



**DİNAMİK AĞIRLIK ÖLÇÜMÜ İÇİN FİLTRE
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut YANIK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail YABANOVA

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Ocak, 2017

Bu tez çalışması 0674.STZ.2014 numaralı proje ile SAN-TEZ tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİNAMİK AĞIRLIK ÖLÇÜMÜ İÇİN FİLTRE TASARIMI

Mesut YANIK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail YABANOVA

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Ocak, 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Mesut YANIK tarafından hazırlanan “Dinamik Ağırlık Ölçümü İçin Filtre Tasarımı” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İsmail YABANOVA

Başkan : Doç. Dr. Sezai TAŞKIN İmza
Manisa Celal Bayar Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Prof. Dr. Hasana ÇİMEN İmza
Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail YABANOVA İmza
Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23/01/2017

Mesut YANIK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

DİNAMİK AĞIRLIK ÖLÇÜMÜ İÇİN FİLTRE TASARIMI

Mesut YANIK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail YABANOVA

Tartım işlemi endüstriyel üretim sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Dinamik tartım sistemleri kullanılarak ürünlerin tartılması endüstriyel üretimin hızını arttıran yöntemlerden birisidir. Dinamik tartım sistemlerinden alınan ağırlık sinyali gürültülü bir sinyal olduğu için ürünlerin ağırlıkları direkt bu sinyal kullanılarak belirlenememektedir. Bu nedenle ürünlerin ağırlıklarını belirlemek için ağırlık sinyalinin filtrelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada 12 adet yumurtanın dinamik tartım sistemi ile tartılması sonucu elde edilen gürültülü ağırlık ölçüm sinyalini filtrelemek için filtre tasarımı uygulanmıştır. Filtre tasarımı için adaptif LMS filtresi ve sabit pencere filtreleri (Blackman, Hamming, Von Hann, Rectangular) kullanılmıştır. Elde edilen filtre sonuçları grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Filtre sonuçlarına basit bir kararlılık işlemi uygulanarak yumurtaların kararlı ağırlık değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kararlılık işlemi sonunda elde edilen kararlı ağırlık değerleri hem birbirleri ile hem de 12 adet yumurtanın statik ağırlık değeri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapılan bu uygulama ile dinamik tartım sistemleri ve sinyal işleme alanındaki uygulamalarda ve araştırmalarda kullanılmak üzere MATLAB ortamında uygun FIR filtreler ve adaptif LMS filtresi ile filtreleme uygulaması gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

2017, xiii + 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dinamik Tartım Sistemi, Adaptif LMS Filtre, Pencere Filtresi, Sinyal Filtreleme

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

FILTER DESIGN FOR DYNAMIC WEIGHT MEASUREMENT

Mesut YANIK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. İsmail YABANOVA

Weighing is an indispensable part of industrial production systems. In this sense, dynamic weighing systems are used as a method of increasing the industrial production rate. Since the weight signal from the dynamic weighing systems is a noisy signal, weights of the products cannot be determined directly using this signal. Therefore, it is necessary to filter the weight signal in order to precisely determine the weights of the products. Within the scope of this study, a filter design practice was performed for cancellation of noise from the weight measurement signal which was used to weigh 12 eggs with dynamic weighing system. For filter design, adaptive LMS filter and fixed window filters (Blackman, Hamming, Von Hann, Rectangular) were used. The obtained filter results have been compared on a graphic. A simple stabilization procedure was applied to the filter results in order to obtain the stabilized weight values of the eggs. Additionally, the stable weight values obtained at the end of the stabilization process are compared with each other and with the static weight value of 12 eggs. With this application, it is aimed to perform filtering application with suitable FIR filters and adaptive LMS filter in MATLAB environment for use in dynamic weighing systems and signal processing applications and researches.

2017, xiii + 81 pages

Keywords: Dynamic Weighing System, Adaptive LMS Filter, Window Filter, Signal Filtering

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail YABANOVA'ya, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez alışması 0674.STZ.2014 kodlu ‘‘Hareket Halindeki rnler için Elektronik Tartım Sistemi Tasarımı’’ isimli proje kapsamında Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı SAN-TEZ programı tarafından desteklenmiştir.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve sevgili nişanlıma teşekkür ederim.

Mesut YANIK
AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
3. MATERYAL ve METOT	11
3.1 Tartım Cihazları	11
3.1.1 Eşit Kollu Terazisi.....	11
3.1.2 Dinamometre	12
3.1.3 Yük Hücresi (Load Cell)	12
3.2 Tartım Yöntemleri	13
3.2.1 Statik Tartım Yöntemi	13
3.2.2 Dinamik Tartım Yöntemi	13
3.2.2.1 Weigh-in-Motion	14
3.2.2.2 Checkweigher	15
3.3 Yumurta Tartımında Kullanılan Dinamik Tartım Sistemi.....	15
3.3.1 Mekanik Kısım	16
3.3.2 Elektronik Kısım	17
3.4 Dinamik Tartım Sisteminden Alınan Ağırlık Sinyali	18
3.5 Filtre Çeşitleri	19

3.5.1 Sayısal Filtreler	20
3.5.1.1 İdeal Sayısal Filtreler	21
3.5.1.2 İdeal Olmayan Sayısal Filtreler	22
3.5.2 Sayısal Filtrelerin Gerçekleştirilmesi	24
3.5.3 FIR Filtreler	25
3.5.4 Sabit Pencere Filtreleri	27
3.5.4.1 Rectangular Filtresi	29
3.5.4.2 Von Hann Filtresi.....	30
3.5.4.3 Hamming Filtresi	30
3.5.4.4 Blackman Filtresi	30
3.5.4.5 Sabit Pencere Filtrelerinin Spektral Karşılaştırılması.....	31
3.5.5 Adaptif Filtreler	32
3.5.5.1 Adaptif En Küçük Ortalama Kare (Least Mean Square) (LMS) Algoritması	35
3.6 Kararlılık İşlemi	40
3.7 Matrix Laboratory (Matris Laboratuvarı) (MATLAB) ile Filtre Tasarımı.....	41
3.7.1 MATLAB Kullanıcı Arayüzü.....	41
3.7.2 Dijital Sinyal İşleme Araç Kutusu (Digital Signal Processing (DSP) Toolbox)	42
3.7.3 MATLAB ile Sayısal Filtre Tasarımı.....	42
3.7.3.1 MATLAB ile Sabit Pencere Filtresi Tasarımı	46
3.7.3.2 MATLAB ile Adaptif LMS Filtresi Tasarımı.....	47
4. BULGULAR	50
4.1 Gürültülü Ağırlık Sinyallerine Adaptif LMS Filtresinin Uygulanması	50
4.2 Adaptif LMS Filtresi ve Sabit Pencere Filtrelerinin Karşılaştırılması	55
4.3 Adaptif LMS Filtresi ve Sabit Pencere Filtresi Uygulama Sonuçları.....	61

5. TARTIŞMA ve SONUÇ	63
6. KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	69
EKLER	70



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Δ	Ağırlıklar arasındaki değişim
∇	Gradyan Operatörü
μ	Adım Büyüklüğü
cm	Santimetre
d(k)	Beklenen Çıkış
Fc	Kesim Frekansı
dB	Desibel
e(k)	Hata Sinyali
Hz	Hertz
J(k)	Ortalama Kare Hatası
kg	Kilogram
km/s	Kilometre/Saat
M	Filtre Derecesi (Uzunluğu)
m	Kararlılık aralığındaki ölçüm sayısı
n	Kararlılık aralığı
p(k)	Çapraz korelasyon vektörü
R	Dalgalanma oranı
R(k)	Dal giriş korelasyon matrisi
S	Yanlob azalma oranı
sn	Saniye
T	Transpoz
t	Ölçüm süresi (sn)
w(k)	Filtre Ağırlık Matrisi
W_M	Analob genişliği
x(k)	Filtre Giriş Matrisi
y(k)	Filtre Çıkış Matrisi
Z^{-1}	Birim gecikme elemanı

Kısaltmalar

BP	Back Propagation
DSP	Digital Signal Processing
EMFC	Electromagnetic Force Compensation
FDATool	Filter Design & Analysis Toolbox
FIR	Finite Impulse Response
FPGA	Field Programmable Gate Array
GTHB	Gıda,Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı
IIR	Infinite Impulse Response
İUP	İşitsel Uyartım Potansiyeli
LMS	Least Mean Square
MATLAB	Matrix Laboratory
NLMS	Normalized Least Mean Square
NLMS	Normalised Least Mean Squares
PID	Proportional Integral Derivative
RBF	Radyal Basic Function
RLS	Recursive Least Squares
WIM	Weigh-in-Motion

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Elektronik Tartım Sisteminin Blok Diyagramı (Yabanova 2016).	17
Şekil 3.2 Dinamik tartım sisteminin akış diyagramı (Yabanova ve Yumurtacı 2016). .	17
Şekil 3.3 12 adet yumurtanın dinamik tartım sistemi ile tartılması sonucu oluşan ölçüm sinyali.	18
Şekil 3.4 İdeal a) Alçak geçiren b) Yüksek geçiren c) Bant geçiren d) Bant durdurucu filtre frekans cevabı (Kayran ve Ekşioğlu 2011).	22
Şekil 3.5 Alçak geçiren bir filtre için frekans tepkisi (Batık 2011).	23
Şekil 3.6 Filtreleme işlemleri blok diyagramları (Kara 2008).	24
Şekil 3.7 FIR Filtre yapısı (Haykin 1996).	25
Şekil 3.8 Farklı dereceler için alçak geçiren filtre genlik cevabı ve Gibbs' salınımları (Avcı 2008).	27
Şekil 3.9 Pencere fonksiyonunun işleyişi (Kara 2008).	28
Şekil 3.10 Pencere fonksiyonları genlik spektrumu (Avcı 2008).	28
Şekil 3.11 Dört ayrı sabit pencerinin $M=51$ için zaman bölgesi karşılaştırılması.	29
Şekil 3.12 Dört sabit pencere fonksiyonunun $M=51$ için normalize frekansı (Avcı 2008).	31
Şekil 3.13 Adaptif filtre blok diyagramı (Mengüç 2011).	35
Şekil 3.14 LMS tabanlı adaptif algoritma blok diyagramı (Haykin 1996).	36
Şekil 3.15 LMS algoritmasının temsili sinyal akış grafiğinin temsili (Haykin 1996). ...	38
Şekil 3.16 Kararlı ağırlık belirleme işlem şeması (Yabanova ve Yumurtacı 2016).	40
Şekil 3.17 Birinci tartım ağırlık ölçüm (olcum1) sinyali.	44

Şekil 3.18 İkinci tartım ağırlık ölçüm (olcum2) sinyali.	44
Şekil 3.19 Üçüncü tartım ağırlık ölçüm (ölçüm3) sinyali.	45
Şekil 3.20 Dördüncü tartım ağırlık ölçüm (olcum4) sinyali.	45
Şekil 3.21 Adaptif LMS filtresi akış diyagramı.	49
Şekil 4.1 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum1 için).	51
Şekil 4.2 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum1 için).	51
Şekil 4.3 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum2 için).	52
Şekil 4.4 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum2 için).	52
Şekil 4.5 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum3 için).	53
Şekil 4.6 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum3 için).	53
Şekil 4.7 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum4 için).	54
Şekil 4.8 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum4 için).	54
Şekil 4.9 Filtrelerin frekans cevabı.	56
Şekil 4.10 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS filtre ve Blackman çıkış sinyali.	57

Şekil 4.11 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS filtre ve Blackman çıkış sinyali.	57
Şekil 4.12 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS filtre ve Hamming çıkış sinyali.	58
Şekil 4.13 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS filtre ve Hamming çıkış sinyali.	58
Şekil 4.14 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS ve Von Hann filtresi çıkış sinyali.	59
Şekil 4.15 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS ve Von Hann filtresi çıkış sinyali.	59
Şekil 4.16 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS ve Rectangular filtresi çıkış sinyali.	60
Şekil 4.17 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS ve Rectangular filtresi çıkış sinyali.	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 12 adet yumurtanın statik ağırlığı.	18
Çizelge 3.2 $M=51$ için dört sabit pencere fonksiyonunun parametre değerleri (Avcı 2008).	32
Çizelge 3.3 Pencere uzunluğu $M=51$ ve $M=101$ için dört sabit pencere fonksiyonunun analog ve dalgalanma oranı değişimi (Avcı 2008).	32
Çizelge 4.1 Adaptif LMS filtresinin 4 farklı ölçüm sinyali için belirlediği filtre ağırlık katsayıları.	50
Çizelge 4.2 Statik ağırlık ve kararlılık işlemi ile belirlenen kararlı ağırlık değerleri.	55
Çizelge 4.3 Filtreleme yöntemlerinin belirlediği ağırlık katsayı değerleri.	56
Çizelge 4.4 Yumurtaların statik ağırlıkları ve kararlılık işlemi ile belirlenen kararlı ağırlık değerleri.	61

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Eşit kollu terazi (İnt.Kyn.1).	11
Resim 3.2 Dinamometre (İnt.Kyn.2).....	12
Resim 3.3 LPS tipi yük hücresi (İnt.Kyn.3).....	13
Resim 3.4 Weigh-in-motion tartım sistemi (İnt.Kyn.4).....	14
Resim 3.5 Checkweigher tartım sistemi (İnt. Kyn.5).....	15
Resim 3.6 Dinamik tartım sistemi (Yabanova 2016).....	16
Resim 3.7 MATLAB kullanıcı arayüzü.	42
Resim 3.8 Filtre dizayn ve analizi araç kutusu arayüzü.	46

1. GİRİŞ

Tartım işlemi modern endüstriyel sistemlerin vazgeçilmez bir parçasıdır. Tartım işleminin hızlı, hassas ve ekonomik olması gerekmektedir. Tartım işlemi sırasında ürün durağan halde ise statik tartım, belli bir hıza sahipse yani hareket halinde ise buna dinamik tartım denir.

Statik tartım, tartımı yapılacak olan cisimlerin durağan halde iken tartılması işlemine denir. Ancak seri üretim yapan sistemlerde statik tartım yöntemi tartım süresini artırarak birim zamanda tartılan ürün sayısını azaltmaktadır. Bu nedenle seri üretim yapan sistemlerde dinamik tartım yöntemi kullanılmaktadır. Dinamik tartım, tartımı yapılacak olan cisimlerin bir doğruyu boyunca hareket halinde iken tartılması işlemine denir. Endüstriyel üretim sistemlerinde dinamik tartım yönteminin kullanılması sayesinde tartım işlemi esnasında ürünler durmak zorunda olmadığı için birim zamanda tartılan ürün sayısında artış meydana gelmektedir. Bu sayede hem zamandan hem de ekonomik açıdan tasarruf sağlanmaktadır (Niedźwiecki and Wasilewski 1996).

Dinamik tartım işlemi için kullanılan dinamik tartım sistemleri gıda, eczacılık, tıp, kimya, ulaşım, sanayi vb. olmak üzere birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Yumurtalar ağırlıklarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma işleminin GTHB (Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı)'nin 29211 sayılı Resmi Gazete 'de yayınladığı Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği'nde belirtilen şartlara uygun olarak yapılması gerekmektedir (2014). Bu sınıflandırma işlemini için Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı SAN-TEZ programı tarafından desteklenen 0674.STZ.2014 kodlu "Hareket Halindeki Ürünler için Elektronik Tartım Sistemi Tasarımı" isimli proje kapsamında endüstriyel üretim sistemlerinde yumurta gibi yuvarlak forma sahip cisimlerin hareket halinde iken ağırlıklarını tartabilen bir dinamik tartım sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan dinamik tartım sistemi endüstriyel yumurta üretim sistemlerinde yumurtaların hareket halinde iken ağırlıklarını tartabilmek için kullanılmaktadır.

Tasarlanan sistemde yumurtalar hareketli bir mekanizma tarafından ağırlık tartım ünitesine getirilmekte ve burada hareket halindeyken ağırlıkları tartılmaktadır. Ağırlık

tartım işlemi yük hücreleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Ağırlık kuvveti yük hücreleri tarafından elektriksel sinyale dönüştürülmektedir. Dinamik tartım sistemi için tasarlanmış olan elektronik kart üzerindeki devre elemanları sayesinde yük hücresinden alınan analog ağırlık sinyali yükseltip dijitale çevrilerek seri haberleşme birimi üzerinden okunmaktadır. Proje kapsamında tasarlanmış olan dinamik tartım sistemi Bölüm 3.3'te ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

0674.STZ.2014 kodlu SAN-TEZ projesi kapsamında tasarlanan dinamik tartım sisteminde yumurtalar hareket halinde tartıldığı için tartım işlemi hızlı ve ekonomik olmaktadır. Dinamik tartım sisteminin sahip olduğu bu avantajların yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Dinamik tartım sisteminin sahip olduğu en önemli dezavantaj, tartılacak olan ürünlerin ve tartım sisteminin hareketli olmasından dolayı meydana gelen düşük frekanslı gürültü adı verilen titreşimlerin yük hücresinden alınan ağırlık ölçüm sinyali üzerine eklenmesiyle ölçüm sinyalinde bozulmalar meydana getirerek tartılan ürünün ağırlık değerinin doğru olarak elde edilememesidir. Tartılan ürünün ağırlık değerini doğru olarak elde edilebilmek için ağırlık sinyalindeki gürültülerin filtreleme yöntemleri kullanılarak filtrelenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında dinamik tartım sistemlerinden alınan gürültülü ağırlık sinyallerini filtreleyebilmek için filtre tasarım uygulaması gerçekleştirilmektedir. Sinyal filtreleme uygulaması için sayısal sinyal filtreleme yöntemlerinden adaptif least mean squares (en küçük ortalama kareler) (LMS) filtresi ve sabit pencere (Hamming, Blackman, Von Hann, Rectangular) filtresi kullanılmaktadır. Sinyal filtreleme uygulamasında kullanılan gürültülü ağırlık ölçüm sinyali proje kapsamında tasarlanmış olan dinamik tartım sistemi kullanılarak 12 adet yumurtanın tartılması sonu elde edilmektedir.

Bu tez çalışması 4 ana başlık altında toplanmaktadır.

Literatür bilgileri bölümünde dinamik tartım sistemleri ile ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmalar ve dinamik tartım sistemlerinde kullanılan sinyal işleme yöntemleri incelenerek genel hatlarıyla anlatılmaktadır. Ayrıca bu bölümde adaptif filtrelerle ilgili çalışmalardan da bahsedilmektedir.

Materyal ve metot bölümünde ağırlık tartım işleminin tarihçesine ve cisimlerin ağırlıklarının tartılabilmek için kullanılan tartım cihazları anlatılmaktadır. Tartım işleminde kullanılan statik ve dinamik tartım yöntemi anlatılmaktadır. Dinamik tartım yöntemi ile cisimleri tartmak için kullanılan dinamik tartım sistemlerinin çeşitleri ve özellikleri anlatılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan gürültülü ağırlık sinyalinin alındığı yumurtaların ağırlıklarını hareket halinde iken tartılabilmek için Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı SAN-TEZ programı kapsamında desteklenen 0674.STZ.2014 kodlu “Hareket Halindeki Ürünler için Elektronik Tartım Sistemi Tasarımı” isimli proje kapsamında tasarlanmış olan dinamik tartım sisteminin özellikleri anlatılmaktadır. Proje kapsamında tasarlanan dinamik tartım sistemi ile 12 adet yumurtanın tartılması sonucu elde edilen gürültülü ağırlık ölçüm sinyalinin özellikleri anlatılmaktadır. Dinamik tartım sisteminden alınan ağırlık ölçüm sinyalini filtreleyebilmek için kullanılan sinyal filtreleme işlemi ve sinyal filtreleme uygulamasında kullanılan sayısal sinyal filtreleme işlemi anlatılmaktadır. Dinamik tartım sisteminden alınan ağırlık sinyalini filtreleme uygulamasında kullanılan sabit pencere filtrelerinin ve adaptif LMS filtresinin yapısı genel olarak anlatılmaktadır. Filtreleme işlemi sonucu elde edilen sinyalden tartım süresinde tartılan ürünlerin ağırlığının kararlı olduğu ağırlık değerini belirlemek için uygulanan kararlılık işlemi anlatılmaktadır. Filtre tasarımı için kullanılan MATLAB programı ve DSP araç kutusu genel hatları ile tanıtılmaktadır. MATLAB ortamında sabit pencere filtreleri ve adaptif LMS filtresinin tasarımı, uygulaması, simülasyonu ve oluşan filtre sonuçlarına uygulanan kararlılık işlemi anlatılmaktadır.

Bulgular bölümünde dinamik yumurta tartım sisteminden alınan gürültülü ağırlık sinyalinin MATLAB ortamında adaptif LMS filtresi ve sabit pencere filtreleri kullanılarak filtrelenmesi sonucu oluşan filtre sonuçlarına ve filtre sonuçlarına kararlılık işlemi uygulanması sonucu elde edilen kararlı ağırlık değerlerine yer verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre filtrelerin performansları karşılaştırılmaktadır.

Tartışma ve sonuç bölümünde filtrelerin performansları birbirleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca ileride yapılacak olan dinamik tartım sistemlerinde sinyal filtreleme uygulamaları için öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Modern endüstriyel sistemlerde tartım işleminin önemli bir rolü vardır. Seri üretim sistemlerinde hızlı ve hassas tartım işlemine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Günümüzde artan nüfus ve yaşam standartlarına bağlı olarak insanların ürün ve hizmet taleplerinde de artış meydana gelmektedir. Artan bu talepleri karşılayabilmek için de üretimin hızlı ve ekonomik yapılması gerekmektedir. Statik tartımın yavaş ve kapasitesinin düşük olması ve bazı pratik uygulamalar için uygun olmaması nedeniyle nesnelere hareket halinde iken tartım daha hızlı ve ekonomik olabilmektedir (Niedźwiecki and Wasilewski 1996).

Dinamik tartım sistemleri kimya, tıp, eczacılık, gıda, ulaşım vb. olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle dinamik tartım sistemleri birbirlerinden farklı yapı ve özelliklere sahiptir. Ancak genel hatları ile incelendiği zaman dinamik tartım sistemleri checkweigher (otomatik kontrol terazisi) ve WIM (weigh-in-motion) (hareketli ağırlık ölçüm) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Checkweigher genel olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılırken WIM ise ulaşım sektöründe araçların tartımı için kullanılmaktadır.

Literatürde WIM sistemi kullanılarak yapılan çalışmalar ve kullanılan sinyal filtreleme yöntemleri;

WIM tartım sistemleri araçların ağırlıklarını hareket halinde iken ölçen sistemlerdir. WIM sistemlerinin en temel karakteristik özellikleri yüksek hassasiyet, zaman tasarrufu ve trafik akışını bozmadan tartım işlemini yapabilmesidir (Rui *et al.* 2010). Araçların tartım istasyonlarındaki bekleme süresini azaltarak hem sürücüler hem de tartım istasyonları için önemli derecede ekonomik kazanç sağlamaktadır (Xiao and Lv 2009).

Zhang vd. (1990), yaptıkları çalışmada tren vagonlarının ağırlıklarını hareket halinde ölçebilecek bir tartım sistemi üzerinde çalışmışlardır. Bu sistem sayesinde tartım işlemini hızlı ve ekonomik olarak gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Meixedo vd. (2015), yaptıkları çalışmada hareketli tartım için tasarladıkları sistemi tren rayları üzerine

yerleştirmişlerdir. Bu sistem sayesinde trenin hareketi sırasında raya uyguladığı ağırlık kuvvetini ölçmüşlerdir. Trenlerin geçişi sırasında raylara binen bu ağırlık kuvveti bir süre sonra raylarda deformasyona veya kırılmalara neden olur. Rayların bu ağırlık kuvveti altında ne kadar süre dayanabileceğini hesaplayarak bu süreden önce rayların bakım ve yenilenme işleminin yapılması için bir alarm sistemi kurarak bakım maliyetlerini azaltmayı ve güvenli bir ulaşım sağlamayı amaçlamışlardır.

