli bileşen ise ortadaki konveyör bantta doğrudan bağlanan yük hücresidir. Kullanılan birçok elastik transdüser olmasına rağmen sıklıkla kullanılanlar yüzcük tipi, silindirik veya platform tipindedir [1].

Genel tasarımlarda otomatik kontrol terazisi sisteminde yük hücresine bağlı konveyör bantın giriş ve çıkış noktalarına optik sensörleri yerleştirilir. Böylece ürünün sisteme girdiği andan sistemden ayrıldığı ana kadar geçen süre ve yük hücresinin aldığı ölçüm sinyali analiz edilebilir.

Tablo 1: Ağırlık kontrol terazisinin özellikleri

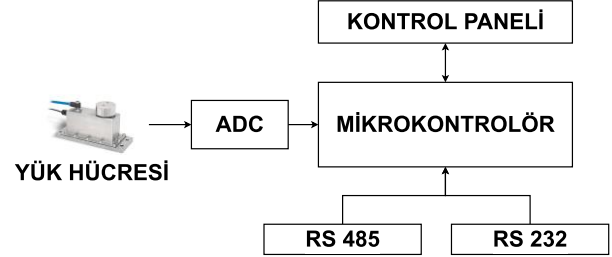
Giriş ve Çıkış Konveyör Bantların Genişliği	340 mm
Giriş ve Çıkış Konveyör Bantların uzunluğu	440 mm
Yük hücresine bağlı konveyör bantın genişliği	190mm
Yük hücresine bağlı konveyör bantın uzunluğu	215mm
Yük Hücresi Kapasitesi	20 kg
Konveyör Bant Motor	100W, 2500 devir/dk
Doğruluk Sınıfı	C3 (0.002kg)
Doğruluk Sınıfı	III (0.0023kg)
Test yüklerinin boyutları	190x90x60 mm
Maksimum ölçüm hızı	349 ürün/dk
Örnekleme frekansı	1600 Hz
Koruma Derecesi	IP68



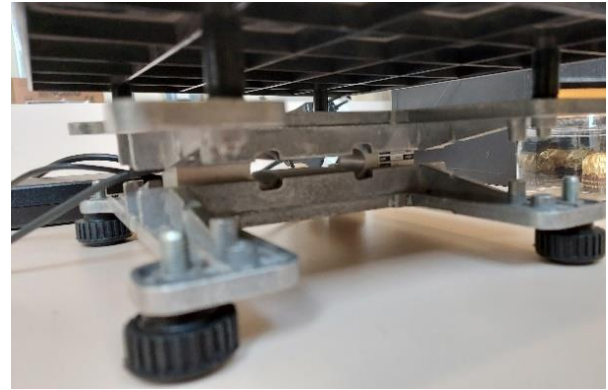
Şekil 3: Otomatik ağırlık kontrol terazisi

Şekil 3'te statik tartım için kullanılan terazi görülmektedir. Bu terazide platform tipi yük hücresi kullanılmaktadır. Statik tartım ile dinamik tartım arasındaki gürültü farkı Şekil 6 ve 7'de görülebilmektedir. Statik tartım yapılırken ürünün tartı üzerine konulduğu an dışında ortamda gürültü olmamasına karşın Şekil 7'da dinamik tartımda konveyör bantın hızının artmasına bağlı olarak artış gösteren gürültü görülmektedir. Dinamik tartım esnasında mekanik ve çevresel gürültünün etkisi 500 devir/dk hızda  $\pm 100$  grama kadar ulaşmaktadır. Bununla birlikte ürünün