Wang vd. (2004), yaptıkları çalışmada karayollarında araç tartım işleminin hızlı ve hassas olabilmesi için WIM sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemde araç yol üzerinde hareket halinde iken ağırlığı ölçülmektedir. Yol üzerinde sürücünün ve kontrol istasyonunda bulunan görevlinin görebileceği bir ekrana aracın ağırlık değeri yansıtılmaktadır. Araç ağırlığı belirlenen limitin altında ise yola devam etmesine izin verilmekte eğer belirlenen limitin üzerinde ise yola devam etmesine izin verilmemektedir.

Gajda vd. (2015), hareketli tartım sisteminin hassasiyetinin ağırlık sensör sayısı artırılarak artacağını öne sürmüşler ve bunun için hareketli tartım sistemine 16 adet ağırlık ölçüm sensörü yerleştirerek bir sistem tasarlamışlardır. Tasarlanan sistemi Polonya'da bir karayoluna yerleştirip sistemi 6 yıl boyunca gözlemlemişlerdir. Bu gözlem sonuçlarına göre ortalama hızı 80 km/s olan araçların ağırlığı sistem tarafından tartılarak en fazla %4'lük bir hata ile gerçek değere yakın sonuçlar elde edilmektedir. Sistemi oluşturan malzemelerin özelliklerine bağlı olarak sistemin 4 yıl tam performanslı çalıştığını gözlemlemişler ayrıca sistemin sık sık kalibrasyon yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Xiao vd. (2009), yaptıkları çalışmada otobanlarda araçların yüksek hızlarından, tartım sistemlerinden ve çevre koşullarından dolayı meydana gelen yüksek frekanslı gürültülerin düşük frekanslı ölçüm sinyalleri ile birleşerek hızlı ve hassas ölçüm yapmayı engellediğini belirtmişlerdir. Bu yüksek frekanstaki gürültüleri yok etmek için hem zaman alanında hem de frekans aralığında çoklu analiz yapabilme yeteneğine sahip olan dalgacık dönüşümü metodunu kullanmışlardır. Dinamik tartım için ARMA model WIM sistemi kullanmışlardır.

Ono (2003), yaptığı çalışmada karayollarında hareket halindeki araçların tartımı için dinamik tartım sistemi tasarlamıştır. Tasarladığı sistem sayesinde hareket halindeki araçların dingil ağırlıklarını ölçmeyi başarmıştır. Sistem bir platform ve ağırlık ölçmek için kullanılan sensörlerden oluşmaktadır. Platform genişliği yaklaşık olarak bir tekerleğin çapına eşit olacak şekilde 75 cm olarak belirlenmiş bu sayede tartım işleminin sadece bir dingil ağırlığı için yapılması sağlanmış aynı anda iki dingilin ağırlığının ölçülmesi önlenmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarından doğru değerlerin elde edilmesi için grey estimation (gri tahmin) modeli kullanılmıştır.

Chen vd. (2013), dinamik tartım sistemlerinde yapılan çalışmaların donanımsal olarak yapıldığından daha hassas ve hızlı sonuçlar elde edebilmek için yazılım kısmı üzerinde de çalışmalar yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bunun için yapay sinir ağı yöntemlerinden back-propagation (geri yayılım) (BP) yöntemini kullanmışlardır. Bu algoritma etkin kendi kendine öğrenme, öz adaptasyon ve genelleme yeteneği sayesinde yaygın olarak her alanda kullanılmaktadır. BP algoritması hareketli tartım sisteminin doğruluğunu arttırmak için kullanılmıştır. Yapay sinir ağını 20 adet örnek ile eğitmişlerdir. BP algoritması öğrenme hızını ve ölçüm doğruluğunu arttırarak %2 hata oranı ile ölçüm sonuçları elde etmiştir.

Zha vd. (2010), WIM sistemlerinde verilerin hızlı ve hassas elde edilmesi için Elman öğrenme algoritmasını kullanarak yapay sinir ağı oluşturmuşlardır. Kullanılan algoritmanın yakınsama adım sayısını geri yayılma ve radial basis function (radyal tabanlı fonksiyon) (RBF) algoritmaları ile kıyaslamışlardır. Geri yayılma algoritmasının 556, radyal tabanlı fonksiyonun 318 ve elman algoritmasının ise 164 öğrenme adımına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sonuçlara göre elman algoritmasının diğer algoritmalara göre daha hızlı, güçlü bir genelleme kabiliyetine ve oldukça iyi bir dinamik karaktere sahip olduğu görülmüştür. Ancak elman algoritmasının kararlılık yönünden zayıf olduğunu belirtmişlerdir.

Rui vd. (2010), araçların dinamik tartım istasyonu üzerinde çok kısa süre kaldığını belirtmişlerdir. Ölçüm sonuçlarına araç lastiklerinden, çevresel etkilerden ve ölçüm sisteminden kaynaklanan gürültüler eklendiğini ve bu etkilerin ortadan kaldırılabilmesi

için kendi kendine uyarlanan adaptif LMS öğrenme algoritması tabanlı yapay sinir ağı oluşturarak hassas ve hızlı ölçüm sonuçları elde etmeye çalışmışlardır. Uygulama için oluşturulan WIM sistemi ile boş ağırlığı 10 ton dolu ağırlığı 15 ton olan kamyonun ağırlığı rastgele hava koşulları altında 20km/s ve 30km/s hızlarında ayrı ayrı ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre hız arttıkça hata oranının LMS öğrenme tabanlı yapay sinir ağına çok küçük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Literatürde checkweigher sistemi kullanılarak yapılan çalışmalar ve kullanılan sinyal filtreleme yöntemleri;

Checkweigher, belirli bir hat boyunca ilerleyen bir ürünün ağırlığını tartmak için kullanılan dinamik tartım sistemidir. Tartım işlemini hızlı ve ekonomik olarak yapabilmesinden dolayı endüstriyel üretim sistemlerinde çok sık kullanılmaktadır. Yabanova vd. (2016), hareket halindeki yuvarlak forma sahip (portakal, yumurta, elma vb.) nesnelerin tartılabilmesi için elektromekanik bir sistem tasarlamışlardır. Bu sistemde dinamik tartım işlemi yapılırken ağırlık sinyalinde meydana gelen bozulmaları ortadan kaldırabilmek için ağırlık sinyalini dalgacık dönüşümü metodunu kullanarak filtrelemişlerdir.

Harb (2013), yaptığı çalışmada dinamik tartım yapabilmek için checkweigher kullanmıştır. Tartım işlemi esnasında sinyallerde meydana gelen bozucu etkileri filtrelemek için kalman filtreleme yöntemini kullanmıştır. Filtreyi tasarlamak için öncelikle checkweigher ve yük hücrelerinin matematiksel modelini çıkartarak bu modele göre kalman filtre katsayılarını belirlemiştir. Daha sonra kalman filtresini kullanarak ağırlık sinyalini filtrelemeyi başarmıştır.

Kasap (2008), yaptığı çalışmada dinamik tartım işleminde ağırlık sinyaline eklenen gürültülerin ortadan kaldırılarak daha doğru ölçüm sonuçları elde edebilmek için matematiksel bir model sunmaktadır. Matematiksel modeli oluşturmak için dinamik tartım sistemleri gibi gürültülü ortamlarda en doğru sonucu veren kalman filtre yöntemini kullanılmaktadır. Matematiksel model sayesinde kalman filtre katsayıları belirlenerek gürültülü sinyale uygulamaktadır. Oluşturulan sistem, belirleme modu ve operasyonel

mod olmak üzere iki farklı çalışma moduna sahiptir. Eğer sistem yeni çalışmışsa belirleme modu devreye alınarak kalman filtre katsayıları belirlenmektedir. Operasyonel modda ise konveyör bandının hızı ayarlanarak değişen koşullara uygun olarak dinamik tartım işlemi gerçekleştirilmektedir.

Dinamik tartım sistemleri doğrusal olmayan ancak doğrusal kabul edilen sistemlerdir. Bu sistemlere klasik filtreleme yöntemleri uygulandığında doğru sonuçlar elde edilememektedir. Halimic vd. (1995), yaptıkları çalışmada hareketli tartım sistemlerine rampa, sinüs ve kosinüs fonksiyonları uygulayarak elde ettikleri sonuçlara göre sistemin matematiksel modelini çıkartmışlardır. Bu modele uygun olarak kalman filtre katsayılarını belirleyerek gürültülü sinyale kalman filtresini uygulamışlardır. Filtre sonuçlarının gerçek değerlere yakın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Halimic vd. (2008), yaptıkları çalışmada fuzzy logic (bulanık mantık) ile artificial neural network (yapay sinir ağları)'ü birleştirmişlerdir. Dinamik tartım sistemi tarafından ölçülen gürültülü ağırlık sinyalleri bu iki yöntemin birleştirilmesi ile filtrelemişlerdir. Bu sayede daha hızlı ve hassas ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Yamazaki vd. (2015), yaptıkları çalışmada dinamik tartım sistemlerinde her bir ürünün ağırlığı sırayla tartıldığı için tartım süresinin çok kısa olduğundan bahsetmişlerdir. Gelecekte dakika başına 300 adet ürünün tartılması gerekeceğini öne sürmüşler ve bu tartımı yapabilmek için electromagnetic force compensation (elektromanyetik kuvvet dengeleme) (EMFC) yöntemi kullanarak dinamik tartım sistemi tasarlamışlardır. Proportional integral and derivative (oransal integral türevsel denetleyici) (PID) kontrolcü tasarlayıp PID parametrelerini Nyquist diyagram kullanarak belirlemişlerdir. Daha sonra bu parametrelere göre kontrol sistemini tasarlayıp sisteme uygulayarak hızlı ve hassas sonuçlar elde etmişlerdir.

Xiaoyan vd. (2008), dinamik tartım sistemlerinde hız arttıkça hassasiyetin azaldığını belirtmişlerdir. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemlerinin birleştirilmesi ile bir kontrolcü kartı tasarlamışlardır. İki farklı yöntemin birleştirilmesi ile yüksek hızlardaki hassasiyet sorununun önüne geçmeye çalışmışlardır. Dinamik tartım sistemine bu

kontrolcü kartı entegre etmişler ve 50 kg'lık bir ürünün tartım süresinin 6,75 sn kısaltıldığını ve hassasiyetin %4 olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde adaptif filtre kullanılarak yapılan çalışmalar;

Adaptif filtre sayısal sinyal işleme tekniklerinden biridir. Adaptif filtreler değişen çevre koşullarına göre kendini uyarlayabilen bu sayede en doğru sonuçları elde eden bir filtredir. Adaptif filtre oluşturulurken bir başarımlık kriteri belirlenir ve bu kritere uygun olarak filtrenin ağırlık katsayısı belirlenir. Bu özellikleri sayesinde iletişim, ses tanıma, kontrol sistemleri, radar ve deprem bilimi vb. geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Adaptif filtreler üç temel elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar toplayıcı, çarpıcı ve sayısal filtre yapısıdır. Klasik sinyal işleme yöntemlerinden farklı bir çalışma prensibi bulunmaktadır. Adaptif filtreler değişen çevre koşullarına bağlı olarak filtre ağırlık katsayılarını değiştirerek filtreleme işlemini gerçekleştirmektedir (Kavsaoglu 2005).

Önder (2007), işitsel uyartım potansiyeli (İUP) sinyallerini inceleyerek birçok klinik uygulama ve beyin ile ilgili bilgilerin alınmasının mümkün olduğunu belirtmiştir. İUP sinyalleri elde edilirken ölçüm yapılan canlı, çevresel koşullar, ölçüm cihazının hassasiyeti vb. gibi birçok etkenden dolayı sinyalde bozulmalar meydana geldiğini belirtmiştir. Bu bozulmaları ortadan kaldırmak için sinyaller adaptif filtreleme yöntemi kullanılarak filtrelenmiştir.

Mengüç (2011), doğrusal adaptif FIR filtrelerin gürültüye karşı bağımsızlığı yüksek, giriş istatistiklerinden bağımsız ve her zaman küresel minimum çözümüne gidecek şekilde tasarlamak için Lyapunov Kararlılık Teorisi'ni kullanılmıştır. Bu sayede filtre daha hassas ve hızlı sonuçlar vererek kullanışlı hale gelmektedir.

Ertürk vd. (2001), video çekimlerinde gerek kameraman gerekse hareket halinde çekim yapılmasından dolayı video görüntüsünde kaymalar meydana geldiğini bu durumun hem görüntü kalitesini bozduğunu hem de görüntü içerisinden analiz yaparak bilgi elde edilmesini zorlaştırdığını belirtmişlerdir. Kaymaların neden olduğu titreşimleri ortadan

kaldırabilmek için adaptif kalman filtresi kullanılarak görüntü kararlılığı gerçekleştirmişlerdir. Bu sayede görüntü analizinin daha hassas olarak yapılmasına olanak sağlamışlardır.

Kavsaoğlu (2005), yaptığı çalışmada ses sinyallerindeki yankının iptali için bir sistem tasarlamıştır. Ses sinyallerini gerçek zamanda işleyebilmek için bu iş için tasarlanmış olan digital signal processing (dijital sinyal işleme) (DSP) kart modellerinden TMS320C6713 kullanmıştır. Ses sinyallerindeki akustik yankı iptali için LMS adaptasyon algoritması yöntemi kullanılarak FIR filtre katsayılarını belirlemiştir.

Sevim (2007), çalışmasında sinyal filtreleme için kullanılacak olan adaptasyon algoritmalarının problem için uygun olabileceği ancak bu algoritmayı gerçekleştirebilecek donanımı gerçekleştirmenin mümkün olmayabileceğini dile getirmiştir. Bunun için donanım uyarlaması yönünden avantajları olan adaptif filtreleme yöntemlerinden LMS ve normalized least mean squares (normalize edilmiş en küçük kareler) (NLMS) adaptasyon algoritmasını kullanmıştır. Gerçek zamanlı gürültü iptali için field programmable gate array (programlanabilir kapı dizini) (FPGA) kullanmıştır. LMS adaptasyon algoritmasını FPGA uygun olarak düzenlemiş ve gerçek zamanlı olarak gürültülü sinyalleri filtrelemeyi başarmıştır

3. MATERYAL ve METOT

Tartım işlemi hayatın vazgeçilmez bir parçasıdır. Tartım işlemi M.Ö. 5000’li yıllardan itibaren insanların etrafındaki nesnelerin ağırlıklarını öğrenme isteği ve ihtiyacı üzerine ortaya çıkmıştır. Geçmişten günümüze kadar tartılan ürünlerde ve tartma işleminde meydana gelen değişimlere bağlı olarak farklı tartım yöntemleri ve cihazları kullanılmaktadır.

3.1 Tartım Cihazları

Geçmişten günümüze kadar kullanılan en temel ağırlık ölçüm cihazları eşit kollu terazi, dinamometre ve yük hücreleridir.

3.1.1 Eşit Kollu Terazi

En eski ve hala kullanılan tartım cihazıdır. Denge prensibine göre çalışmaktadır. Resim 3.1’de görüldüğü gibi iki tane kefesini bulunmaktadır. Kefenin birine bilinen bir ağırlık diğerine bilinmeyen bir ağırlık konularak denge prensibine göre ağırlığı bilinen bir cisim ile ağırlığı bilinmeyen bir cismin ağırlığını ölçebilen mekanizmalardır.



Resim 3.1 Eşit kollu terazi (İnt.Kyn.1).

3.1.2 Dinamometre

Resim 3.2’de görüldüğü gibi bir yay ve ölçekten oluşan mekanizmalardır. Yayların şekil değiştirmesi prensibine göre çalışmaktadır. Yay üzerine bir kuvvet etkiğinde şeklinde bir miktar değişim meydana gelmektedir. Resim 3.1’de görülen kancaya bağlanan cisim yayı uzatmaktadır. Bu uzama miktarının ağırlık cinsinden karşılığı dinamometre üzerinde bulunan bu ölçek kullanılarak belirlenmektedir.



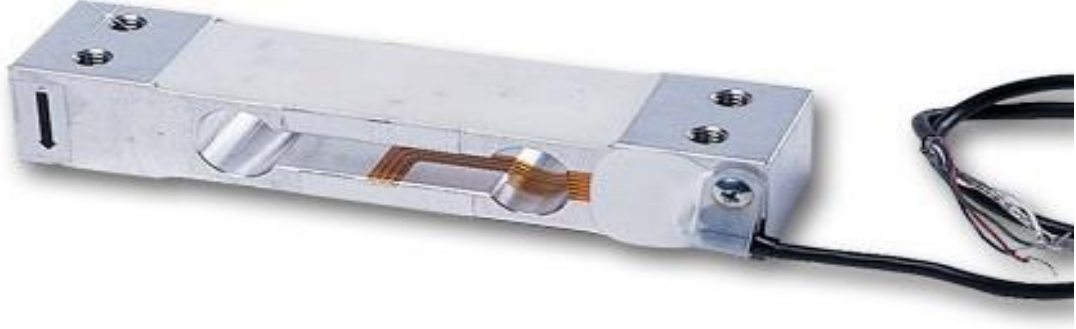
Resim 3.2 Dinamometre (İnt.Kyn.2).

3.1.3 Yük Hücresi (Load Cell)

Üzerine kuvvet uygulandığında şeklinde değişim meydana gelerek iç direnci değişen ve bu değişimi elektriksel sinyal olarak ölçen ağırlık tartım cihazlarıdır. Yük hücresi üzerine etki eden kuvveti elektriksel sinyale dönüştürebilen bir dönüştürücü olarak düşünülebilir.

Yük hücreleri günümüzde ağırlık ölçüm uygulamalarında özellikle de endüstriyel tartım sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle çok farklı yapı ve özellikte üretilmektedirler. Resim 3.3’te dinamik tartım sisteminde, dozajlama/dolum sistemlerinde, paketleme makinalarında ve elektronik terazilerde kullanılan low profile

single-point (düşük profilli tek noktalı) (LPS) tipi yük hücresi görülmektedir.



Resim 3.3 LPS tipi yük hücresi (İnt.Kyn.3).

3.2 Tartım Yöntemleri

İnsanoğlu geçmişten günümüze kadar tartım işlemi için farklı yöntemler kullanmıştır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak kullanılan tartım yöntemlerinde değişim ve gelişim meydana gelmiştir. Tartım yöntemleri tartım işleminin uygulanış biçimine göre statik tartım ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.2.1 Statik Tartım Yöntemi

En eski ve gündelik hayatta hala kullanılmakta olan tartım yöntemidir. Tartılacak olan cisimlerin durağan halde iken tartım için özel olarak tasarlanmış olan cihazlar ile tartılması işlemine statik tartım denir. Eşit kollu terazi, dinamometre, kantar vb. statik tartım işlemi için kullanılan cihazlardır. Statik tartım yöntemi günlük hayatta çok sık kullanılmaktadır. Ancak statik tartım yöntemi seri üretim yapan sistemlerde hızlı ve ekonomik olmadığı için kullanılmamaktadır.

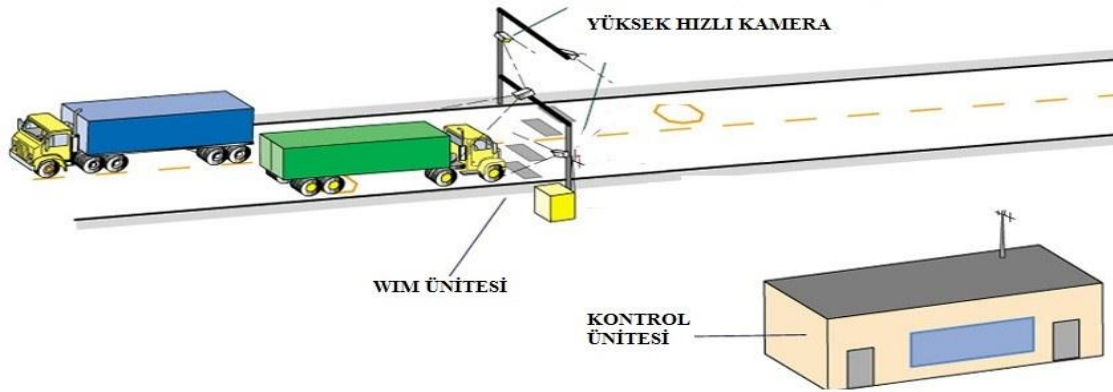
3.2.2 Dinamik Tartım Yöntemi

Tartılacak olan cisimlerin bir doğrultu boyunca hareket halinde iken tartılması için özel olarak tasarlanmış olan cihazlar ile tartılması işlemine dinamik tartım denir. Dinamik tartım yönteminde ürünler hareket halinde iken tartıldığı için ve birim zamanda tartılan ürün sayısında artış meydana geldiği için hızlı ve ekonomik bir tartım yöntemidir.

Dinamik tartım işlemi için özel olarak tasarlanmış sistemlere dinamik tartım sistemleri denir. Dinamik tartım sistemleri seri üretim yapan sistemlerde (gıda, eczacılık, tıp, kimya vb.) ve ulaşım sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Dinamik tartım sistemleri birçok sektörde yaygın olarak kullanılmasından dolayı farklı yapı ve formlarda üretilmektedir. Genel olarak dinamik tartım sistemleri checkweigher (otomatik kontrol terazisi) ve weigh-in-motion (hareketli ağırlık ölçüm) (WIM) sistemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.2.2.1 Weigh-in-Motion

Ulaşım sektöründe belli durumlar için araçların ağırlıklarının tartılması gerekmektedir. Ulaşım sektöründe araçların ağırlıklarını hareket halinde iken ölçebilecek şekilde tasarlanan dinamik tartım sistemlerine WIM sistemi denir. Bu sistemlerde ağırlık ölçümü için farklı uzunluklarda uygulanabilen yük hücreleri kullanılmaktadır. Kullanılan yük hücreleri ölçüm yapılacak olan yol ve araç şartlarına uygun olarak seçilmektedir. Bazı sistemlerde ek olarak yüksek hızlı kameralar kullanılarak aracın görüntüsü alınmakta bu görüntüye bağlı olarak araç özelliği belirlenmektedir (Resim 3.4).



Resim 3.4 Weigh-in-motion tartım sistemi (İnt.Kyn.4).

Yük hücrelerinden gelen ağırlık sinyalleri kontrol ünitesine yollanmaktadır. Kontrol sistemi ağırlık sinyallerini araç özelliğine göre izin verilen maksimum ağırlık ile karşılaştırmaktadır. Aracın ağırlığı izin verilen maksimum ağırlığa eşit veya altında ise aracın geçmesine izin verilmekte aksi halde geçişine izin verilmemektedir.

3.2.2.2 Checkweigher

Endüstriyel üretim sistemlerinde bir hat boyunca ilerleyen ürünlerin (koli, kutu, torba vb.) hareket halinde iken ağırlıklarını ölçebilecek şekilde tasarlanan dinamik tartım sistemlerine denir. Checkweigher sadece ağırlık tartımı işlemi için değil aynı zamanda sınıflandırma ve ayırma işlemlerinde de kullanılmaktadır. Resim 3.5'te checkweigher sistemi gösterilmektedir.

Temel olarak bir checkweigher giriş ünitesi, tartım ünitesi, çıkış ünitesi, ayırma ünitesi ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Ürünlerin şekli, büyüklüğü, ağırlığı, istenilen ölçüm toleransları, taşıyıcı konveyör hızı gibi faktörler checkweigher yapısını direkt olarak etkilemektedir.



Resim 3.5 Checkweigher tartım sistemi (İnt. Kyn.5).

Bu tez çalışmasında kullanılan gürültülü ağırlık ölçüm sinyalleri yumurta gibi yuvarlak forma sahip ürünlerin tartımı için tasarlanmış olan checkweigher sistemi tarafından 12 adet yumurtanın tartılması sonucu elde edilmiştir.

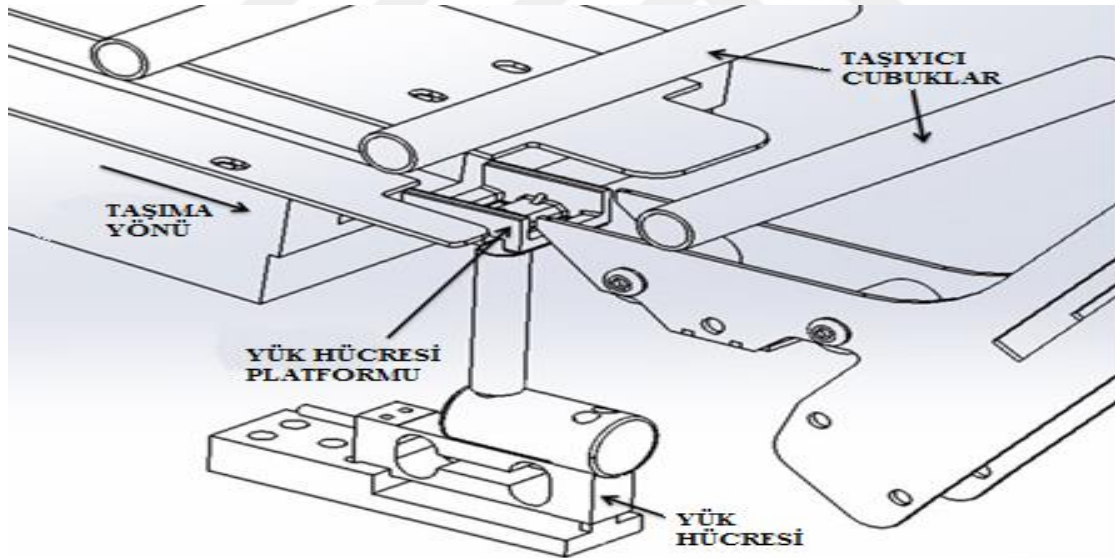
3.3 Yumurta Tartımında Kullanılan Dinamik Tartım Sistemi

Endüstriyel üretim sistemlerinde yumurtalar ağırlıklarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma işlemi GTHB (Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı)'nin 29211 sayılı Resmi Gazete'de yayınladığı Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği'nde belirtilen şartlara uygun olarak yapılması gerekmektedir (Anonim 2014).

Yumurtaların hareket halinde iken tartılabilmesi için Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı SAN-TEZ programı kapsamında desteklenen 0674.STZ.2014 kodlu “Hareket Halindeki Ürünler için Elektronik Tartım Sistemi Tasarımı” isimli proje kapsamında dinamik tartım sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan dinamik tartım sistemi ile yumurtaların ağırlıkları hareket halinde ölçebilmektedir. Dinamik tartım sistemi mekanik kısım ve elektronik kısım olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir.

3.3.1 Mekanik Kısım

Mekanik kısım yumurta gibi yuvarlak forma sahip ürünlerin hareket halinde iken tartımını gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Resim 3.6’da da görüldüğü gibi dinamik tartım sistemi taşıyıcı çubuklar, yük hücreleri ve yük hücrelerinin oluşturduğu yük hücresi platformundan oluşmaktadır. Mekanik kısımda tartım işlemi aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir.

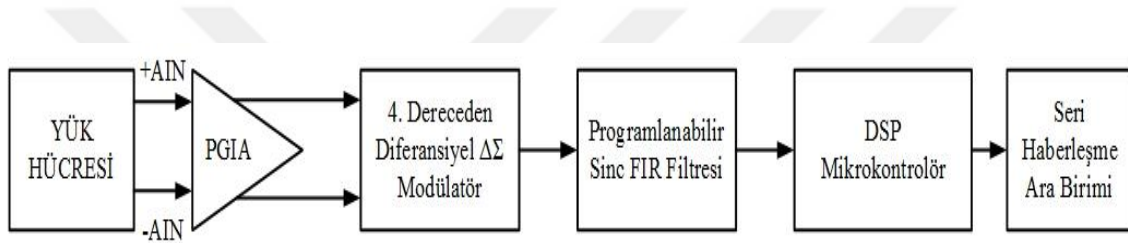


Resim 3.6 Dinamik tartım sistemi (Yabanova 2016).

Yumurta gibi yuvarlak forma sahip cisimler taşıyıcı çubuklar vasıtası ile yük hücrelerinden oluşan yük hücresi platformu üzerine getirilmektedir. Yük hücresi platformu üzerine gelen cisimlerin hızlarında meydana gelen bir miktar azalma neticesinde taşıyıcı çubukları ile arasındaki temas ortadan kalkmaktadır. Bu sayede yük hücresi platformu üzerinde sadece yerçekimi kuvveti etkisi altında kalan cisimlerin ağırlıkları yük hücreleri tarafından ölçülmektedir (Yabanova ve Yumurtacı 2016).

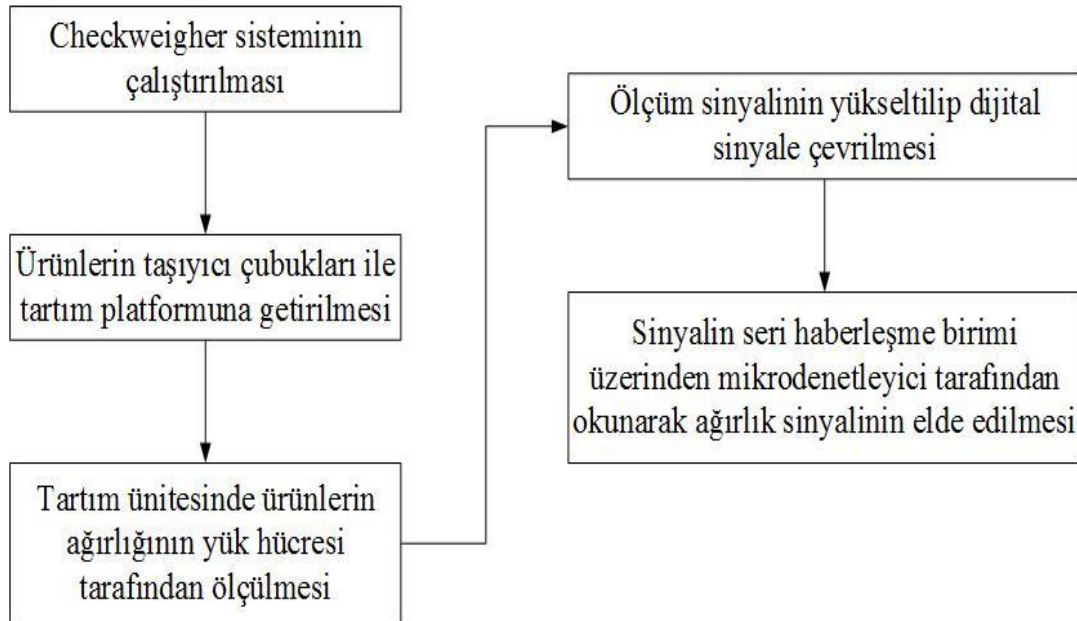
3.3.2 Elektronik Kısım

Elektronik kısım ise yük hücresinden gelen sinyali işlemek için tasarlanan mikrodenetleyici tabanlı bir kart ve bu kartın yazılımından oluşmaktadır. Mikrodenetleyici tabanlı kart yük hücresinden gelen analog sinyali ölçmek, yükseltme ve dijitala çevirmek için kullanılmaktadır. Elektronik sistem içerisinde yük hücresinden gelen analog sinyal yükseltilmektedir. Bu yükseltilemiş sinyal $\Delta\Sigma$ modülatörü ile dijital sinyale çevrilmektedir. Dijitale çevrilen ağırlık sinyali seri haberleşme birimi üzerinden mikrodenetleyici tarafından okunmaktadır (Yabanova ve Yumurtacı 2016). Şekil 3.1’de elektronik tartım sisteminin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1 Elektronik Tartım Sisteminin Blok Diyagramı (Yabanova 2016).

Tasarlanan dinamik tartım tartım sisteminde tartım işlemi Şekil 3.2’de verilen akış diyagramına göre gerçekleştirilmektedir.



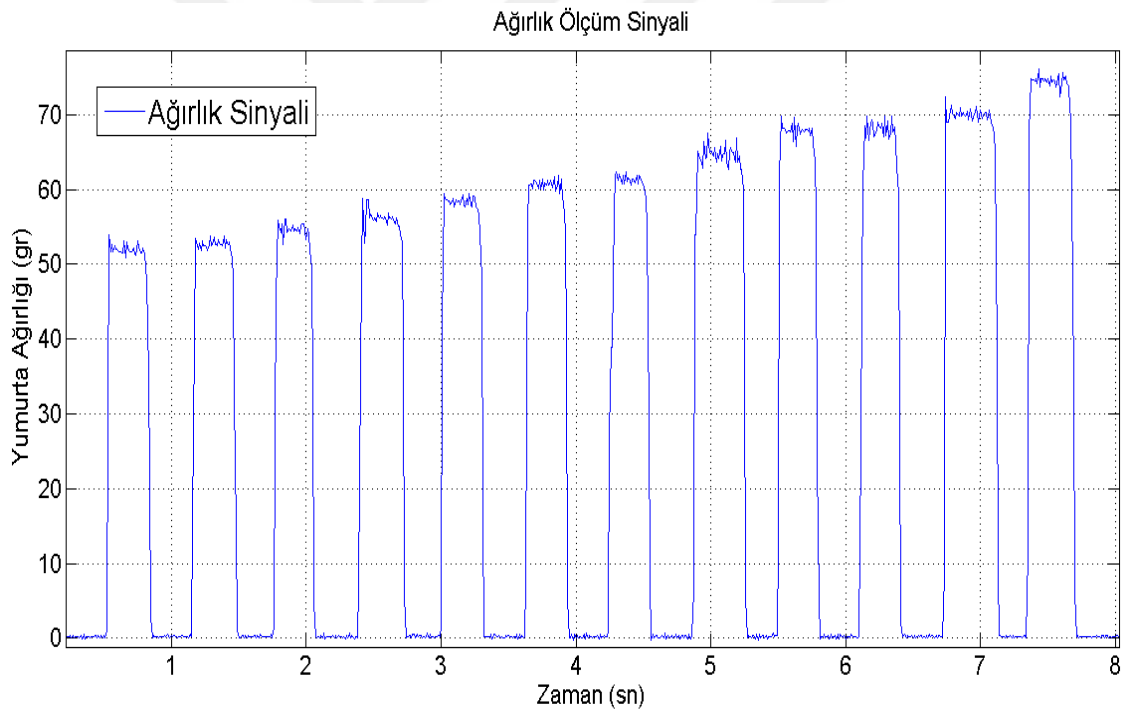
Şekil 3.2 Dinamik tartım sisteminin akış diyagramı (Yabanova ve Yumurtacı 2016).

3.4 Dinamik Tartım Sisteminden Alınan Ağırlık Sinyali

Bu tez çalışmasında Bölüm 3.3'te anlatılan dinamik tartım sistemi kullanılarak 12 adet yumurtanın tartılması sonucunda elde edilen ağırlık sinyalleri kullanılmaktadır. Ölçüm sinyallerinin frekansı 100Hz'tir. Çizelge 3.1'de tartım sırasına göre 12 tane yumurtanın statik tartım yöntemi kullanılarak tartılması sonucu elde edilen statik ağırlık değerleri verilmiştir. Şekil 3.2'de de 12 adet yumurtanın hareketli tartım sisteminde tartılması sonucu oluşan gürültülü ağırlık sinyali görülmektedir.

Çizelge 3.1 12 adet yumurtanın statik ağırlığı.

Yumurta Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ağırlık (gr)	51,9	52,7	54,6	56,1	58,4	60,7	61,2	64,7	67,8	68,1	70,0	74,5



Şekil 3.3 12 adet yumurtanın dinamik tartım sistemi ile tartılması sonucu oluşan ölçüm sinyali.

Bu tez çalışmasında Şekil 3.3'te görülen gürültülü ağırlık sinyali içerisinde 12 adet yumurtanın Çizelge 3.1'de verilen statik ağırlık değerlerini elde edebilmek için ağırlık sinyali sinyal filtreleme yöntemleri kullanılarak filtrelenmektedir. Filtre uygulaması için sayısal filtre çeşitlerinden adaptif LMS filtresi ve sabit pencere (Blackman, Hamming, Rectangular, Von Hann) filtresi kullanılmaktadır. Tartılan ürünlerin tartım süresinde

ağırlığının kararlı olduğu ağırlık değerini belirleyebilmek için filtreleme işlemleri sonucu elde edilen sinyale kararlılık işlemi uygulanmaktadır. Ağırlık sinyalini filtrelemek için kullanılan filtre tasarım yöntemleri ve filtre sonuçlarına uygulanan kararlılık işlemi aşağıda anlatılmaktadır.

3.5 Filtre Çeşitleri

Filtreler sayısal ve analog filtre olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sayısal filtreler ile analog filtreler karşılaştırılmış ve sayısal filtrelerin sahip olduğu avantajlar aşağıda verilmektedir. Bu avantajlar göz önüne alındığında bu tez çalışmasında uygulanan filtre tasarımı için sayısal filtreler kullanılmıştır.

Sayısal filtrelerin sahip olduğu avantajlar (Batık 2011):

1. Sayısal filtreler DSP kullanılarak tasarlandıkları için filtre karakteristikleri entegre programlanarak tasarlanmaktadır. Bu sayede filtrede bir değişiklik yapılmak istendiğinde sadece yazılım kısmında değişik yapılması yeterli olmaktadır. Ancak analog filtrelerde değişiklik yapılmak istendiğinde filtre devresini tamamen değiştirmek gerekmektedir. Bu durum zaman ve maliyet bakımında sayısal filtrelerin daha avantajlı olduğunu göstermektedir.
2. Sayısal filtreler bilgisayar ortamında kolayla çalıştırılıp test edilebilmektedir.
3. Çalışma ortamı sıcaklığında meydana gelen değişimler analog filtrelerin çalışma noktası ve kararlılığını etkilediği için değişen ortam sıcaklıklarında analog filtreler tam olarak verim çalışmamaktadır. Ancak sayısal filtreler ortam sıcaklığının değiştiği koşullarda bile kararlı olarak çalışabilmektedir.
4. Düşük frekanslı sinyallerde sayısal filtreler analog filtrelere göre daha performanslı olarak çalışabilmektedir.
5. Sinyal işleme yöntemleri açısından sayısal filtreler analog filtrelere göre daha fazla yöntemle sahiptirler.

Geçtiğimiz otuz yıl içerisinde sinyal işleme alanında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Dijital devre tasarımındaki gelişmeler ve bunun yanı sıra sayısal sinyal işleme

sistemlerinin düşük maliyet, güvenilirlik, hassasiyet, küçük tasarım boyutları ve esneklik gibi özellikleri sayısal sinyal işleme sistemlerini daha ilgi çekici hale getirmiştir (Diniz 2008).

Sayısal sinyal işleme sistemlerinin bir örneği olan filtreleme işlemindeki amaç sinyali işleyerek sinyaldeki bilginin elde edilmesidir (Diniz 2008). Filtreleme hata işaretinin ortalama kare değerinin minimize edilmesi işlemine denir. Hata işareti filtrenin beklenen çıkışı ile gerçekleşen çıkışı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Filtreleme uygulama biçimine göre farklılık göstermektedir. Filtreleme, t zamanına kadar olan ve t zamanını da içeren ölçümleri kullanarak bilgi çıkartımı işlemidir. Yumuşatma (smoothing), herhangi bir t anında bilgi çıkartımı için sadece t değil komşu değerlerini de kullanarak bilginin çıkarılması işlemine denir. Çevrimdışı sistemlerde filtrelemeden daha doğru sonuçlar üretmesi beklenir. Tahmin, $\tau > 0$ için t zamanına kadar olan ve t zamanını da içeren ölçümler kullanılarak $t+\tau$ zamanındaki nicelik hakkındaki bilginin üretilmesidir (Haykin 1996).

3.5.1 Sayısal Filtreler

Sayısal filtreler bir sayı dizisinden önceden belirlenen bazı özellikleri sağlayacak başka bir sayı dizisi elde edebilmek için tasarlanan aygıt veya algoritma olarak tanımlanmaktadır. Sayısal filtreler frekans cevaplarına göre FIR filtre ve infinite impulse response (sonsuz dürtü yanıtı) (IIR) filtre olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. FIR filtreler geri beslemesiz IIR filtreler ise geri beslemeli filtrelerdir.

$$H(z) = \frac{a(0)+a(1)z^{-1}+a(2)z^{-2}+\dots+a(M)z^{-M}}{1+b(1)z^{-1}+b(2)z^{-2}+\dots+b(N)z^{-N}} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de IIR filtre transfer fonksiyonu görülmektedir. Burada $M \leq N$ olup $b(i)$, katsayılarının $i=0,1,2,\dots,N$ katsayılarının tümü sıfır değildir. Filtre tasarımında amaç $a(i)$ ve $b(i)$ katsayılarının elde edilmesidir. $b(i)$ katsayılarının sıfır olması durumunda FIR filtre elde edilmektedir (Kavsaoğlu 2005).

FIR filtre ve IIR filtre karşılaştırıldığında her iki filtrenin birbirine göre avantajları ve

dezavantajları bulunmaktadır (Kara 2008).

FIR filtrelerin sahip olduğu avantajlar:

1. IIR filtrelerde faz yanıtları doğrusal değildir. Bu nedenle tüm frekanslar aynı gecikmeye maruz kalmazlar. Bu nedenle geniş frekans aralığına sahip filtreler IIR filtreden geçerken aynı gecikmeye maruz kalmadığından sinyalde bozulmalar meydana gelmektedir. FIR filtrelerde ise tüm sinyaller aynı gecikmeye maruz kaldığından sinyalde bozulmalar meydana gelmemektedir.
2. FIR filtreler IIR filtrelere göre daha kolay gerçekleştirilmektedir.
3. IIR filtresinde geri besleme döngüsü olduğu için adaptif filtre uygulamalarında IIR filtre kullanılmasını zorlaştırmaktadır.
4. Tüm sayısal sinyal işleme sistemleri sınırlı sayıda bit değerine sahiptir. FIR filtreler bu özelliği sağlarken, IIR filtrelerdeki geri besleme döngüsü sebebiyle filtre gerçekleştirme işlemi pratik olmamaktadır.

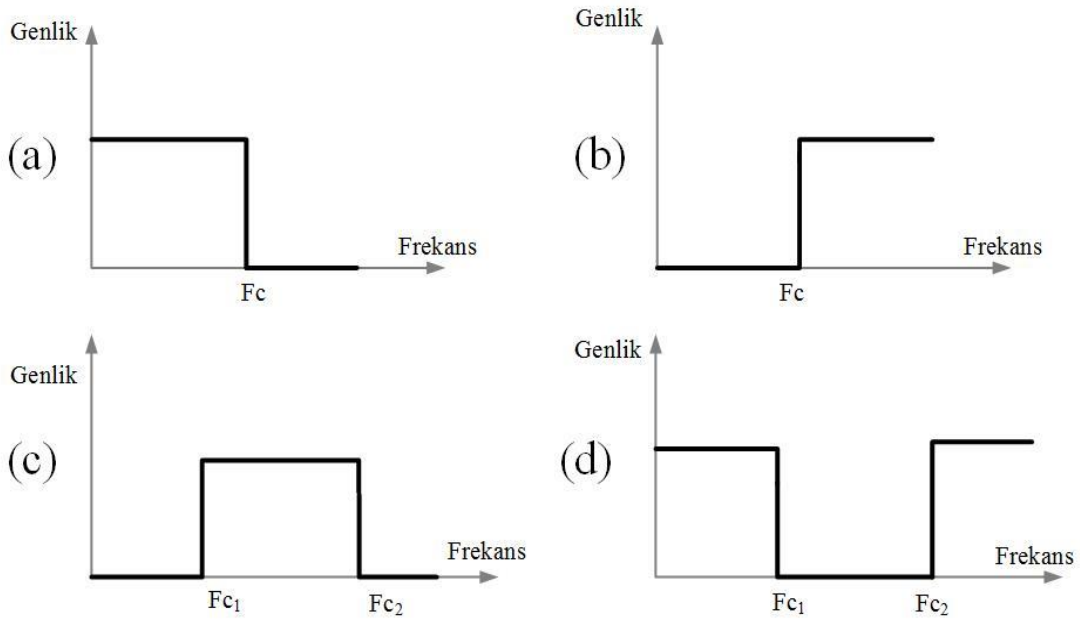
IIR filtrelerin sahip olduğu avantajlar:

1. Verilen bir frekans yanıtı için IIR filtreler FIR filtrelere göre daha az geciktirici elemana, toplayıcıya ve çarpıcıya ihtiyaç duymaktadır. Bu durum daha az maliyet ve daha az hesaplama işlemi anlamında gelmektedir.

FIR ve IIR filtrelerin bu avantaj ve dezavantajları gözönüne alındığında bu tez çalışmasında filtre tasarımı için FIR filtre kullanılmasına karar verilmiştir.

3.5.1.1 İdeal Sayısal Filtreler

Sayısal filtreler alçak geçiren (low-pass), yüksek geçiren (highpass), bant geçiren (bandpass) ve bant durduran (bandstop) olmak üzere 4 adet frekans cevabına sahiptir. Frekans cevap karakteristiği Şekil 3.4'teki gibi olan filtrelere ideal sayısal filtre denir. İdeal sayısal filtreler geçirilmek istenen frekans bölgesi tamamen geçirilirken, zayıflatılmak istenen frekans bölgesi tamamen durdurulmaktadır (Kara 2008).



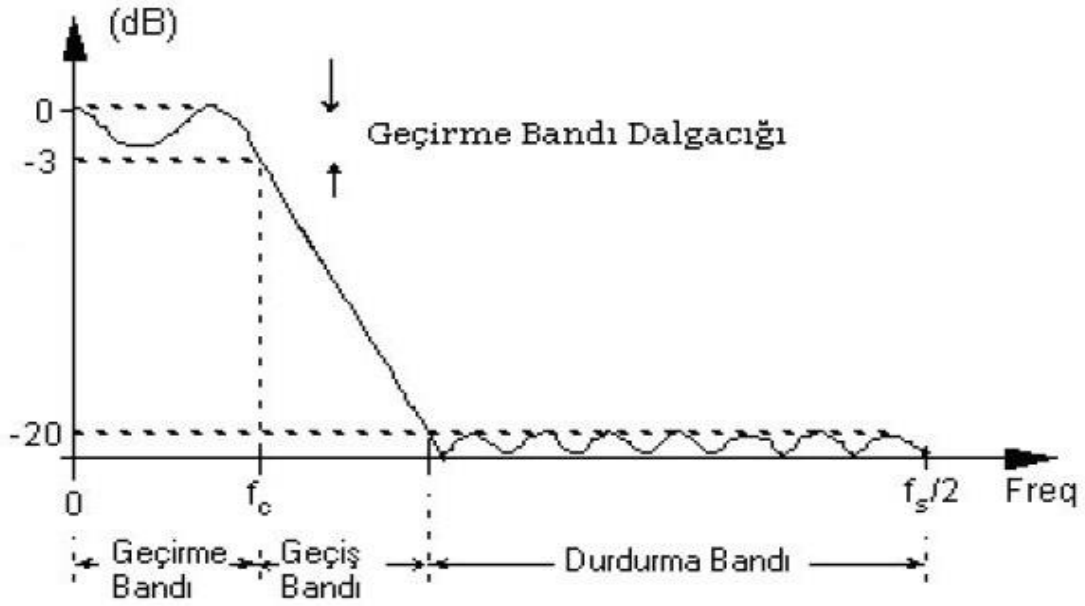
Şekil 3.4 İdeal a) Alçak geçiren b) Yüksek geçiren c) Bant geçiren d) Bant durdurucu filtre frekans cevabı (Kayran ve Ekşioğlu 2011).