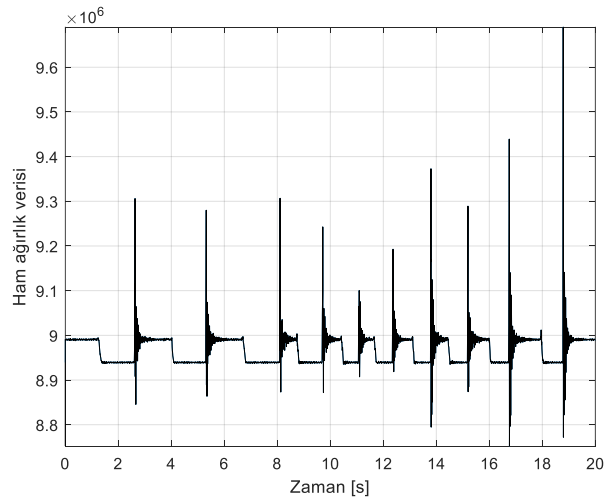
yük hücresine bağlı konveyör bant üzerinden geçişi esnasında gürültü  $\pm 550$  grama ulaşmaktadır. Dolayısıyla dinamik tartım esnasında ürünün besleme konveyör bandından yük hücresine bağlı konveyör banda girişi, aynı şekilde yük hücresine bağlı konveyör banttan çıkış bandına geçişi de oldukça yumuşak olmalıdır. Ayrıca yük hücresine bağlı konveyör bantın uzunluğunun tartılacak ürünün uzunluğundan fazla olması, ürünün ağırlığı için daha fazla örnek alınmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum filtre performansını artırmaktadır. Ancak hız konusunda düşüş gerçekleşecektir. Dolayısıyla bu parametreleri de optimum seviyede tutulmalıdır.



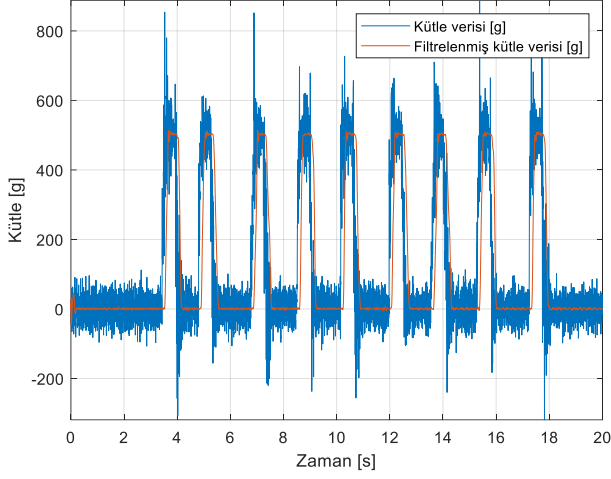
Şekil 4: Dinamik tartım blok diyagramı



Şekil 5: Statik tartımda kullanılan platform tipi yük hücresine sahip terazi



Şekil 6: Statik tartımda ortamdaki gürültü verisi



Şekil 7: Dinamik tartıma ait ortamdaki gürültü verisi ve filtre performansı

### 3. Metot

Bu bölümde sistemde kullanılan filtrenin detayları ve otomatik kontrol terazisi tarafından alınan ürün sinyalinin filtrelenerek kütle bilgisinin elde edilmesine ilişkin metot anlatılmaktadır.

#### 3.1. Zamanla Değişen IIR Alçak Geçiren Filtre

Pietrzak tarafından 2014 yılında önerilen zamanla değişen IIR alçak geçiren filtre, filtre katsayılarının değişmesi prensibine dayalı, sabit bir kesim frekansı olmayan, yüksek frekanstan düşük bir frekansa değişen yapıdadır. Bu filtre özellikle otomatik ağırlık kontrol terazisi gibi hareketli sistemlerde gürültü temizleme konusunda oldukça başarılı bir yaklaşımdır [2].

$$y_i(n) = b_k y_{i-1}(n) + b_k y_{i-1}(n-1) - a_k y_i(n-1) \quad (1)$$

Denklem 1'de  $i=1, \dots, k$  ve  $n=1, \dots, N'$ 'dir.  $y_{i-1}$  ifadesi giriş sinyali olan  $x_i$  ifadesini,  $k$  filtre kaskat bağlı filtre adedini,  $N$  örnek sayısını belirtmektedir.

$$a_k = \frac{f_c - \frac{c_k}{T}}{f_c + \frac{c_k}{T}}, b_k = \frac{1 + a_k}{2}, c_k = \sqrt{\beta\sqrt{2} - 1} \quad (2)$$