3.5.1.2 İdeal Olmayan Sayısal Filtreler

Gerçek uygulamalarda filtreler Şekil 3.4'te verilen özellikleri yaklaşık olarak sağlayabilen filtrelere ideal olmayan sayısal filtre denir. İdeal filtrelerde Şekil 3.4'te de görüldüğü gibi geçirme ile durdurma bandı arasında çok ani bir geçiş bulunmaktadır. Gerçek uygulamalarda kademeli bir geçiş olması istenmektedir. Buna nedenle Şekil 3.5'te görülen açak geçiren filtre frekans cevap grafiğinde geçirme bandı ile durdurma bandı arasına birde geçiş bandı bulunmaktadır (Kara 2008).

Aşağıda filtre frekans bölgesi parametrelerinin açıklamaları verilmiştir.

- **Kesim Frekansı (Cutoff Frequency):** Kesim frekansı, alçak geçiren filtre için üst geçirme bandı frekansına, yüksek geçiren filtre için alt geçirme bandı frekansına eşittir. Şekil 3.5'te alçak geçiren filtre için kesim frekans f_c ile gösterilmiştir.
- **Geçirme Bandı (Passband):** Filtrelerin sinyalin istenilen frekans değerlerinin geçişine izin verdiği frekans bölgesine denir. Şekil 3.5'te alçak geçiren filtrenin geçirme bandı gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Alçak geçiren bir filtre için frekans tepkisi (Batık 2011).

- **Geçirme Bandı Dalgacığı (Passband Ripple):** Şekil 3.5'te görüldüğü gibi geçirme bandında meydana gelen istenmeyen dalgalanmalara denir.
- **Desibel (dB):** Filtre tasarımında kesim frekansını ve durdurma bandını göstermek için kullanılır. Örneğin Şekil 3.5'te alçak geçiren filtrenin frekans tepkisinde kesim frekansı (-3dB) durdurma bandı seviyesi de (-20dB) dir.
- **Durdurma Bandı (Stop band):** Filtrelenen sinyalin istenilen frekans değerinin geçişinin engellendiği frekans bölgesine denir. Şekil 3.5'te alçak geçiren filtrenin durdurma bandı gösterilmiştir.
- **Geçiş Bandı (Transition band):** Şekil 3.5'te görüldüğü gibi durdurma bandı ile geçirme bandı arasında kalan bölgeye denir.

Bir filtrenin performansının belirlenebilmesi için Şekil 3.5'te görülen filtre frekans bölgesi parametrelerinden geçiş bandı, geçirme bandı ve durdurma bandı davranışlarına bakılması gerekmektedir (Smith 1999). Filtrenin performansının iyi olması için;

- **Geçiş bandı genişliği:** Filtrenin yakın değerli frekansları ayırmak için fast roll-off (hızlı yükselme) değerine yani dar geçiş bandı genişliğine sahip olması gerekmektedir.
- **Geçirme bandı dalgacığı:** Geçirme bandı frekanslarının filtreden geçerken

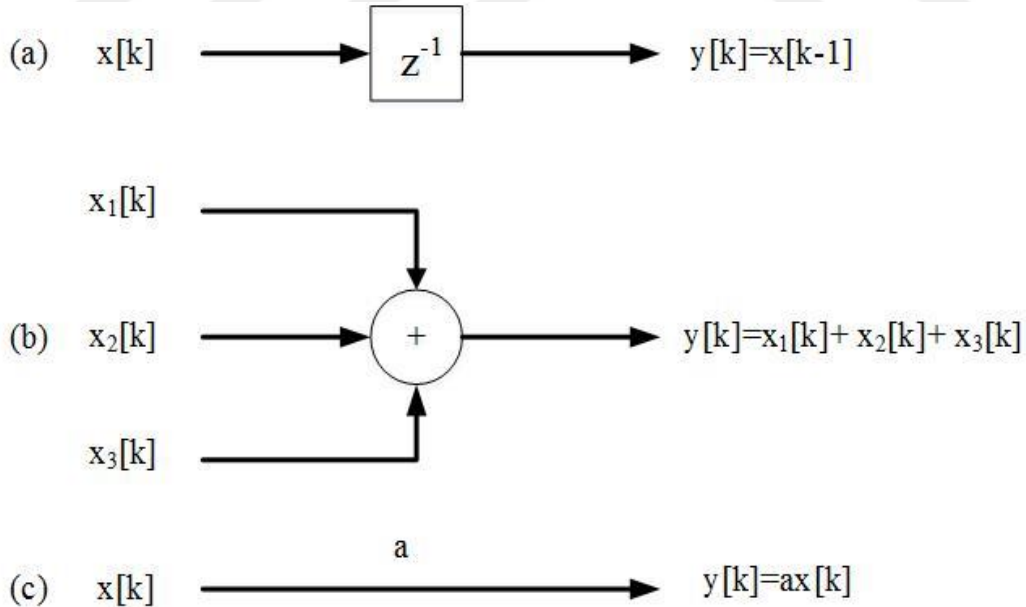
değiştirilmemesi için geçirme bandı dalgacığı (ripple) oluşmamalıdır.

- **Durdurma bandı zayıflatması:** Filtrenin durdurma bandı frekanslarını doğru şekilde engelleyebilmesi için iyi bir durdurma bandı zayıflatmasına sahip olması gerekmektedir.

Sayısal filtre tasarımındaki temel amaç frekans bölgesinde verilen özellikleri sağlayabilecek olan filtre transfer fonksiyonunun katsayı değerlerinin hesaplanmasıdır (Avcı 2008). Bu katsayı değerlerinin hesaplanabilmesi için farklı filtre tasarım yöntemleri kullanılmaktadır.

3.5.2 Sayısal Filtrelerin Gerçekleştirilmesi

Filtrelerin iç yapısı blok diyagramlar veya sinyal akış şemaları ile gösterilebilmektedir. Basit filtreleme işleminin blok diyagramları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6.a'da birim gecikme işlemi (z^{-1} gecikme operatörü), Şekil 3.6.b'de toplama işlemi ve Şekil 3.6.c'de sabit katsayı ile çarpma işlemi gösterilmektedir (Kara 2008).

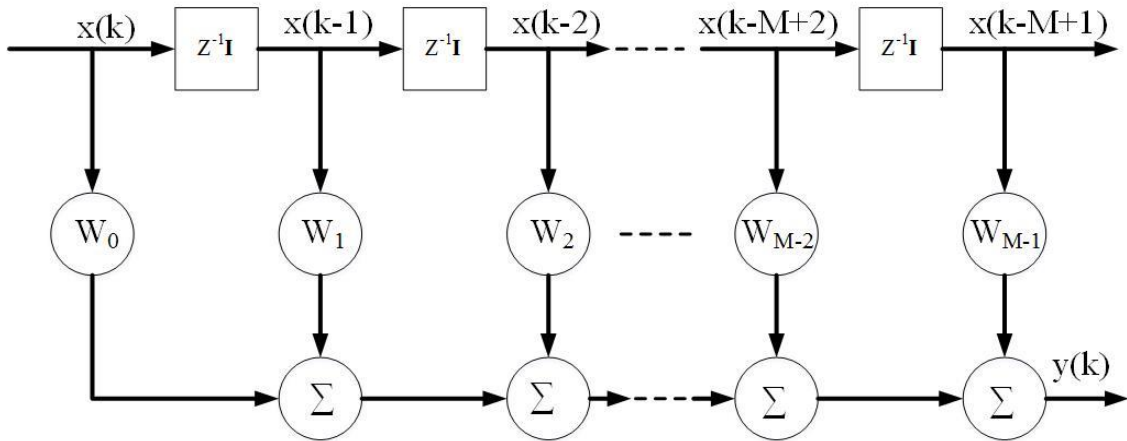


Şekil 3.6 Filtreleme işlemleri blok diyagramları (Kara 2008).

3.5.3 FIR Filtreler

Şekil 3.7’de görülen FIR filtre kademeli gecikme hatlı filtre olarak bilinmektedir. FIR filtre üç ana elemandan oluşmaktadır (Haykin 1996).

- i. Birim gecikme elemanı
- ii. Çarpıcı
- iii. Toplayıcı



Şekil 3.7 FIR Filtre yapısı (Haykin 1996).

Şekil 3.7’de gösterilen z^{-1} birim gecikme elemanını ifade etmektedir. $M-1$ ile gösterilen birim gecikme elemanı sayısı filtre derecesi olarak ifade edilmektedir. $x(k)$ girişine birim gecikme uygulanırsa sonuç $x(k-1)$ olmaktadır. Filtredeki çarpıcının rolü birim gecikme elemanı uygulanmış dal girişini filtre ağırlık vektörü olarak bilinen filtre ağırlık katsayısı ile çarpmaktır. Toplayıcı her bir çarpıcının sonucunu tek tek toplayarak filtre çıkışını oluşturmaktadır. Filtrenin i ’inci girişine birim gecikme elemanı uygulanırsa sonuç $x(k-i)$ olur. $x(k-i)$ ’ye bağlanan çarpıcı $w_i x(k-i)$ iç çarpımının skaler biçimini üretmektedir. Toplayıcı bu iç çarpımların sonucu tek tek toplayarak filtre çıkışı oluşturmaktadır. w_i filtre ağırlık vektörü ve $i=0, 1, 2, \dots, M-1$ ’dir. Bu işlemler Denklem 3.1’de verilmektedir.

$$y(k) = \sum_{i=0}^{M-1} w_i x(k-i) \quad (3.2)$$

Denklem 3.2 sonlu konvolüsyon toplamıdır. w_i sonlu darbe cevabı ile $x(k)$ filtre girişinin konvolüsyonu ile $y(k)$ filtre çıkışı elde edilir (Haykin 1996).

FIR filtrelerde önce sayısallaştırılmış bir sinyali bir dizi farklı geciktirme elemanından geçirilmektedir. Her bir birim gecikme elemanı ögesinin çıkışı çarpıcı vasıtasıyla bir sayı ile çarpılmakta ve son olarak çarpım sonuçları toplayıcı eleman ile toplanarak filtre çıkışı oluşturulmaktadır. FIR filtrelerde yavaş değişen bir sinyal ile hızlı değişen bir sinyal aynı işlemlerden geçmektedir. Bu sayede her bir giriş sinyali tüm geciktirici elemanlardan geçmekte ve FIR filtrelere en önemli özelliği olan doğrusal fazlı olma özelliğini kazandırmaktadır (Tanyıldızı 2012).

FIR filtrelerde bütün sinyaller aynı gecikmeye maruz kalmakta yani gecikme sinyal frekansına bağlı kalmadığından grup gecikmesi sabittir. Bu durum sayısal sinyallerle çalışan sistemler için çok önemlidir. Grup gecikmesinin sabit olmadığı ve bazı sinyallerin değerine göre daha fazla geciktirildiği durumlarda sinyallerde üst üste binme durumu oluşmaktadır (Tanyıldızı 2012).

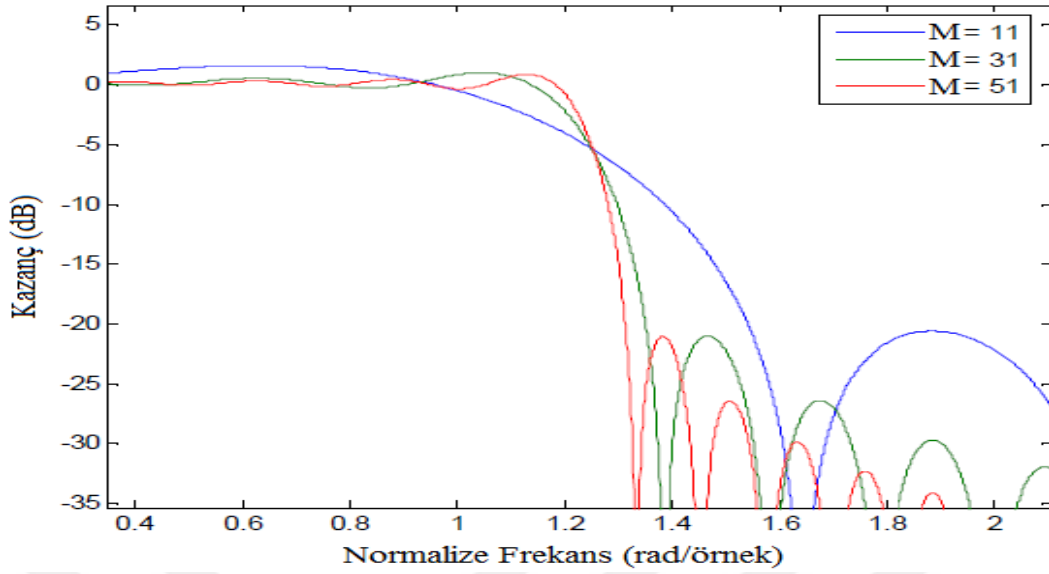
Bir FIR filtrenin fiziksel olarak gerçekleştirilebilmesi için filtre impuls cevabının sınırlı sayıda ve nedensel olması gerekmektedir. Denklem 3.3'te gösterilen filtre transfer fonksiyonu $-\infty$ 'dan başlayıp $+\infty$ 'a kadar devam etmektedir.

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)e^{-j\omega n} \quad (3.3)$$

Filtre transfer fonksiyonunun sınırlı sayıda impuls cevabına sahip olabilmesi için belirli bir gecikme ile çarpılması gerekmektedir. Denklem 3.3'te $e^{-j\omega n}$ yerine z^{-n} yazılırsa ve M terim için Avcı (2008)'e göre ara işlemler uygulanırsa sınırlı sayıda impuls cevabına sahip transfer fonksiyonu Denklem 3.4'teki gibi elde edilmiş olunur.

$$H(z) = \sum_{n=0}^{M-1} h(n)z^{-n} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'te verilen filtre transfer fonksiyonunun Fourier serisi dönüşümü kullanılarak elde edilen yeni filtre transfer fonksiyonunda geçirme bandı ve durdurma bandı bölgelerinde istenmeyen salınımlar meydana gelmektedir. Bu salınımlara Gibb's salınımları denilmektedir. Şekil 3.8'de alçak geçiren FIR filtrenin farklı dereceleri için frekans cevabı ve Gibb's salınımları gösterilmiştir.

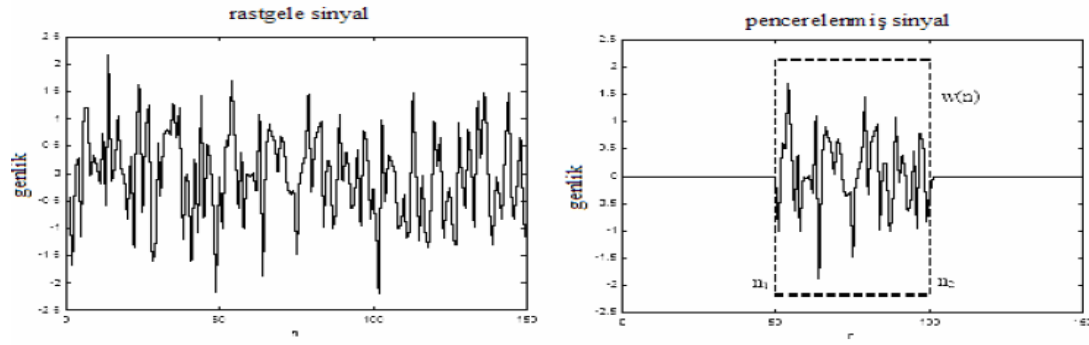


Şekil 3.8 Farklı dereceler için alçak geçiren filtre genlik cevabı ve Gibbs' salınımları (Avcı 2008).

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi filtre derecesi arttıkça geçiş bandı daralmakta ve geçirme bandı ve durdurma bandı salınım frekansı artmaktadır. Salınımların genliği hem düşük hem de yüksek frekanslarda azalmakta ancak geçirme bandının son salınımı ve durdurma bandının ilk salınımı değişmeden kalmaktadır. Sonuç olarak Gibbs' salınımları filtre karakteristiğini bozmaktadır (Avcı 2008). Bu tez çalışmasında Gibbs' salınımlarını azaltmak için alçak geçiren FIR filtre çeşitlerinden olan sabit pencere filtreleri kullanılmıştır.

3.5.4 Sabit Pencere Filtreleri

Pencere filtreleri yönteminde fonksiyon sınırlı sayıda örnekleme değerine sahip olup pencere sınırları içerisindeki değerler pencere fonksiyonunu oluştururken diğer değerler sıfırdır. Bunun anlamı Şekil 3.9'da görüldüğü gibi pencere fonksiyonu geçirdiği aralığı 1, bastırdığı aralığı 0 (sıfır) ile çarparak pencerelemektedir. Pencere filtresi transfer fonksiyonunun frekans karakteristiğinde yumuşama meydana getirmektedir (Kara 2008).



Şekil 3.9 Pencere fonksiyonunun işleyişi (Kara 2008).

Pencere filtrelerinin performansını etkileyen spektral parametreler Şekil 3.10'da görülmektedir. Bu parametreler analog genişliği (W_M), dalgalanma oranı (R) ve yanlob azalma oranı (S)'dır. Parametrelerin sahip olması gereken karakteristikler:

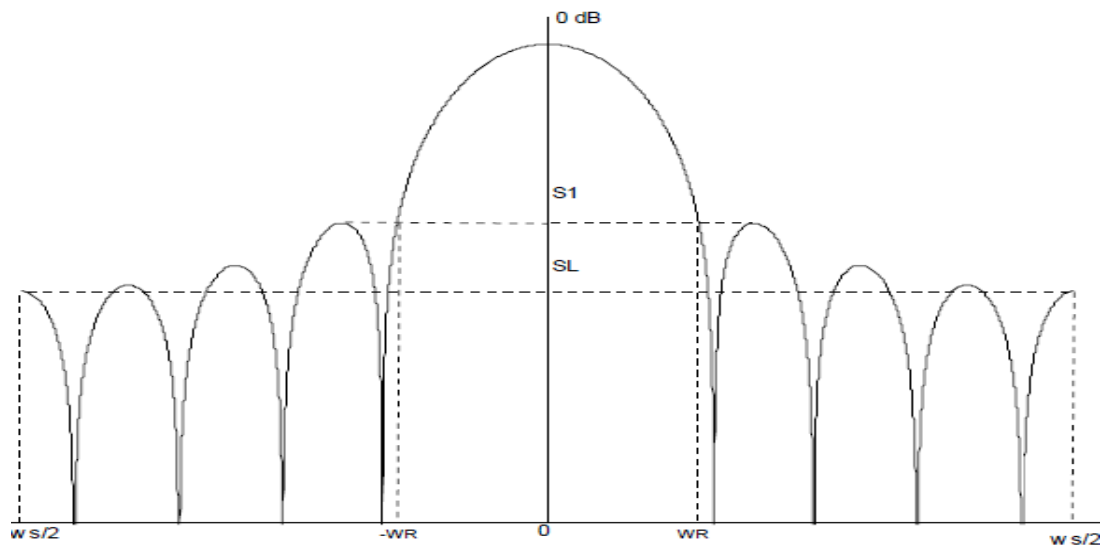
- analog genişliği (W_M) dar
- dalgalanma oranı (R) küçük
- yanlob azalma oranı (S) geniş şekilde olmalıdır.

Bu parametrelerin hesaplanması Şekil 3.10'da görülen grafiğe göre yapılmaktadır.

$$W_M = 2W_R$$

$$R = \text{Maksimum yanlob genliği dB} - \text{analog genliği dB} = S_I$$

$$S = \text{Maksimum yanlob genliği dB} - \text{minimum yanlob genliği dB} = S_I - S_L$$

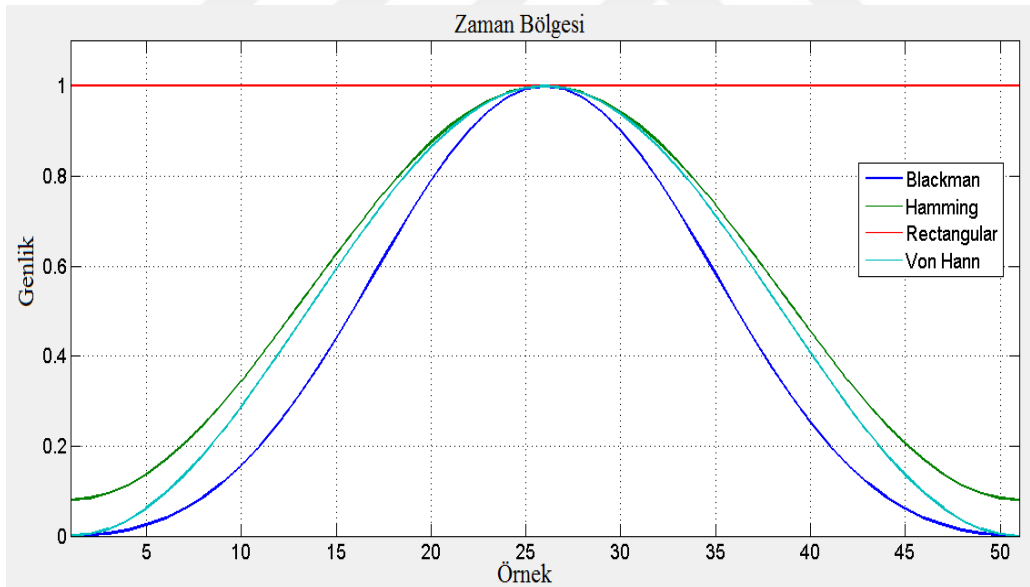


Şekil 3.10 Pencere fonksiyonları genlik spektrumu (Avcı 2008).

Pencere filtresi tasarımı için sunulan yöntemler genel olarak yukarıda bahsedilen şartların daha iyi olmasını sağlamak amacıyla sunulmaktadır (Avcı 2008).

Literatürde birçok pencere filtresi bulunmasına rağmen pencere filtreleri sahip oldukları parametrelere göre sabit pencere ve ayarlanabilir pencere filtresi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit pencere filtreleri bir tane parametreye sahip olup bu parametre pencere uzunluğu ile analob genişliğinin ayarlanmasını sağlamaktadır. Ayarlanabilir pencere filtreleri ise iki veya daha fazla parametreye sahip olup pencere uzunluğu fonksiyonu ile analob genişliğini ayarlamakta ve diğer parametreler ile de diğer pencere spektral parametrelerini ayarlayabilmektedirler (Avcı 2008).

Sinyal işleme uygulamalarında en çok bilinen ve en çok kullanılan pencere filtreleri Rectangular, Von Hann, Hamming ve Blackman filtresidir (Avcı 2008). Bu tez çalışmasında sinyal filtreleme uygulaması için sabit pencere filtreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.11 Dört ayrı sabit pencerenin $M=51$ için zaman bölgesi karşılaştırılması.