$$\lambda(n) = \frac{f_c(n) - \frac{c_k}{T}}{f_c(n) + \frac{c_k}{T}} \quad (3)$$

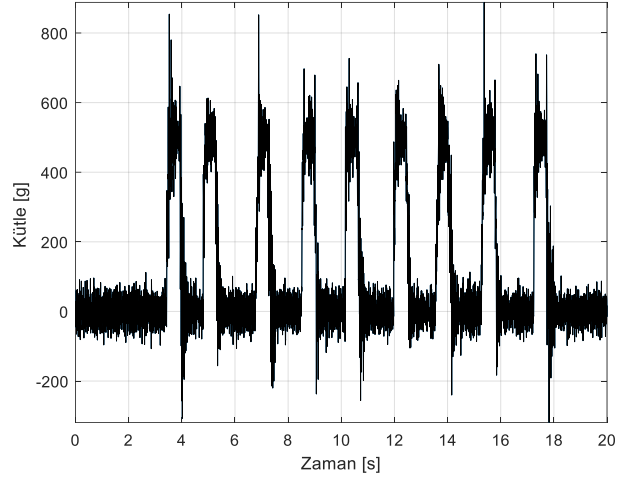
$f_c(n)$  ifadesi zamanla değişen kesim frekansını belirtmekte olup 4. denklemde verilmiştir. Başlangıç frekans değeri  $f_0$  48 Hz,  $f_\infty$  ise 0.1 Hz alınmıştır.  $f_\infty \leq f_0$  şartı sağlanmıştır. Sistemin örnekleme frekansı 1600 Hz'dir.

$$f_c(n) = f_\infty + (f_0 - f_\infty) \alpha^{\frac{-n}{N_\alpha}} \quad (4)$$

#### 3.2. Filtrenin Uygulanması

Ağırlık kontrol terazi sisteminde konveyör bandı hareket ettirmekle görevli motorun maksimum hızı 2500 devir/dakika'dır. Sistem 250 devir/dakika hızda çalıştırılırken üzerinden 500g ağırlığında 9 ürün geçirilmiştir. Bu veri filtreleme aşamasında kalibrasyon amacıyla kullanılmaktadır. Test yükü olarak 500g ağırlığında ve 190x90x60 mm ebatlarında kutu kullanılmıştır. Ağırlık kontrol terazisinde yük hücreğine bağlı konveyör bandından bu kutu dikey

şekilde geçirilerek sonuçlar alınmıştır. Yük hücreğine bağlı konveyör bandının uzunluğu 215mm'dur. Bu sebeple ürünlerin bandın üzerinden yatay biçimde geçirilmesi yeterince örneğin alınamamasına yol açmaktadır. Bu durum filtre sonuçlarını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 8: 250 devir/dakikada 9 ürün için ağırlık kontrol terazisinden alınmış ham veri

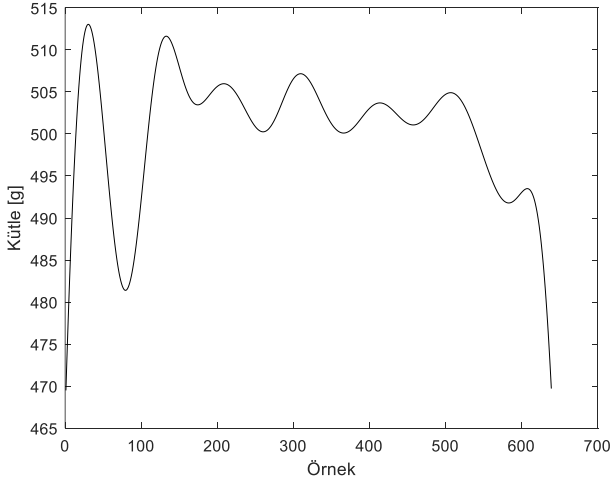
Ağırlık kontrol terazisi ile ölçülecek ağırlık ve eşik değeri ölçüm öncesi sisteme girdi olarak verilmektedir. Bu girdi değerlerine göre sistem konveyör banttan geçen her ürünü analiz etmektedir. Ürünün girdiği an, eşik değeri aşıldığında sistem tarafından anlaşılacaktır. Eşik değerinin üzerinde sürekli olarak önceden belirlenmiş miktarda örnek varsa ürünün ağırlık kontrol terazisinden geçtiği bilgisi alınmaktadır. Geçen her ürün için ürüne ilişkin örnekler bir dizi olarak tanımlanır. Daha sonrasında konveyör banttan geçen her ürün için oluşturulan bu dizilerin ortalaması alındığında ürünlerin kütle bilgisine ulaşılmaktadır. Kaskat filtre sayısını belirleme işlemi, 9 üründen elde edilen verilerin filtrelenmesiyle çıkış sinyalinin olması gereken kütle değerine yakınsadığı noktada sona ermektedir. Diğer bir deyişle 9 ürün için oluşturulan dizilerin ortalaması ürünlerin olması gerektiği değere yakınsadığında sistem filtre adedinin artırılmasını durdurup sonucu belirtmektedir.