3.5.4.1 Rectangular Filtresi

Pencere filtrelerinin en basiti Rectangular filtresidir. Smoothing (yumuşatma) sahip olmayan bu filtre direkt kesmeler için kullanılabilir. Rectangular filtresi dar analob genişliğine sahip olmasına rağmen sabit pencere filtreleri arasında geniş

dalgalanma oranına sahiptir (Avcı 2008). Şekil 3.11’de görülen Rectangular filtresinin matematiksel ifadesi Denklem 3.5’te verilmektedir.

$$w_r(n) = \begin{cases} 1 & |n| \leq \frac{M-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.5)$$

3.5.4.2 Von Hann Filtresi

Von Hann filtresi ya da bilinen adı ile Hanning filtresi Rectangular filtresinden daha iyi dalgalanma oranına sahiptir. Ancak analob genişliği Rectangular filtresinin iki katıdır (Avcı 2008). Şekil 3.11’de görülen Von Hann filtresinin matematiksel ifadesi Denklem 3.6’da verilmektedir.

$$w_{vh}(n) = \begin{cases} 0.5 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{M-1} & |n| \leq \frac{M-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.6)$$

3.5.4.3 Hamming Filtresi

Hamming filtresi Şekil 3.11’de görüldüğü gibi Von Hann filtresine benzemektedir. Von Hann filtresinden daha iyi dalgalanma oranı için terimlerin katsayıları yeniden düzenlenerek Von Hann filtresinde daha iyi dalgalanma oranı sahip olmuştur. Ancak analob genişlikleri aynıdır (Avcı 2008). Hamming filtresinin matematiksel ifadesi Denklem 3.7’de verilmektedir.

$$w_b(n) = \begin{cases} 0.54 + 0.46 \cos \frac{2\pi n}{M-1} & |n| \leq \frac{M-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerler} \end{cases} \quad (3.7)$$

3.5.4.4 Blackman Filtresi

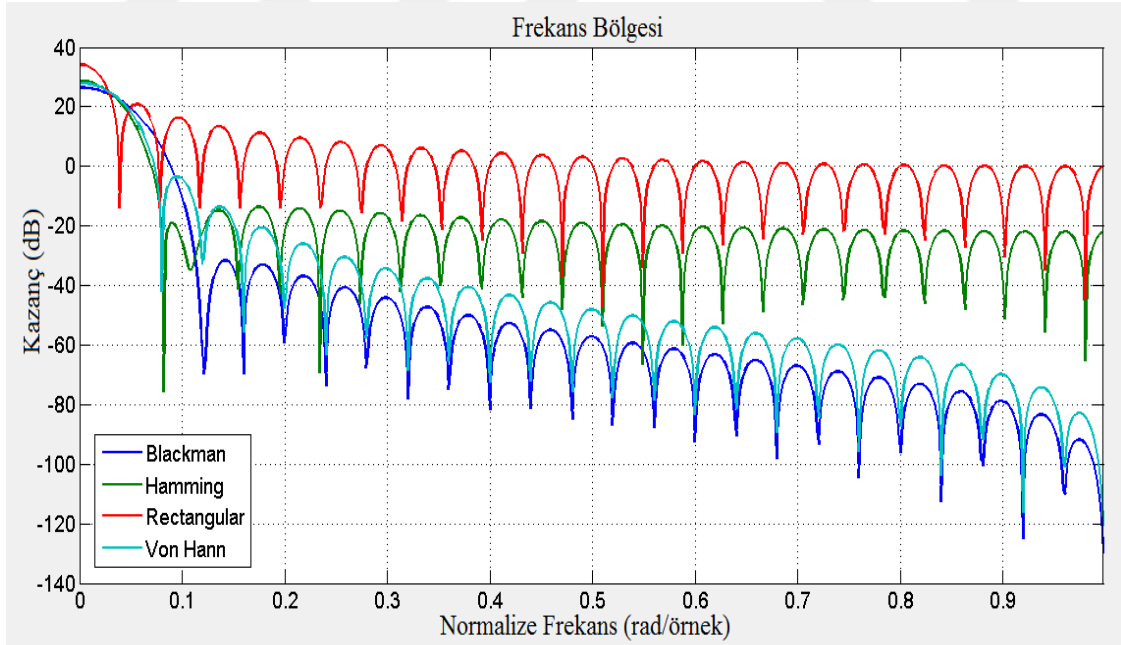
Şekil 3.11’de görülen Blackman filtresi diğer pencere filtreleri ile karşılaştırıldığı zaman Denklem 3.8’de görüldüğü ek olarak bir kosinüs terimi eklenmiştir. Bunun nedeni daha iyi bir dalgalanma oranı elde etmektir. Bu sayede Blackman filtresi diğer sabit pencere

filtrelerine göre daha iyi bir dalgalanma oranına sahip olmuştur (Avcı 2008).

$$w_b(n) = \begin{cases} 0.42 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{M-1} + 0.08 \cos \frac{4\pi n}{M-1} & |n| \leq \frac{M-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerler} \end{cases} \quad (3.8)$$

3.5.4.5 Sabit Pencere Filtrelerinin Spektral Karşılaştırılması

Sabit pencere filtreleri arasındaki fark Şekil 3.12'deki normalize frekans grafiğinde analog genişliği, yanlob genişliği ve dalgalanma oranı açısından görülmektedir. Şekil 3.12'ye göre Rectangular filtresinin analog genişliği diğer sabit pencerelere göre dar olmasına rağmen geniş dalgalanma oranı ve küçük yanlob azalma oranına sahiptir. Von Hann filtresinin dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranı Rectangular filtresine göre daha iyi ancak analogu daha geniştir. Hamming filtresi daha geniş bir analog genişliğine sahip olma pahasına Von Hann filtresinden daha iyi dalgalanma oranına sahiptir. Blackman filtresi ise en iyi dalgalanma oranına sahip olmasına rağmen en geniş analog genişliğine sahiptir (Avcı 2008).



Şekil 3.12 Dört sabit pencere fonksiyonunun $M=51$ için normalize frekans (Avcı 2008).

Çizelge 3.2'de $M=51$ değeri için pencere sabit pencere filtreleri için parametre değerleri verilmiştir. Hamming filtresinin yanlob dalgalanması düzgün olmadığı için dalgalanma

oranı tanımlanmamaktadır. Çizelge 3.2'ye göre analog genişliği en iyi olan filtre Rectangular filtresi, dalgalanma oranı en iyi olan filtrenin Blackman filtresi ve yanlob azalma oranı en iyi olan filtrenin Von Hann filtresi olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2 $M=51$ için dört sabit pencere fonksiyonunun parametre değerleri (Avcı 2008).

Pencere Tipi	Uzunluk (M)	W_R	R	S
Rectangular	51	0.1001	-13.25	20.90
Von Hann	51	0.2352	-31.47	79.32
Hamming	51	0.2440	-42.31	-
Blackman	51	0.3549	-58.11	60.16

Pencere uzunluğunun sabit pencere filtreleri üzerindeki etkisini görebilmek için yapılan simülasyon sonucu Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Buna göre pencere uzunluğu arttıkça analog genişliğinin azaldığı buna karşın dalgalanma oranı her zaman sabit kalmak suretiyle pencere uzunluğundan bağımsız olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3 Pencere uzunluğu $M=51$ ve $M=101$ için dört sabit pencere fonksiyonunun analog ve dalgalanma oranı değişimi (Avcı 2008).

Pencere Tipi	$M=51$ için R	$M=101$ için R	$M=51$ için W_R	$M=101$ için W_R
Rectangular	-13.25	-13.26	0.1001	0.0506
Von Hann	-31.47	-31.47	0.2352	0.1176
Hamming	-42.31	-42.58	0.2440	0.1212
Blackman	-58.11	-58.11	0.3949	0.1774

3.5.5 Adaptif Filtreler

Adaptif sistemlerin en önemli karakteristik özelliği zamanla değişen çevre şartlarına göre kendini ayarlayabilmesidir. Lineer sistemler ile adaptif sistemler karşılaştırıldığı zaman, lineer sistemlerde belirli girişlere karşı çıkışın istenilen şekilde olması istenmektedir. Ancak girişlerin ve kontrol edilen sistemin çevre şartlarının zamanla değişmesi durumlarında lineer sistemler kararsız davranırken buna karşın adaptif sistemler ise bu şartlar altında kararlı davranmaya devam etmektedir.

Adaptif sistemlerde beklenen çıkış ile elde edilen çıkış arasındaki fark hata miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu hata miktarı adaptif sisteme giriş olarak uygulanmaktadır. Hata

miktarının sıfır olması sistemin arzu edilen şekilde çalıştığı anlamına gelmektedir. Hata miktarını sıfır yapmak için adaptif modelleme kullanılmaktadır. Adaptif modellemede sırasıyla ilgili sinyal hakkında istatistiksel olarak parametre tahmini yapılmakta ardından tahmin edilen parametreler özyinelemesiz formüle uygulanmaktadır. Bu işlemin gerçek zamanlı çalışması aşırı ayrıntı ve maliyetli donanım gerektirmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için adaptif filtreleme yöntemi kullanılmaktadır (Haykin 1996).

Adaptif filtreler giriş sinyalinin istatistiksel bilgisinin bulunmadığı durumlarda tekrarlı algoritması ile bulunduğu ortama göre kendini ayarlayarak istenilen çıkışın oluşmasını sağlamaktadır (Sevim 2007). Adaptif algoritma, çalışma ortamı hakkındaki bilgi içeren önceden belirlenmiş başlangıç durumları kümesinden başlamaktadır. Art arda tekrarın ardından durağan bir çevrede algoritmanın en iyi *Wiener* çözümüne ulaştığı görülmektedir. Değişimlerin yeterince yavaş olduğu durağan olmayan bir çevrede algoritma, giriş verisinin istatistiklerini izlemektedir (Haykin 1996).

Adaptif filtre parametreleri veri bağımlıdır. Bunun nedeni ise parametrelerin özyineli algoritma sayesinde her bir adımda güncellenmesidir. Adaptif filtreler doğrusal ve doğrusal olmayan filtre olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Eğer filtre çıkışı, filtre girişine uygulanan giriş verisinin doğrusal bileşimi olarak hesaplanabiliyorsa filtre doğrusal hesaplanamıyorsa filtre doğrusal değildir. Bu tez çalışmasında kullanılan ağırlık sinyalinin alındığı dinamik tartım sistemi doğrusal bir sistem olduğu için sinyal filtreleme uygulamasında doğrusal adaptif filtre yapısı kullanılmıştır.

Doğrusal adaptif filtre oluşturabilmek için çok farklı özyineli algoritmalar bulunmaktadır. Bu algoritmaların seçimi aşağıda belirtilen faktörlerden bir ya da bir kaçına bağlıdır (Haykin 1996).

- i. Yakınsama oranı: Algoritmanın optimum *Wiener* çözümüne ulaşabilmesi için gerekli olan tekrar sayısına denir.
- ii. İzleme: Durağan olmayan ortam koşullarında adaptif filtrenin değişen çevre koşullarını izlemesi gerekir. İzleme performansı yakınsama oranı ve algoritma gürültüsü nedeni ile sürekli durum dalgalanmasından etkilenir.

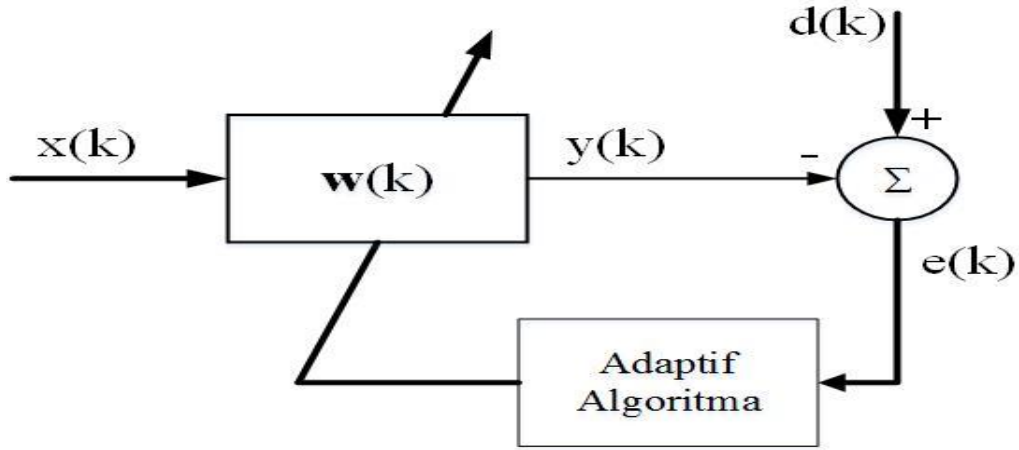
- iii. Sağlamlık: Bir adaptif filtrenin kuvvetli olabilmesi için küçük dağılımlar sadece küçük tahmin hataları ile sonuçlanmalıdır. Bunun anlamı giriş verisinin kötü elde edildiği durumlarda algoritmanın bu veri üzerinde yeterince başarılı şekilde çalışmasıdır.
- iv. İşlemsel gereksinimler: Üç başlık altında toplanabilir.
 - Algoritma iterasyonunu tamamlamak için gerekli olan toplama/çıkarma, çarpma ve bölme işlemlerinin sayısı.
 - Veri ve bilgi depolamak için gereken hafıza miktarı.
 - Algoritmayı bilgisayarda programlamak için gerekli olan maliyet.

Doğrusal adaptif filtreleme algoritması iki temel işlemi içerir:

- i. Gürültülü veri dizisinin uygulandığı ve bir çıkış elde etmek için oluşturulan filtreleme işlemi.
- ii. Filtreleme işleminde kullanılan parametrelerin (ağırlık katsayılarının) adaptif olarak güncellenebilmesi için adaptif kontrol işlemi.

Bu iki işlem birbiri ile etkileşim içerisinde çalışmakta olup filtre yapısı seçimi filtre uygulaması aşamasında önemli role sahiptir (Mengüç 2011). Adaptif filtre uygulamalarında filtre yapısı olarak IIR filtre ve FIR filtre kullanılmaktadır. IIR filtreleri geri besleme döngüsüne sahip olduğu için adaptif filtre uygulamalarında kullanımı zordur. Ayrıca IIR filtresinin Denklem 3.1'de verilen transfer fonksiyonu gözönüne alındığında sahip olduğu kutuplar adaptif işlem aşamasında birim çember dışına taşınırsa filtrenin kararsızlığı gibi büyük bir problem IIR filtrelerde meydana gelebilmektedir. Bu nedenle filtre kararlılığını garantilemek için filtre yapıları FIR filtre yapısında seçilmektedir (Kavsaoğlu 2005).

Şekil 3.13'te adaptif filtre blok diyagramı görülmektedir. $x(k)$ filtre giriş sinyalini, $d(k)$ beklenen çıkışı, $e(k)$ hata sinyalini, $w(k)$ filtre ağırlık vektörünü ve $y(k)$ filtre çıkışını ifade etmektedir. Şekil 3.13'e göre filtre çıkış denklemi ve hata sinyali sırasıyla Denklem 3.9 ve Denklem 3.10'da gösterilmiştir. Şekil 3.12'de gösterilen adaptif algoritma $y(k)$ filtre çıkışını ve $e(k)$ hata sinyalini kullanarak filtrenin ağırlık vektörü $w(k)$ 'yı güncellemektedir (Mengüç 2011).



Şekil 3.13 Adaptif filtre blok diyagramı (Mengüç 2011).

Filtre çıkışı:

$$y(k) = w^T(k)x(k) \quad (3.9)$$

Hata sinyali:

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad (3.10)$$

3.5.5.1 Adaptif En Küçük Ortalama Kare (Least Mean Square) (LMS) Algoritması

LMS algoritması 1960 yılında Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiştir. Adaptif filtreleme uygulamalarında oldukça sık kullanılan bir algoritmadır. LMS algoritması tahmini gradyan algoritma ailesinin en önemli üyesidir. En önemli özelliği basitliği ve doğru koşullar altında tatmin edici sonuçlar için yeterli olmasıdır. İşlevlerinde uygun korelasyon fonksiyonlarının ölçümlerine ve matris tersinin varlığına ihtiyaç duymadan çalışan ileri yönlü bir algoritmadır (Haykin 1996).

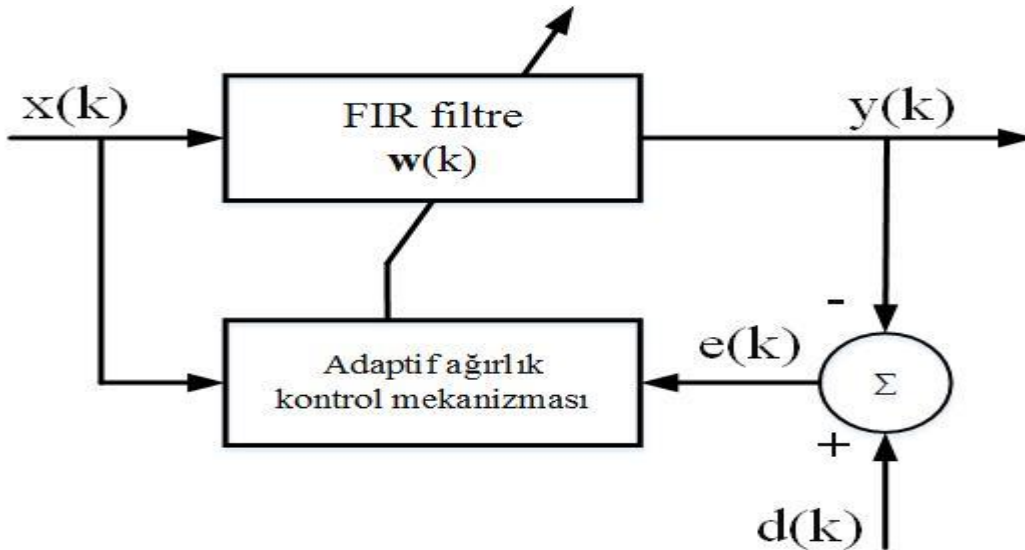
LMS algoritması iki temel işlemi içeren doğrusal bir adaptif filtreleme algoritmasıdır (Haykin 1996). Bunlar:

- i. Filtreleme işlemi
 - Giriş işareti uygulanarak FIR filtrenin çıkışının hesaplanması.

- Elde edilen çıkışın beklenen cevapla karşılaştırılıp tahmin hatasının oluşturulması.
- ii. Adaptif işlem
 - Tahmin hatasına göre filtre ağırlık katsayılarını adaptif olarak ayarlama işlemi

Bu iki işlemin birlikte çalışması Şekil 3.14'te görüldüğü gibi LMS algoritması etrafında bir geri beslemeli döngü meydana getirmektedir. Öncelikle Şekil 3.13'te görülen LMS algoritması etrafında bir FIR filtre oluşturulur. FIR filtre filtreleme işlemini yerine getirmekten sorumludur. İkinci olarak FIR filtrenin ağırlık katsayıları üzerindeki adaptif kontrol işlemini yerine getirmek için adaptif kontrol mekanizması oluşturulur (Haykin 1996).

LMS algoritmasının kararlı olarak çalışabilmesi için gerekli olan anlamlı kriter $\lim_{k \rightarrow \infty} J(k) < \infty$ şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifade $J(k)$ 'nin (ortalama kare hatası) sonlu bir değere sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bu kriteri sağlayan algoritmaların ortalama karede yakınsak olduğu ifade edilmektedir (Haykin 1996).



Şekil 3.14 LMS tabanlı adaptif algoritma blok diyagramı (Haykin 1996).

$\nabla J(k)$ gradyan vektörünün tam ölçümleri her bir n iterasyonunda yapılabilir ve μ adım büyüklüğü parametresi uygun olarak seçilebilirse ağırlık katsayı vektörü en dik inme algoritması ile hesaplanarak optimum Wiener çözümüne yaklaşmaktadır. Fakat gerçekte,

$R(k)$ dal giriş korelasyon matrisi ve $p(k)$ beklenen cevapla dal girişleri arasındaki çapraz korelasyon vektörünün her ikisinin de önceden bilinmesi gerekmektedir. Bu değerler önceden bilinmediğinden gradient vektörü elimizde bulunan veriler kullanılarak elde edilmektedir. Sonuç olarak ağırlık katsayıları giriş verilerine göre hesaplanmaktadır. Bu şekilde çalışan algoritma LMS algoritmasıdır (Sevim 2007).

$\nabla J(k)$ gradyan vektörünün tahminini oluşturmak için $p(k)$ ve $R(k)$ gradyan eşitlik denkleminde yerine koyulursa denklem Denklem 3.11 elde edilmektedir.

$$\nabla J(k) = -2p + 2Rw(k) \quad (3.11)$$

$R(k)$ ve $p(k)$ tahminlerinin en basit seçimi giriş vektörü ve beklenen cevabın sırasıyla Denklem 3.12 ve Denklem 3.13'te görüldüğü gibi anlık tahminlerini kullanmaktır (Haykin 1996).

$$R(k) = x(k)x^T(k) \quad (3.12)$$

$$p(k) = x(k)d(k) \quad (3.13)$$

Denklem 3.12 ve Denklem 3.13, Denklem 3.11'da yerine koyulursa gradyan vektörünün anlık tahmini Denklem 3.14'te görüldüğü gibi ifade edilmektedir.

$$\nabla J(k) = -2x(k)d(k) + 2x(k)x^T(k)w(k) \quad (3.14)$$

Burada $|e(k)|^2$ anlık kare hatasına uygulanan ∇ gradyan operatörü, $\nabla J(k)$ 'nin tahmini olarak görülebilir. $\nabla J(k)$ gradyan vektörü için en uygun dik inme algoritması kullanılarak Haykin (1996)'ya göre ağırlık vektörünün güncellemesi için Denklem 3.15 kullanılır.

$$w(k+1) = w(k) + \mu x(k)[d(k) - x^T(k)w(k)] \quad (3.15)$$

Denklem 3.16 ile Denklem 3.18 arasında tanımlanan eşitlikler adaptif LMS algoritması eşitlikleridir. Algoritmanın her bir tekrarında veya zaman güncellemesinde $x(k)$, $d(k)$ ve

$w(k)$ 'nin en son değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (Haykin 1996).

i. Filtre çıkışı

$$y(k) = w^T(k)x(k) \quad (3.16)$$

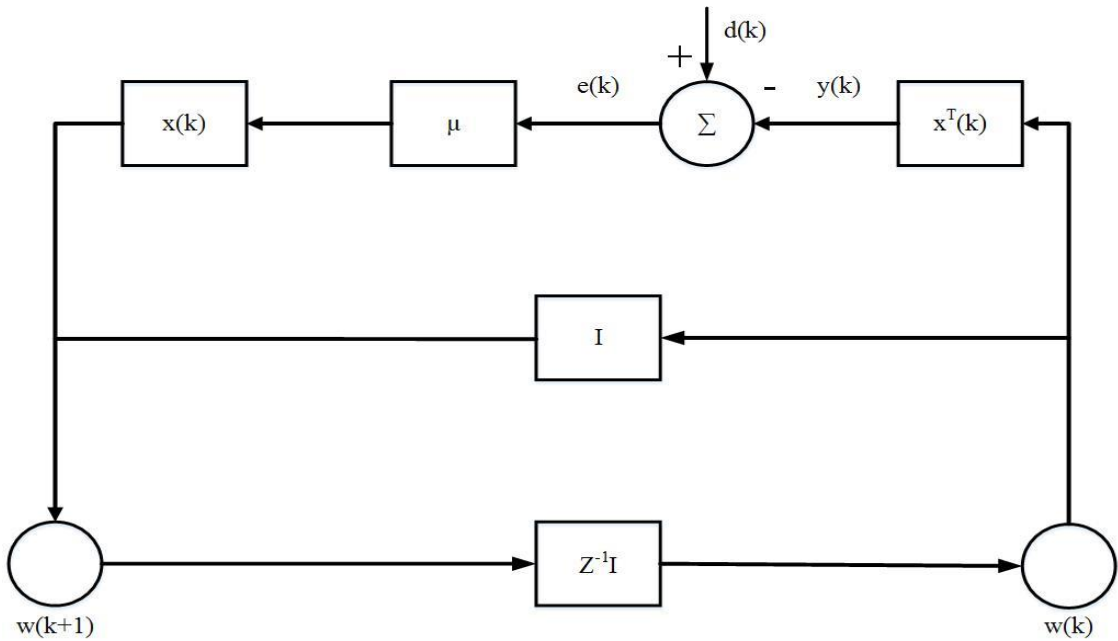
ii. Hata

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad (3.17)$$

iii. Filtre ağırlık katsayısı güncelleme denklemi

$$w(k+1) = w(k) + \mu x(k)e(k) \quad (3.18)$$

Denklem 3.16 ve Denklem 3.17'nin hesaplanması, $w(k)$ ağırlık katsayısı vektörünün geçerli tahminine dayanan, tahmin hatasını tanımlamaktadır. Denklem 3.18'in sağ tarafındaki $\mu x(k)e(k)$ ifadesi $w(k)$ ağırlık katsayısı vektörünün geçerli tahminine uygulanan düzeltmeyi ifade etmektedir. Tekrarlı işlemler $w(0)$ başlangıç değerinden başlamaktadır (Haykin 1996).



Şekil 3.15 LMS algoritmasının temsili sinyal akış grafiğinin temsili (Haykin 1996).

Şekil 3.15'teki sinyal akış grafiğinden de LMS algoritmasının basitliği anlaşılmaktadır. M adaptif FIR filtrede filtre ağırlık katsayı vektörü sayısı olmak üzere LMS adaptasyon algoritması her tekrarda sadece $2M+1$ kompleks çarpımını ve $2M$ kompleks toplamını gerektirmektedir. Bu nedenle LMS algoritmasının işlemsel karmaşıklığı M olmaktadır (Haykin 1996).

$R(k)$ ve $p(k)$ 'nin sırasıyla Denklem 3.11 ve Denklem 3.12'deki anlık tahminleri nispeten büyük değişimlere sahiptir. LMS algoritması bu anlık tahminleri kullandığından ilk bakışta performansı düşük görülebilmektedir. Ancak LMS algoritmasının tekrarlı yapıda olması nedeni ile adaptasyon sırasında bu tahminleri etkin bir şekilde ortalamaktadır (Haykin 1996).

Algoritma basamakları (Önder 2007);

- Parametreler:

M = Filtre derecesi (FIR filtredeki kademe sayısı)

μ = Adım büyüklüğü,

$$0 < \mu < \frac{2}{\text{giriş-kademe gücü}}$$

giriş-kademe gücü = $\sum_{k=0}^{M-1} E[|x(k-1)|^2]$

- Başlatım:

Eğer $w(k)$ ağırlık katsayısı vektöründeki birincil bilgi mevcutsa, bu bilgi $w(0)$ için yaklaşık bir değer seçmek için kullanılır. Aksi durumda $w(0)=0$ olarak ayarlanır.

- Veri:

$x(k)=M \times 1$ boyutlu k zamanındaki giriş vektörü.

$d(k)=k$ zamanındaki beklenen çıkış.

- Hesaplanacak

$$y(k) = w^T(k)x(k)$$

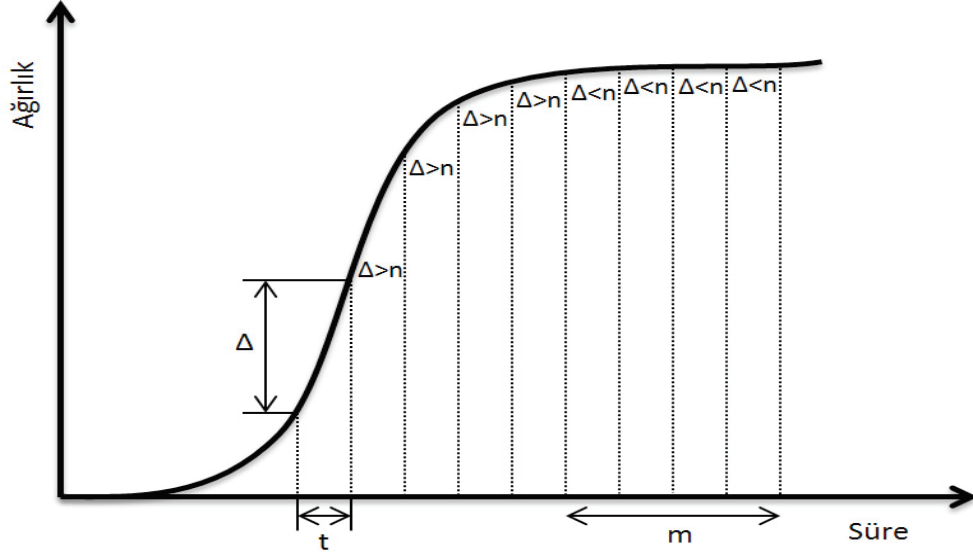
$$e(k) = d(k) - y(k)$$

$$w(k+1) = w(k) + \mu x(k)e(k)$$

hesaplamalar, $k=0, 1, 2, \dots$, için yapılmaktadır.

3.6 Kararlılık İşlemi

Filtreleme işlemleri sonucu oluşan ağırlık ölçüm sinyeline kararlılık işlemi uygulanarak tartım süresinde tartılan ürünlerin ağırlığının kararlı olduğu ağırlık değeri belirlenmektedir. Şekil 3.16’da kararlılık işlemi şeması görülmektedir.



Şekil 3.16 Kararlı ağırlık belirleme işlem şeması (Yabanova ve Yumurtacı 2016).

Şekil 3.16’da görülen:

Δ = Ardışık iki veri arasındaki değişim

t = Ölçüm süresi

n = Kararlılık aralığı

m = Kararlılık aralığındaki veri sayısı

Şekil 3.16’da da görüldüğü gibi kararlılık işlemi ardışık iki veri arasındaki değişim miktarı olan Δ ’nın, kararlılık aralığı n ’den küçük olması ve bu şekilde m tane verinin gelerek m . verinin kararlı ağırlık değeri olarak belirlenmesi şeklinde çalışmaktadır.

Bu tez çalışmasında uygulanan kararlılık işlemi ile kararlı ağırlığı belirlemek için;

$n = 0,5$ gr

$m = 5$ tane olarak seçilmektedir.

Bu şekilde kararlı ağırlığın belirlenebilmesi için ardışık iki ölçüm verisi arasındaki farkın 0,5 gr'dan küçük olması ve bu şekilde 5 adet verinin art arda gelmesi gerekmektedir. Bu şekilde gelen verilerden 5. veri kararlı ağırlık olarak belirlenmektedir.

3.7 Matrix Laboratory (Matris Laboratuvarı) (MATLAB) ile Filtre Tasarımı

MATLAB programı (Matrix Laboratory) 1985 yılında C.B. Moler tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. MATLAB işlemlerini matrisler yardımıyla gerçekleştirmektedir. Teknik hesaplamalar ve matematiksel problemlerin çözümünde ve analizinde kullanılan güçlü bir simülasyon yeteğine sahip bir bilgisayar programıdır (İnt.Kyn.6). MATLAB programı ile bilgisayar ortamında bu işlemleri yerine getirebilmek için bir kullanıcı arayüzüne sahiptir.

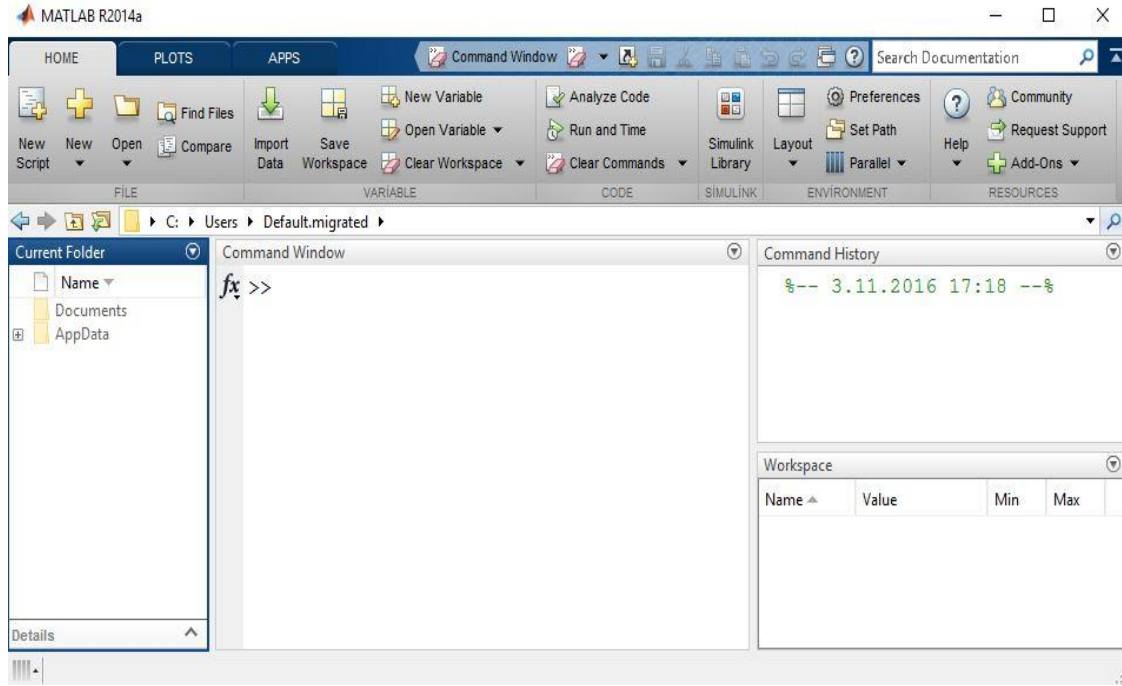
MATLAB programı mühendislik alanları, sistem analizi, görüntü işleme, sinyal işleme, yapay sinir ağları, bulanık mantık olmak üzere birçok alanda kullanıma sahiptir. Bu işlemlerin her biri için MATLAB'da ayrı ayrı toolbox (araç kutusu) bulunmaktadır. Toolbox'lar çeşitli bilimsel alan ve konularda yazılan MATLAB fonksiyon dosyalarından oluşmaktadır. Bunlardan bazıları, signal processing toolbox(sinyal işleme araç kutusu), control systems toolbox (kontrol sistemleri araç kutusu), system identification toolbox (sistem tanımlama araç kutusu), neural network toolbox (yapay sinir ağları araç kutusu)'tır.

3.7.1 MATLAB Kullanıcı Arayüzü

Bu tez çalışmasında sayısal filtre tasarımı gerçekleştirebilmek için MATLAB R2014a programı kullanılmıştır. MATLAB programı çalıştırıldığı zaman kullanıcı tercihi göre Resim 3.7'de görülen pencere açılmaktadır.

Açılan pencerede görülen current folder (çalışma klasörü) içerisinde okutulacak veri dosyaları, çalıştırılacak programlar ve yazılan programın çalışması için gerekli olan dosyalar burada bulunmaktadır. Command window (komut penceresi) bütün komutların çalıştırıldığı pencerede fonksiyon, program ve klasör çalıştırılmaktadır. Command

history (komut kaydı) program içerisinde kullanılan komutların tutulduğu penceredir. Bu pencere kullanılarak komut geçmişine ulaşılabilir ve aynı komutlar tekrar çalıştırılabilir. Editor (derleyici) ile bir programın algoritma akış kurallarına göre yazılıp derlenebilmesini sağlamaktadır.



Resim 3.7 MATLAB kullanıcı arayüzü.

3.7.2 Dijital Sinyal İşleme Araç Kutusu (Digital Signal Processing (DSP) Toolbox)

DSP araç kutusu sinyal işleme, analiz, simülasyon ve dizayn için algoritma ve uygulamalar içermektedir. İletişim, ses, radar, medikal araçlar ve endüstriyel uygulamalar için gerçek zamanlı modelleme yapma imkânı sunmaktadır. DSP araç kutusu ile FIR, IIR ve adaptif filtreler dizayn ve analiz edilebilir (İnt.Kyn.7). 1-boyutlu ve 2-boyutlu sinyal işleme ile ilgili fonksiyonları içermekte ve ayrıca sayısal filtreler için geliştirilen analiz ve tasarım fonksiyonları ile güç spektrumu analizine ilişkin fonksiyonları da içermektedir.

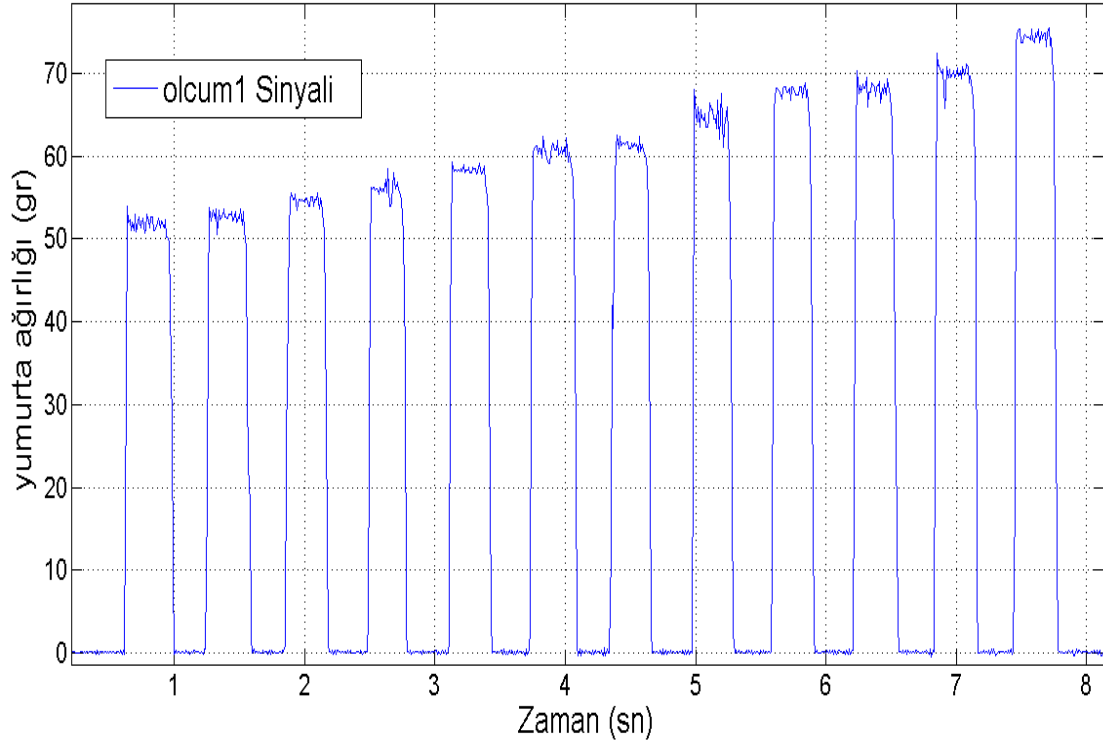
3.7.3 MATLAB ile Sayısal Filtre Tasarımı

Bu tez çalışmasında sayısal filtre tasarımında kullanılan ağırlık sinyalleri Çizelge 3.1'de

statik ağırlıkları verilen 12 adet yumurtanın Bölüm 3.3’te anlatılan dinamik tartım sistemi kullanılarak 4 kez tartılması sonu elde edilmiştir. Elde edilen ağırlık sinyalleri MATLAB ortamında tartım sırasına göre `olcum1.mat`, `olcum2.mat`, `olcum3.mat`, `olcum4.mat` dosyası olarak `sinyal.mat` dosyası içerisine kaydedilmiştir. Ağırlık sinyalleri Şekil 3.17 ile Şekil 3.20 arasında gösterilmektedir.

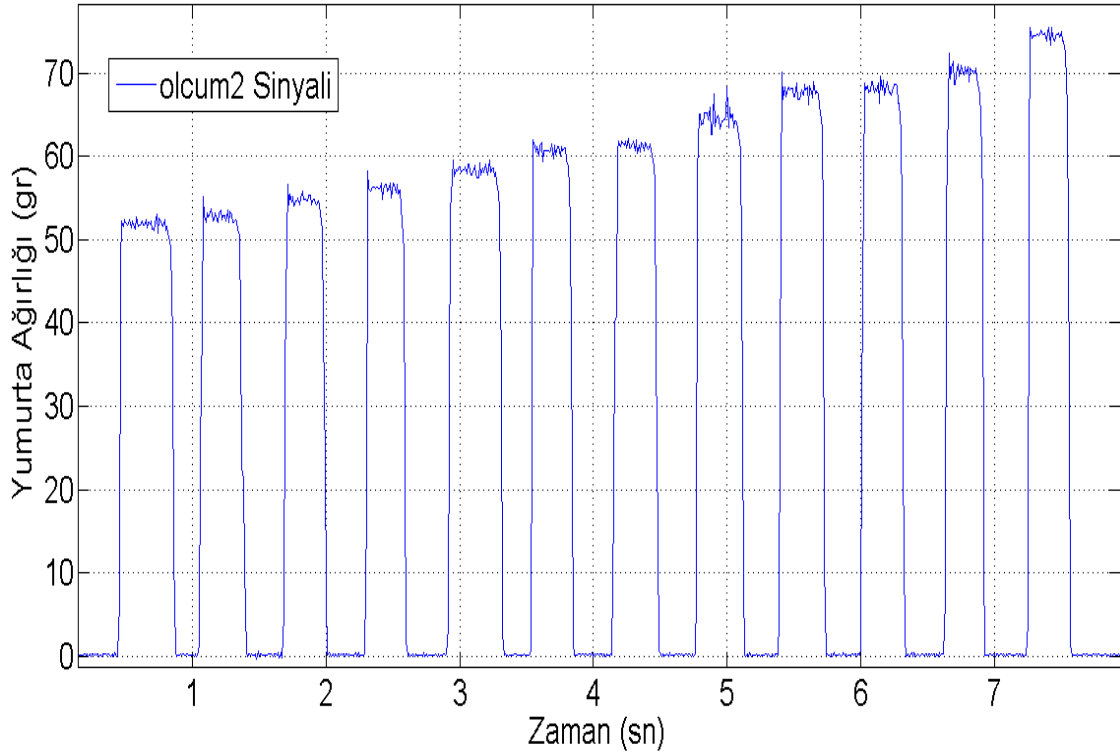


Ağırlık Ölçüm Sinyali



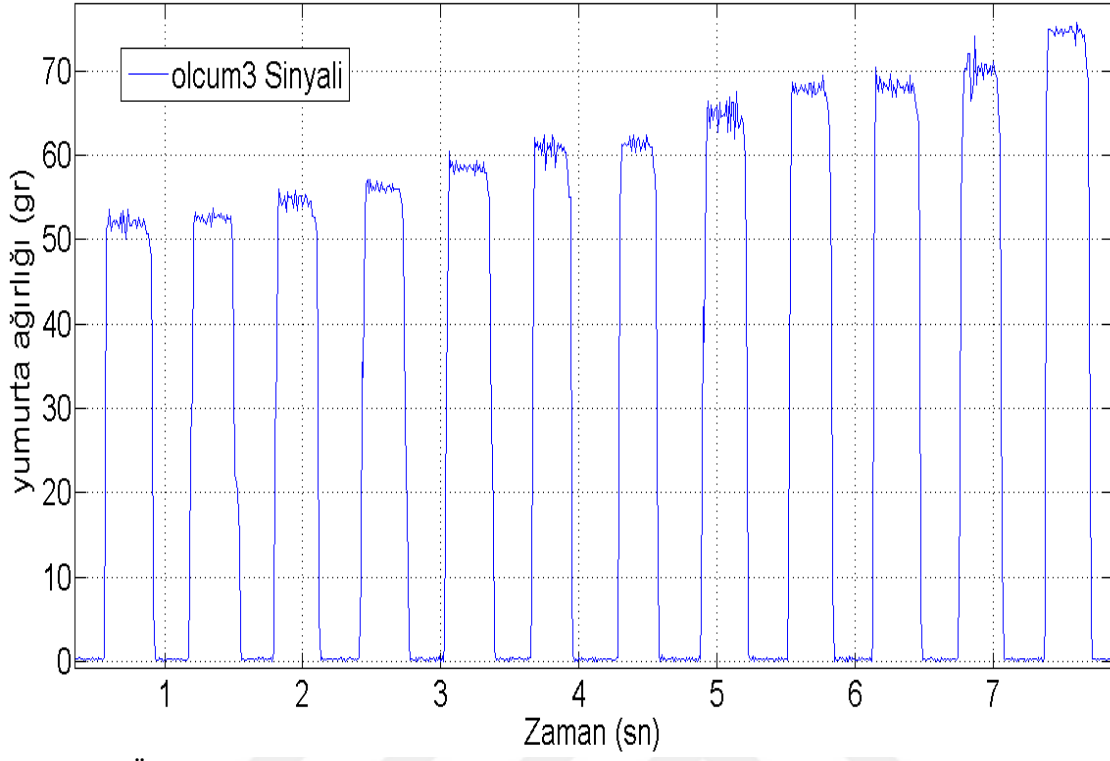
Şekil 3.17 Birinci tartım ağırlık ölçüm (olcum1) sinyali.

Ağırlık Ölçüm Sinyali



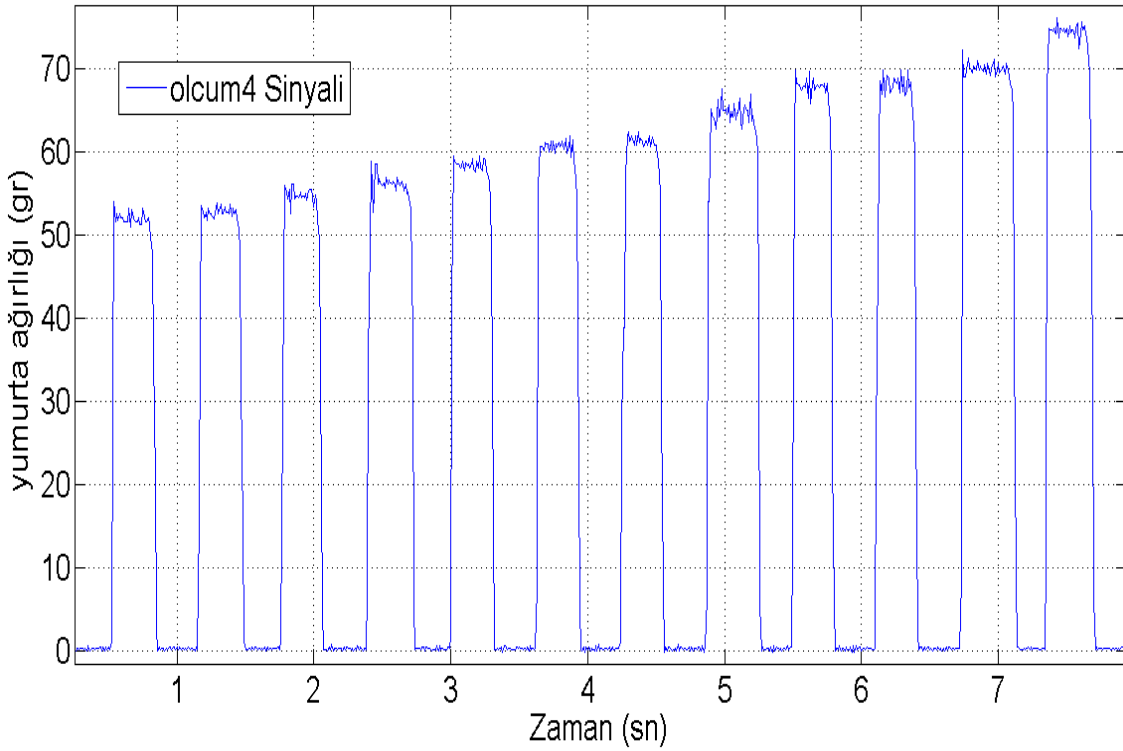
Şekil 3.18 İkinci tartım ağırlık ölçüm (olcum2) sinyali.

Ağırlık Ölçüm Sinyali



Şekil 3.19 Üçüncü tartım ağırlık ölçüm (ölçüm3) sinyali.