Sistemde kullanılan tolerans önemli bir parametredir. Sistem farklı hız ve ağırlıklar için minimum hata bulacağı şekilde eşik değerini değiştirmektedir. Kalibrasyon sağlandıktan sonra sistemin hangi hızda kullanılacağı ve hareketli ortamda kaç gram kütlenin tartılacağı bilgilerine göre eşik değeri sisteme buldurulup sabitlenebilir. Bu durumda ölçüm doğruluğu daha yüksek olacaktır.

Filtreleme yapılırken 250 devir/dk ile 500 devir/dk arasındaki hızlarda fazla miktarda sinyal salınımları gözlemlenebilir. Bu nedenle sinyalin oturma süresi beklenmeden konveyör bant üzerinden geçen ürünün kütlesi hakkında yönetmelikte [4] verilen hata limitleri dahilinde sonuçlar alınabilir. Böylece ürünün kütlesi belirlenene kadar uygulanan filtre sayısı azaltılır. Dolayısıyla kütlenin belirlenmesi için geçen süre de azalmaktadır.

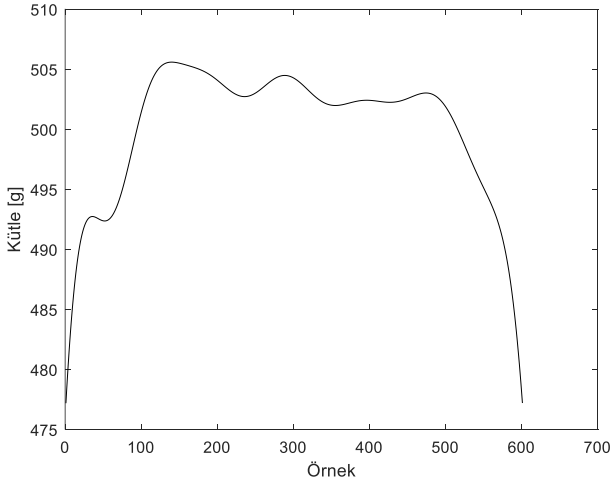
Şekil 8'de motorun 250 devir/dk'da çalıştığı durumdan alınan 9 ürün için bir veri kümesi bulunmaktadır. Konveyör bant üzerinden 500g'lık 9 adet ürün geçirilmiş ve 9 adet ürün için ölçümler gözlemlenmiştir. Ürüne ait tüm detaylar resimde yazılıdır. Şekil 9 ve Şekil 10'da örnek teşkil etmesi açısından 1.

ürün özelinde farklı sayılarda kaskat bağlı filtre adedinin sinyal üzerindeki değişimi görülebilmektedir. Bu hızlarda oturma zamanı beklenmeden yönetmelikte verilen hata limitleri içinde sonuç alınabilir. Bu veri seti için 44 kaskat bağlı filtre ile elde edilen sonuçlar yönetmelikte verilen hata limitleri dahilinde doğrudur. Genel hata oranı: %0.094.

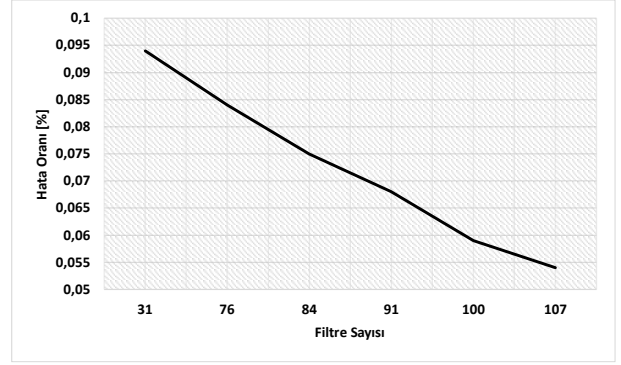


Şekil 9: Bant üzerinden geçirilen 1. ürün sinyalinin 44 kez filtrelenmiş ağırlık-zaman grafiği

Aynı veri seti için ölçüm doğruluğunu artırmak için filtre sayısı artırılmıştır. Bu veri seti için 76 kaskat bağlı filtre ile elde edilen sonuçlar yönetmelikte verilen hata limitleri dahilinde doğrudur. Bu hızlarda filtre sayısının artırılmasının genel hatayı düşürdüğü gözlemlenmiş olup hata oranı: %0.084'tür.



Şekil 10: Bant üzerinden geçirilen 1. ürün sinyalinin 76 kez filtrelenmiş ağırlık-zaman grafiği



Şekil 11: Filtre sayısının artırılmasının hata oranı üzerindeki etkisi

Amacın, ürünün ağırlığının yönetmelik hata değerleri içinde olup olmadığını kontrol etmek olduğu durumda kaskat bağlı filtre adedinin fazla miktarda kullanılmasının bir anlamı kalmamaktadır. 76 yerine 44 kaskat bağlı filtre ile de ürünün doğruluğu hakkında bilgi sağlanabilmektedir. Daha yüksek doğruluk istendiği durumlarda Şekil 11'de görüldüğü gibi filtre adedinin artırılması hata oranını düşürmektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Karşılaştırma

[2] çalışmasında 300g, 500g ve 700g ağırlıkların ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Ağırlık sensörüne bağlı konveyörün uzunluğu 350mm, bandın hızı ise 0.5 ile 1.3 m/s arasında değişmektedir. Diğer bir deyişle, belirtilen en yüksek hız 223 ürün/dk'dır.

[3] çalışmasında ağırlık sensörüne bağlı konveyörün uzunluğu 435mmdir. Ölçüm yapılabilecek ağırlık aralığı 20g ile 2200g arasında olup maksimum ölçüm hızı 220 ürün/dk'dır. Örnekleme periyodu 2ms olup frekans 500 Hz'dir.

[10] çalışmasına ilişkin veriler de Tablo 2'de gösterilerek karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmada 300g, 500g ve 800g test yükleri kullanılmış ancak 800g ile 700g test yükleri için yönetmelikte standart sapma ve hata limitleri aynıdır.

Ürün bazında hız denklem 5'te verilmiştir.

$$\text{Ürün bazında hız} = 60 \frac{V_B}{L_B} \quad (5)$$

$V_B$  bant hızını,  $L_B$  bant uzunluğunu ifade etmektedir.

Denklem 6 ve 7'de  $|\bar{x}|$  mutlak ortalama hatayı,  $s$  ise hatanın standart sapmasını belirtmektedir.

$$|\bar{x}| = \left| \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \right| \quad (6)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7)$$

Verinin alındığı test otomatik ağırlık kontrol terazisinin bölüntü oranı  $e=2$  gramdır, dolayısıyla maksimum kabul edilebilir ortalama hata 500g ve 700g test ağırlıkları için ilk doğrulama adımında  $\pm 2g$ , 300g test ağırlığı için  $\pm 1$  gramdır.

İlgili ağırlıklar için XIII doğruluk sınıfı için izin verilen maksimum ortalama hata ve hatanın standart sapma değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2: Bu çalışma ile [10] çalışmasının bant hızı bazında karşılaştırması

Test Yüğü(g)	MAE $ \bar{x} $ SD s	Hata hedeflendiğinde, 297 ürün/dk için [10] çalışması ile başarı kıyaslaması		Yönetmelik dahilinde yüksek hız hedeflendiğinde başarı kıyaslaması	
		Bu çalışma	[10] çalışması	Bu çalışma	[10] çalışması
300g	$ \bar{x} $	<b>0.524</b>	1.09	0.681	0.07
	s	<b>0.415</b>	0.78	0.462	0.36
	hız	297 ürün/dk	297 ürün/dk	<b>318 ürün/dk</b>	261 ürün/dk
500g	$ \bar{x} $	0.398	<b>0.35</b>	1.062	0.35
	s	<b>0.307</b>	0.47	0.682	0.47
	hız	297 ürün/dk	297 ürün/dk	<b>349 ürün/dk</b>	297 ürün/dk
700g*	$ \bar{x} $	0.461	<b>0.23</b>	0.93	0.23
	s	<b>0.343</b>	0.68	0.687	0.68
	hız	297 ürün/dk	297 ürün/dk	<b>349 ürün/dk</b>	297 ürün/dk