Ağırlık Ölçüm Sinyali



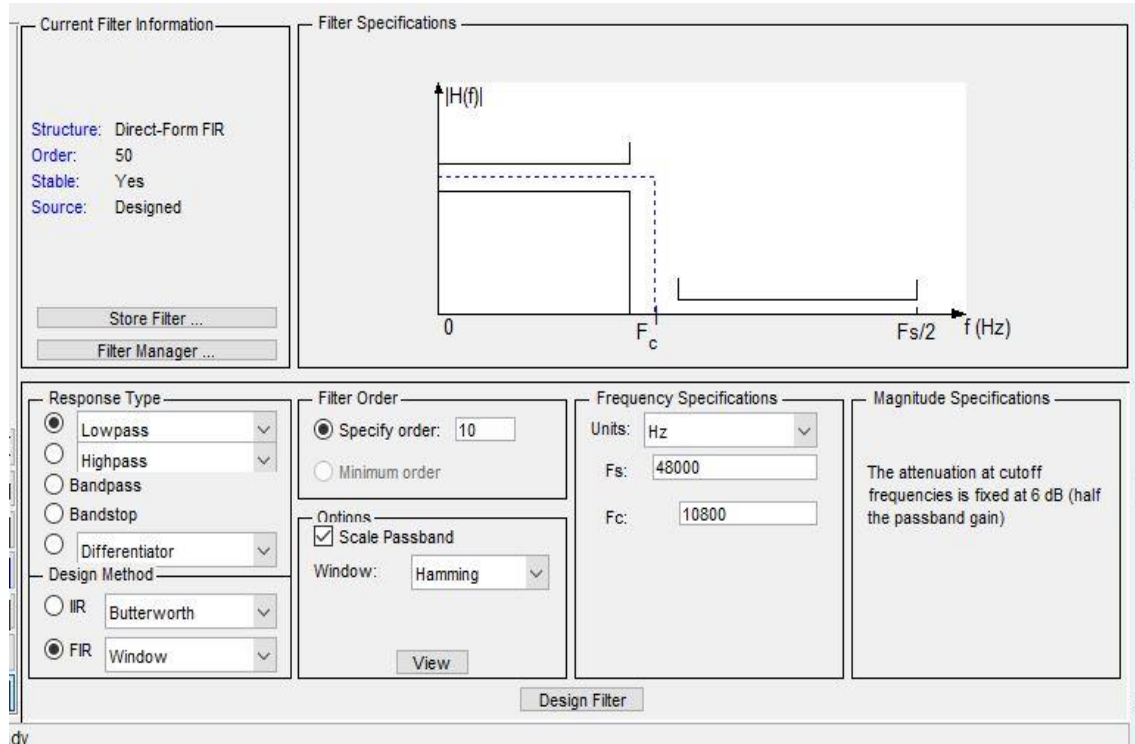
Şekil 3.20 Dördüncü tartım ağırlık ölçüm (olcum4) sinyali.

Bölüm 3'te verilen sayısal filtreleme yöntemleri kullanılarak Şekil 3.17 ve Şekil 3.20 arasında verilen ağırlık ölçüm sinyallerini filtrelemek, filtre sonuçlarına kararlılık işlemi uygulamak ve filtre sonuçlarını simüle etmek için MATLAB ortamında yazılmış olan sabit pencere filtresi ve adaptif LMS filtresinin uygulama kodları EK'te verilmektedir.

3.7.3.1 MATLAB ile Sabit Pencere Filtresi Tasarımı

MATLAB ortamında FIR filtre çeşitlerinden pencere filtresi tasarlamak için DSP araç kutularından filter design & analysis toolbox (filtre dizayn ve analizi araç kutusu) (fdatool) kullanılmaktadır. MATLAB komut penceresine fdatool komutu yazılması sonucu Resim 3.8'de görülen pencere açılmaktadır.

Resim 3.8'de görülen pencere kullanılarak filtrelerin tasarım metodu, frekans cevabı, kesim ve örnekleme frekansı gibi parametreler girilerek filtre tasarımı ve analizi gerçekleştirilmektedir. Sabit pencere filtresi tasarımında tasarım metodu için FIR filtre çeşitlerinden pencere filtresi, frekans cevabı için low-pass (alçak geçiren) filtre, örnekleme frekansı 100 Hz ve kesim frekansı için de 10 Hz seçilmiştir.



Resim 3.8 Filtre dizayn ve analizi araç kutusu arayüzü.

Resim 3.8’de görülen pencere kullanılarak filtre tasarımı sonucunda elde edilen sabit pencere filtre tasarım kodları MATLAB ortamına aktarılmaktadır. MATLAB ortamında gürültülü ağırlık sinyali sabit pencere filtreleri kullanılarak filtrenmekte, oluşan filtre sonuçlarına kararlılık işlemi uygulanmakta ve bu işlemler ile elde edilen sonuçlar simüle edilmektedir. MATLAB ortamında sabit pencere filtreleri kullanılarak ağırlık sinyalini filtrelemek, filtre sonuçlarına kararlılık işlemi uygulamak ve filtre sonuçlarını simüle etmek için yazılmış olan filtre uygulama kodları EK:1, EK:2, EK:3, EK:4’te verilmektedir.

3.7.3.2 MATLAB ile Adaptif LMS Filtresi Tasarımı

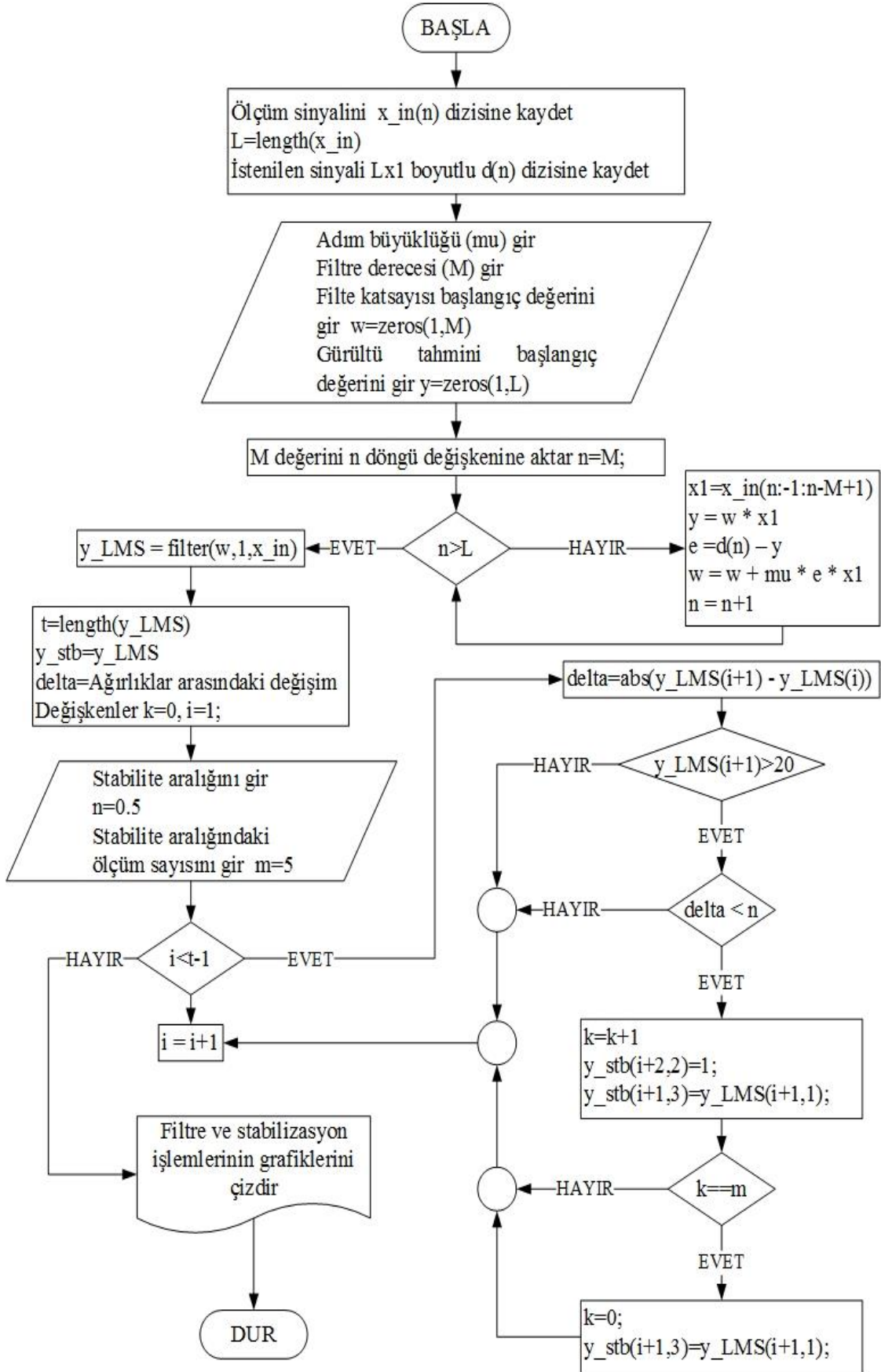
Şekil 3.17 ile Şekil 3.20 arasında verilen *olcum1*, *olcum2*, *olcum3*, *olcum4* ağırlık ölçüm sinyalleri incelendiğinde aynı yumurta için dört ayrı ağırlık ölçüm sinyalinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu sinyalleri filtreleyebilmek için adaptif filtreleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında sinyalleri filtreleyebilmek için adaptif LMS filtresi kullanılmaktadır. Filtre uygulaması MATLAB ortamında gerçekleştirilmektedir.

LMS algoritmasının MATLAB ortamında yazılmış olan fonksiyon kodları EK:5’te verilmektedir. MATLAB ortamında filtre derecesi $M=10$ ve adım büyüklüğü $\mu=0,00000031$ olan adaptif LMS filtresi kullanılarak gürültülü ağırlık ölçüm sinyalini filtrelemek, filtre sonuçlarına kararlılık işlemi uygulamak ve filtre sonuçlarını simüle etmek için yazılmış olan filtre uygulama kodları EK:6’da verilmektedir.

Şekil 3.21’de MATLAB ortamında yazılmış olan adaptif LMS filtresi uygulama kodlarının akış diyagramı görülmektedir. Akış diyagramına göre filtreleme işlemi başlamadan önce ölçüm sinyali, sabitler ve başlangıç değerleri tek tek tanımlanmaktadır. Adaptif LMS filtresi ilk olarak giriş sinyalinden tanımlanan filtre derecesi (M) uzunluğunda bir dizi olarak işleme başlamaktadır. Alınan bu dizi ile başlangıçta tanımlanmış olan filtre ağırlık katsayısının başlangıç değeri çarpılır ve gürültü tahmini (y) elde edilmektedir. İstenilen sinyal (d)’ den gürültü tahmini (y) çıkartılarak tahmin hatası (e) hesaplanmaktadır. Elde edilen bu tahmin hatası (e) ve başlangıçta kullanılan adım

büyüküğü ve M uzunluğundaki filtre giriş dizisi kullanılarak adaptif LMS filtresi ağırlık katsayısı elde edilmektedir. Bu işlemler giriş sinyalinin bütün değerleri için tek tek tekrar edilerek adaptif LMS filtresi ağırlık katsayıları elde edilir. Bu ağırlık katsayıları kullanılarak ölçüm sinyali filtrelenmektedir. Filtre sonucuna kararlılık işlemi uygulanmaktadır.





Şekil 3.21 Adaptif LMS filtresi akış diyagramı.

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında adaptif LMS filtresi ve sabit pencere filtreleri (Blackman, Hamming, Von Hann ve Rectangular) kullanılarak 12 adet yumurtanın dinamik tartım sistemi kullanılarak tartılması sonucu oluşan gürültülü ağırlık ölçüm sinyali filtrelenerek filtre sonuçlarına kararlılık işlemi uygulanmaktadır. Filtre uygulama sonuçları grafiklerle, kararlılık işlemleri sonucu elde edilen kararlı ağırlık değerleri çizelgelerde verilmektedir. Ayrıca ortama hata oranı parametresi tanımlanarak adaptif LMS filtresi ve sabit pencere filtrelerinin performansları karşılaştırılmaktadır.

4.1 Gürültülü Ağırlık Sinyallerine Adaptif LMS Filtresinin Uygulanması

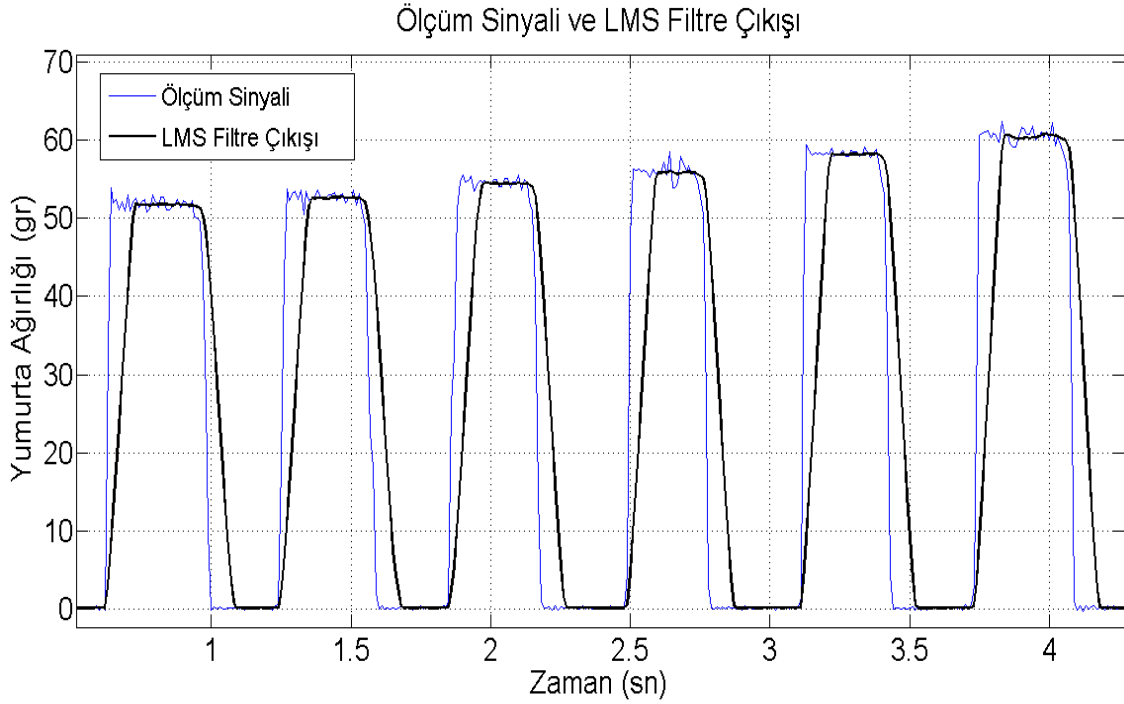
12 adet yumurtanın ayrı ayrı 4 kez dinamik tartım sistemi kullanılarak tartılması sonucu oluşan 4 ayrı ağırlık ölçüm sinyali (olcum1, olcum2, olcum3, olcum4) Şekil 3.17 ile Şekil 3.20 arasında verilmektedir. Ağırlık tartımı işlemini sırasında her seferinde farklı gürültüler meydana geldiğinden ölçüm sinyalleri incelendiğinde aynı yumurtanın 4 ayrı ağırlık ölçüm sinyalinde birbirinden farklı olduğu görülmektedir.

Şekil 3.17 ile Şekil 3.20 arasında verilen ağırlık ölçüm sinyalleri adaptif LMS filtresi kullanılarak filtrelenmiştir. Adaptif LMS filtresi filtre katsayılarını giriş sinyaline göre belirlemektedir. Bu nedenle adaptif LMS filtresinin 4 ayrı ağırlık ölçüm sinyalini filtrelemek için kullandığı ağırlık katsayıları birbirinden farklı olmaktadır. Adaptif LMS filtresinin 4 ayrı ağırlık ölçüm sinyalini filtrelemek için belirlediği ağırlık katsayıları Çizelge 4.1’de verilmektedir.

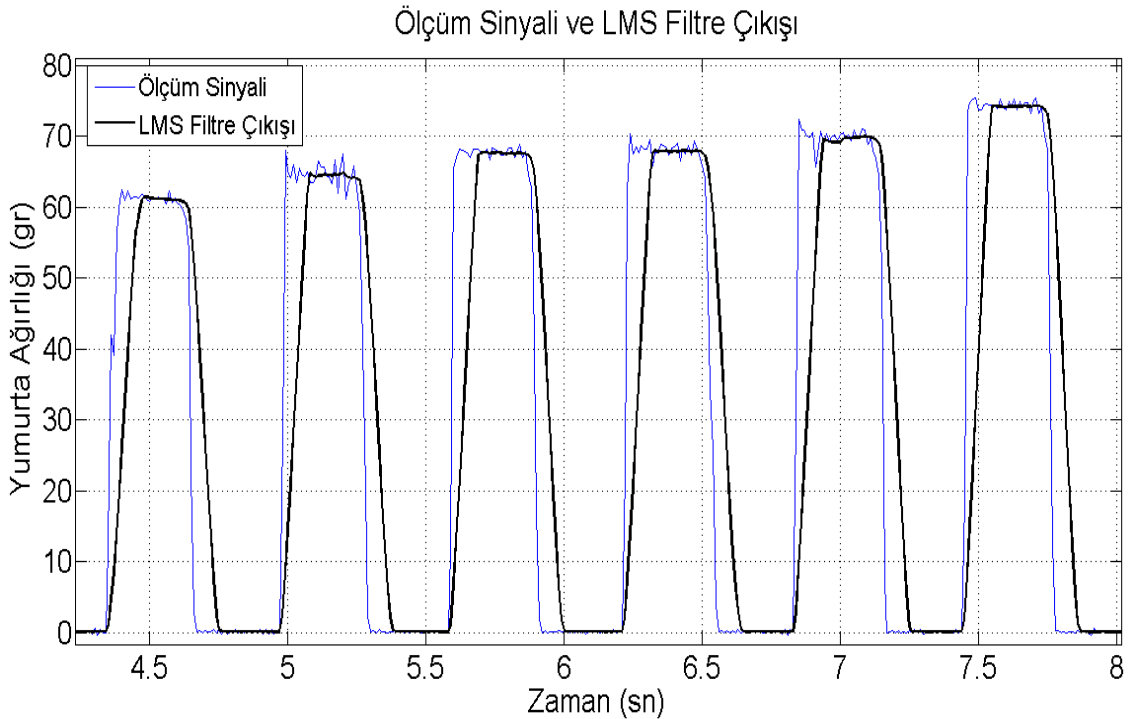
Çizelge 4.1 Adaptif LMS filtresinin 4 farklı ölçüm sinyali için belirlediği filtre ağırlık katsayıları.

Ağırlık Katsayıları	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
olcum1	0,0865	0,0911	0,0967	0,1022	0,1065	0,1083	0,1074	0,1041	0,0995	0,0950
olcum2	0,0871	0,0915	0,0969	0,1024	0,1066	0,1085	0,1076	0,1043	0,0999	0,0956
olcum3	0,0870	0,0916	0,0969	0,1022	0,1062	0,1080	0,1072	0,1041	0,0998	0,0954
olcum4	0,0866	0,0913	0,0969	0,1024	0,1066	0,1085	0,1075	0,1042	0,0997	0,0950

Adaptif LMS filtresinin Çizelge 4.1’de verilen ağırlık katsayılarını kullanılarak 4 ayrı ağırlık ölçüm sinyalini filtrelemesi sonucu oluşan filtre çıkış sinyalleri Şekil 4.1 ile Şekil 4.8 arasında verilmektedir.

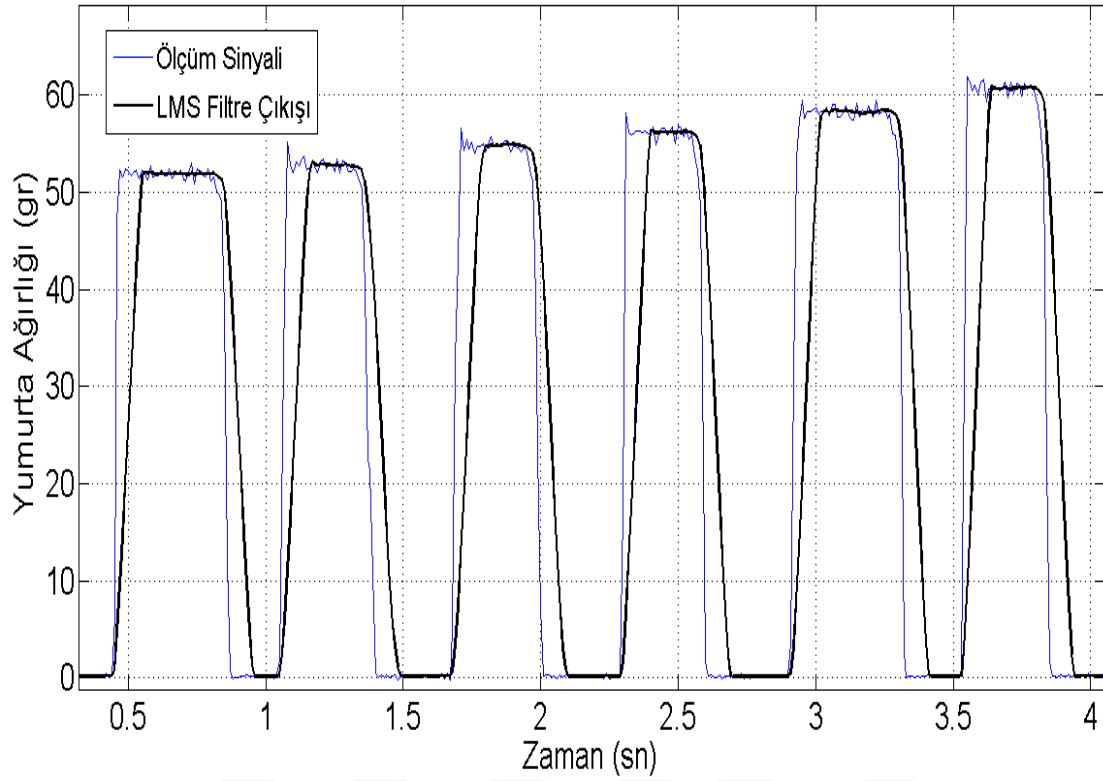


Şekil 4.1 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum1 için).



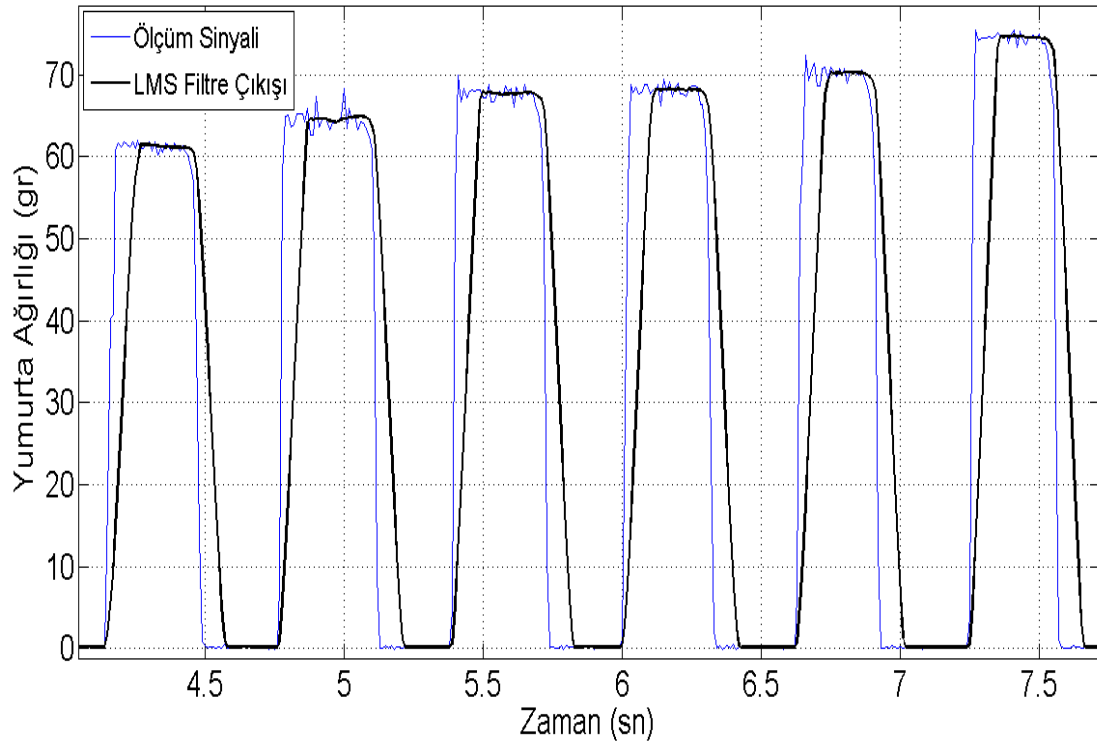
Şekil 4.2 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum1 için).