Tablo 3: XIII Doğruluk sınıfı için izin verilebilecek maksimum ortalama hata  $\bar{x}$  ve hatanın standart sapma s değerleri

Test ağırlığı (g)	$\bar{x}$ (g)	s (g)
300	$\pm 1$	0.48
500	$\pm 2$	0.8
700	$\pm 2$	0.8

Yönetmelikte X kategori için ortalama hata ve standart sapma değerleri belirlenirken 1 kg'dan az test yükü için tartım sayısı 60 olarak belirtilmiştir. Tablo 2'de gösterilen bu çalışmanın sonuçları da test yükünün minimum 60 kez dinamik tartımından elde edilmiştir.

Tablo 4: X Kategorisinde 1 kilogramın altındaki ürünler için tartım sayısı

Kategori	Test yükü (g)	Tartım sayısı
X	$m \leq 1\text{kg}$	60

Yapılan testler sonucunda elde edilen veriler Tablo 2'de gösterilmiştir. Buna göre, 300g ağırlık için maksimum hız ürün bazında 318 ürün/dk, 500g ve 700g için maksimum hız ürün bazında 349 ürün/dk bulunmuştur. Tablo 2'te 3 farklı hızda elde edilen MAE ortalama mutlak hata  $|\bar{x}|$  ve SD hatanın standart sapma s değerleri verilmiştir. Sonuç olarak filtre adedinin azaltılması, sönümlemenin artırılması ile oluşan salınımlardan ağırlık verisine yönetmelikte verilen hata sınırları içerisinde ulaşılmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan otomatik ağırlık kontrol terazisi, Tüm Elektronik Mühendislik San. Ve Tic. Ltd. Şti. AR-GE Departmanı tarafından sağlanmıştır. Çalışma süresince verdikleri destekten dolayı kendilerine teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynakça

[1] Kamble, Vijay & shinde, Vasudev & Kittur, Jayant & Scholar, Research & Profesoor,. (2021). Overview of Load Cells.

- [2] P. Pietrzak, "Dynamic mass measurement using a discrete time-variant filter," 2010 IEEE 26-th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, 2010, pp. 000151-000155, doi: 10.1109/EEEL.2010.5661899.
- [3] T. Umamoto, Y. Sasamoto, M. Adachi and Y. Kagawa, "Improvement of accuracy for continuous mass measurement in checkweighers with an adaptive notch filter," 2008 SICE Annual Conference, 2008, pp. 1031-1035, doi: 10.1109/SICE.2008.4654807.
- [4] 2006. OIML R 51-1 Automatic catchweighing instruments.. [ebook] INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. Available at: <https://www.oiml.org/en/files/pdf\_r/r051-1-e06.pdf>.
- [5] A. Pawlowski, F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla and S. Dormido, "Adaptive Weighing System With Fast Nonstationary Filtering and Centrifugal Force Compensation," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 66, no. 12, pp. 3210-3217, Dec. 2017, doi: 10.1109/TIM.2017.2737838.
- [6] A. Pawlowski, F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla and S. Dormido, "Fast nonstationary filtering for adaptive weighing system," 2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ETFA.2015.7301534.
- [7] B. Allotta, P. D'Adamio, L. Marini, E. Meli, L. Pugi and A. Rindi, "A New Strategy for Dynamic Weighing in Motion of Railway Vehicles," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 6, pp. 3520-3533, Dec. 2015, doi: 10.1109/TITS.2015.2477104.
- [8] J. Xiao and P. Lv, "Application of Wavelet Transform in Weigh-in-Motion," 2009 International Workshop on Intelligent Systems and Applications, 2009, pp. 1-4, doi: 10.1109/IWISA.2009.5072754.
- [9] N. Chen, Q. Li, F. Li and Z. Jia, "A data processing algorithm based on vehicle weigh-in-motion systems," 2013 Ninth International Conference on Natural Computation (ICNC), 2013, pp. 227-231, doi: 10.1109/ICNC.2013.6817975.
- [10] İ. Kelemençe and M. E. Yalçın, "Dynamic Weighing Using a Time-variant Low Pass Filter," 2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2019, pp. 552-556, doi: 10.23919/ELECO47770.2019.8990494.