Ölçüm Sinyali ve LMS Filtre Çıkışı



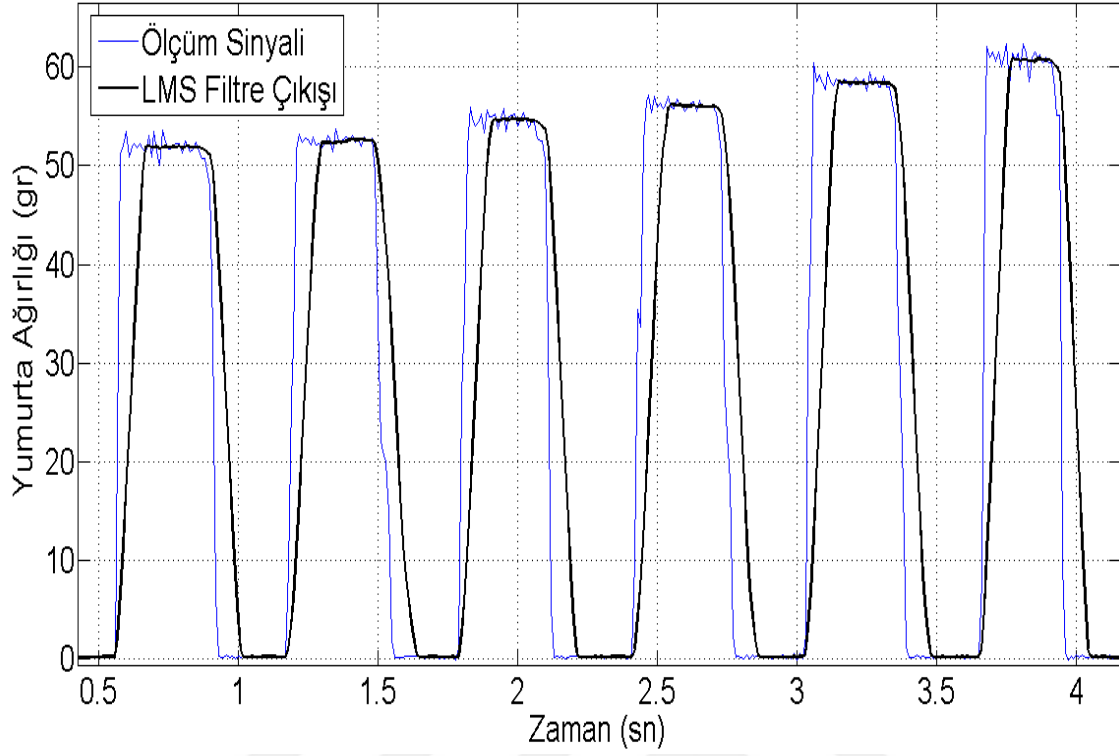
Şekil 4.3 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum2 için).

Ölçüm Sinyali ve LMS Filtre Çıkışı



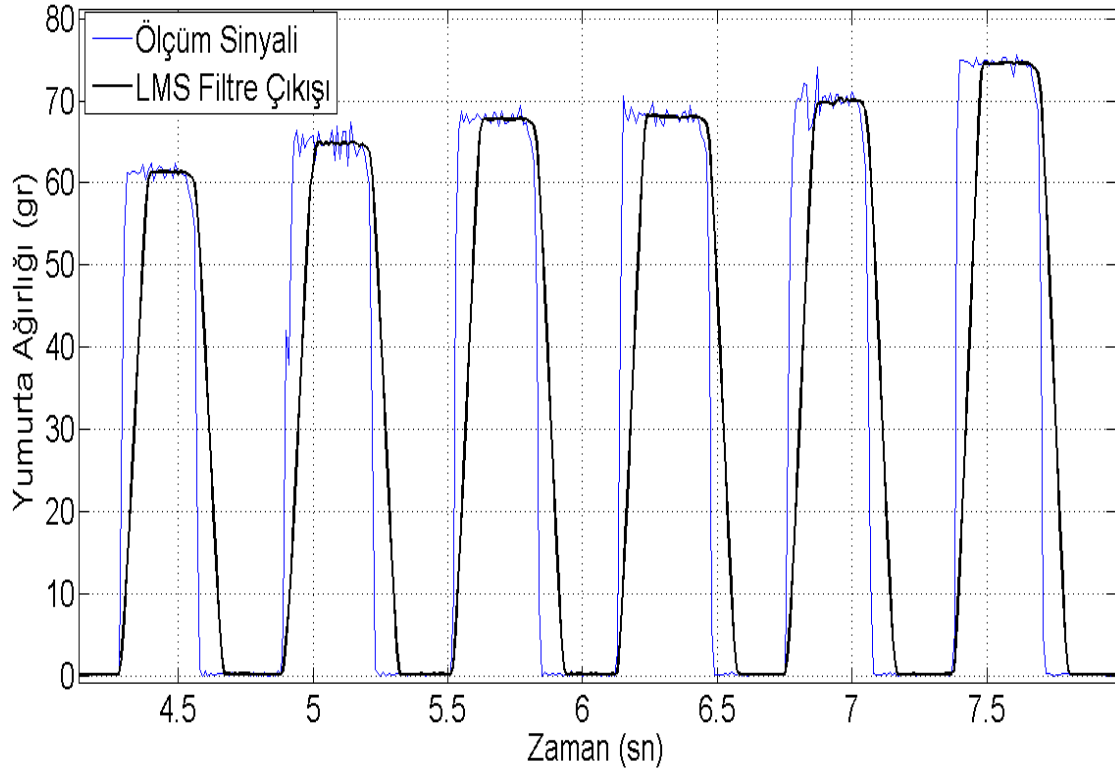
Şekil 4.4 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum2 için).

Ölçüm Sinyali ve LMS Filtre Çıkışı



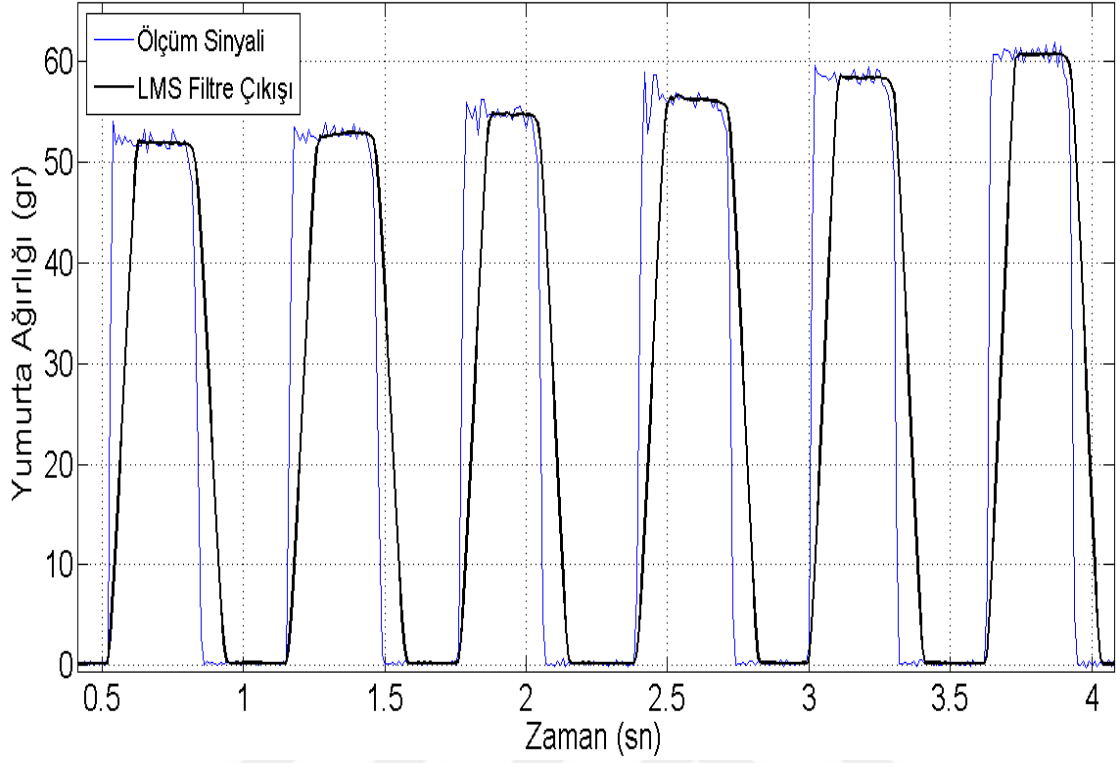
Şekil 4.5 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum3 için).

Ölçüm Sinyali ve LMS Filtre Çıkışı



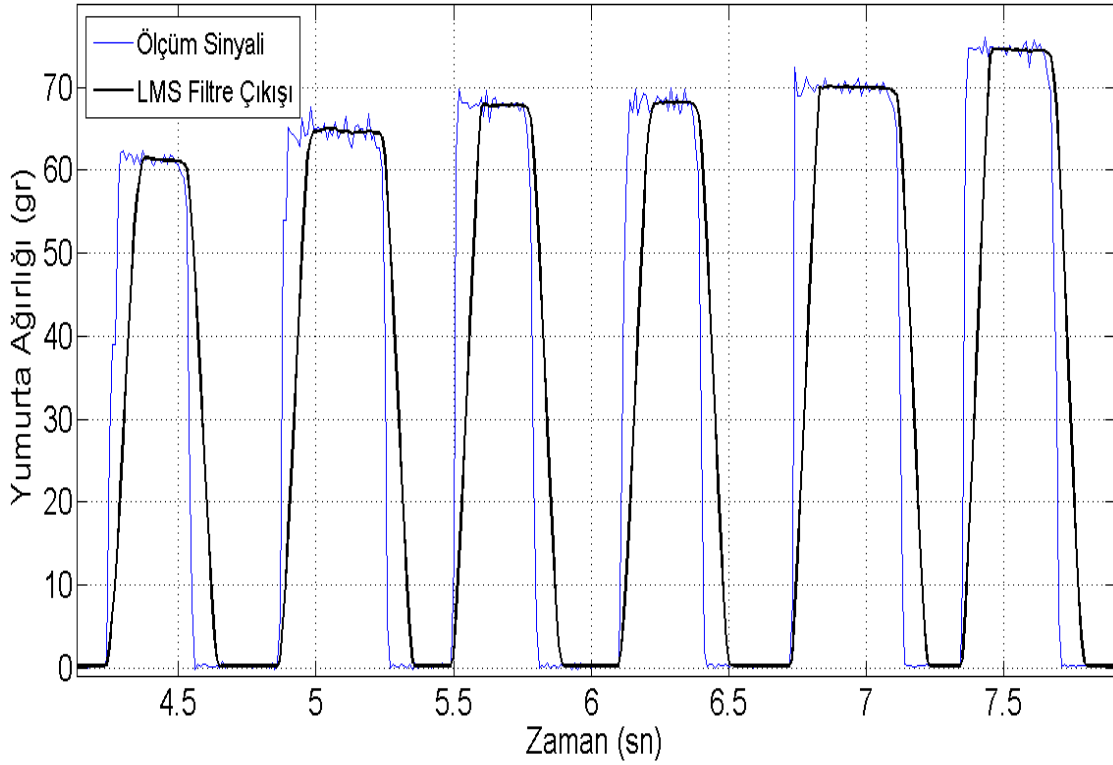
Şekil 4.6 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum3 için).

Ölçüm Sinyali ve LMS Filtre Çıkışı



Şekil 4.7 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum4 için).

Ölçüm Sinyali ve LMS Filtre Çıkışı



Şekil 4.8 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre sinyali (olcum4 için).

4 ayrı ağırlık ölçüm sinyalinin adaptif LMS filtresi ile filtrelenmesi sonucu oluşan filtre sonuçlarına Bölüm 3.6 anlatılan kararlılık işlemi uygulanmaktadır. Çizelge 4.2’de 12 adet yumurtanın kararlılık işlemi ile elde edilen kararlı ağırlık değerleri verilmektedir.

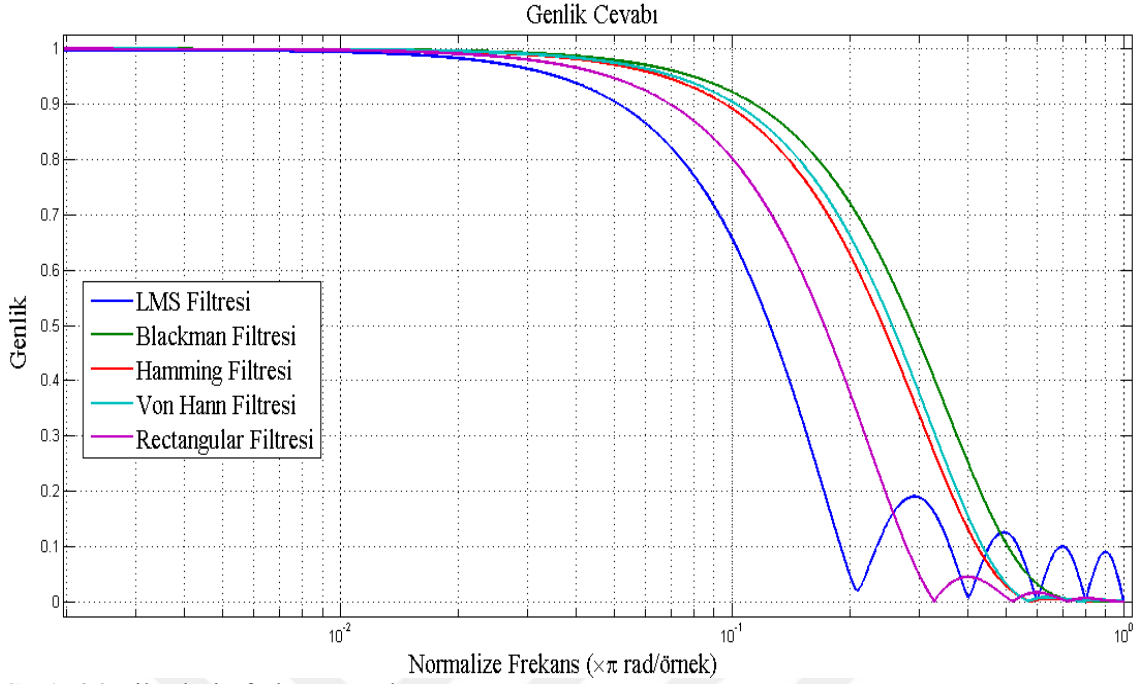
Çizelge 4.2 Statik ağırlık ve kararlılık işlemi ile belirlenen kararlı ağırlık değerleri.

Yumurta Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Statik Ağırlık (gr)	51,9	52,7	54,6	56,1	58,4	60,7	61,2	64,7	67,8	68,1	70	74,5
olcum1 Filtre Sonucu	51,6	52,5	54,4	55,8	58,1	60,1	61,1	64,6	67,6	67,8	69,1	74,0
olcum2 Filtre Sonucu	51,9	52,8	54,8	56,2	58,4	60,7	61,4	64,6	67,7	68,3	70,3	74,7
olcum3 Filtre Sonucu	51,7	52,3	54,6	56,0	58,4	60,7	61,3	64,9	67,8	68,0	69,7	74,5
olcum4 Filtre Sonucu	51,8	52,7	54,8	56,1	58,3	60,6	61,2	65,0	67,7	68,1	70,0	74,5

4.2 Adaptif LMS Filtresi ve Sabit Pencere Filtrelerinin Karşılaştırılması

Filtrelerin performanslarının karşılaştırılması Bölüm 3.5’te belirtilen frekans bölgesi parametrelerine göre yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan adaptif LMS filtresi ve sabit pencere filtresinin frekans frekans cevapları Şekil 4.9’a birlikte gösterilmektedir.

Şekil 4.9’ daki frekans cevap grafiğine göre performansı en yüksek olan filtrenin adaptif LMS filtresi, performansı en düşük olan filtrenin Blackman filtresi olduğu görülmektedir. Şekil 4.9’a göre filtrelerin performansı yüksek olandan filtreden düşük olan filtreye doğru adaptif LMS filtresi, Rectangular, Von Han filtresi, Hamming filtresi ve Blackman filtresi şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 4.9 Filtrelerin frekans cevabı.

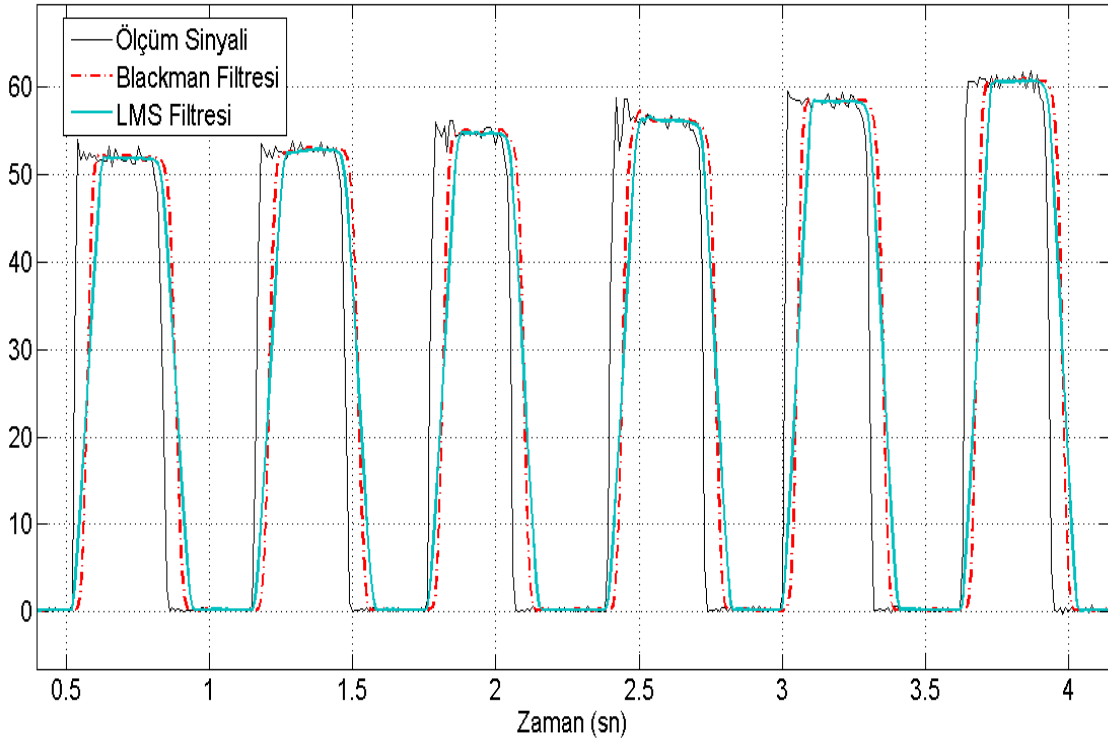
Adaptif LMS filtresi ve pencere filtrelerinin performanslarını karşılaştırabilmek için olcum4 sinyali filtrelenmektedir. Filtreleme yöntemlerinin olcum4 sinyalini filtrelemek için belirlediği ağırlık katsayı Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3 Filtreleme yöntemlerinin belirlediği ağırlık katsayı değerleri.

Filtre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LMS	0,0866	0,0913	0,0969	0,1024	0,1066	0,1085	0,1075	0,1042	0,0997	0,0950
Blackman	0	0,0056	0,0495	0,1630	0,2819	0,2819	0,1630	0,0495	0,0056	0
Hamming	0,0022	0,0174	0,0737	0,1662	0,2405	0,2405	0,1662	0,0737	0,0174	0,0022
Von Hann	0	0,0113	0,0691	0,1691	0,2505	0,2505	0,1691	0,0691	0,0113	0
Rectangular	0,0185	0,0622	0,1077	0,1452	0,1664	0,1664	0,1452	0,1077	0,0622	0,0185

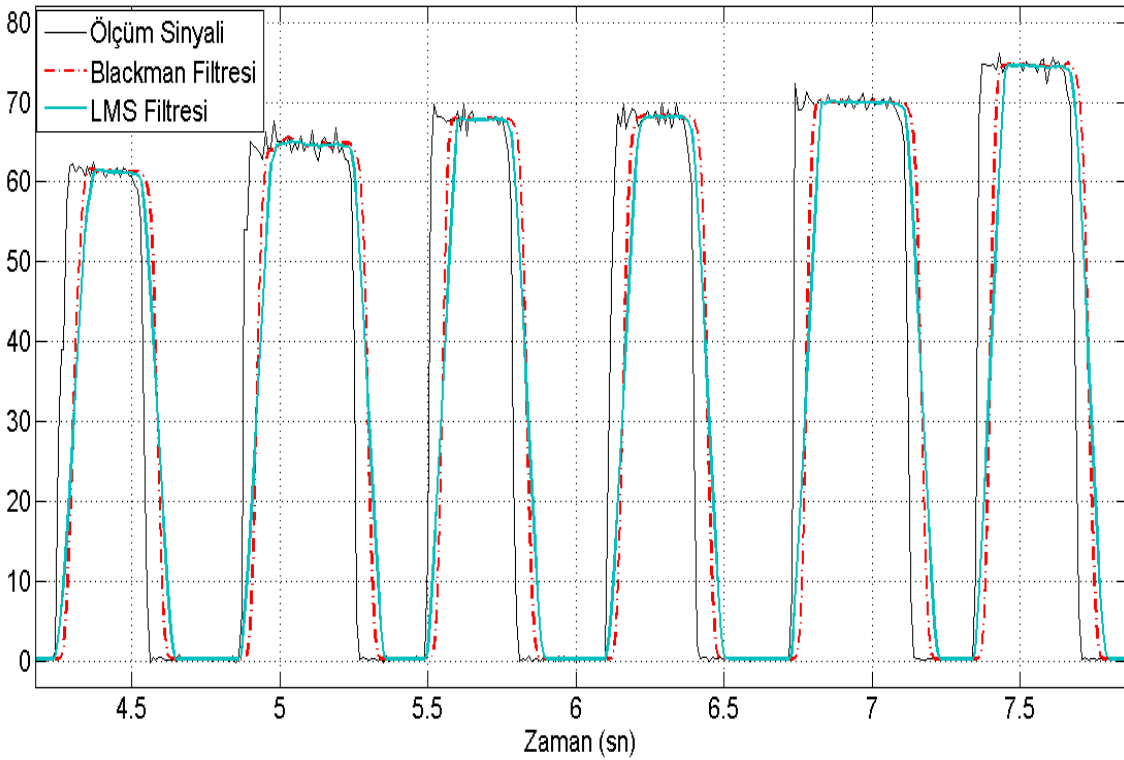
Adaptif LMS filtresi ve sabit pencere filtrelerinin Çizelge 4.1'de verilen ağırlık katsayılarını kullanarak olcum4 sinyalini filtrelemesi sonucu oluşan filtre çıkış sinyalleri Şekil 4.1 ile Şekil 4.8 arasında birlikte karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

LMS Filtre ve Blackman Filtre Çıkışı



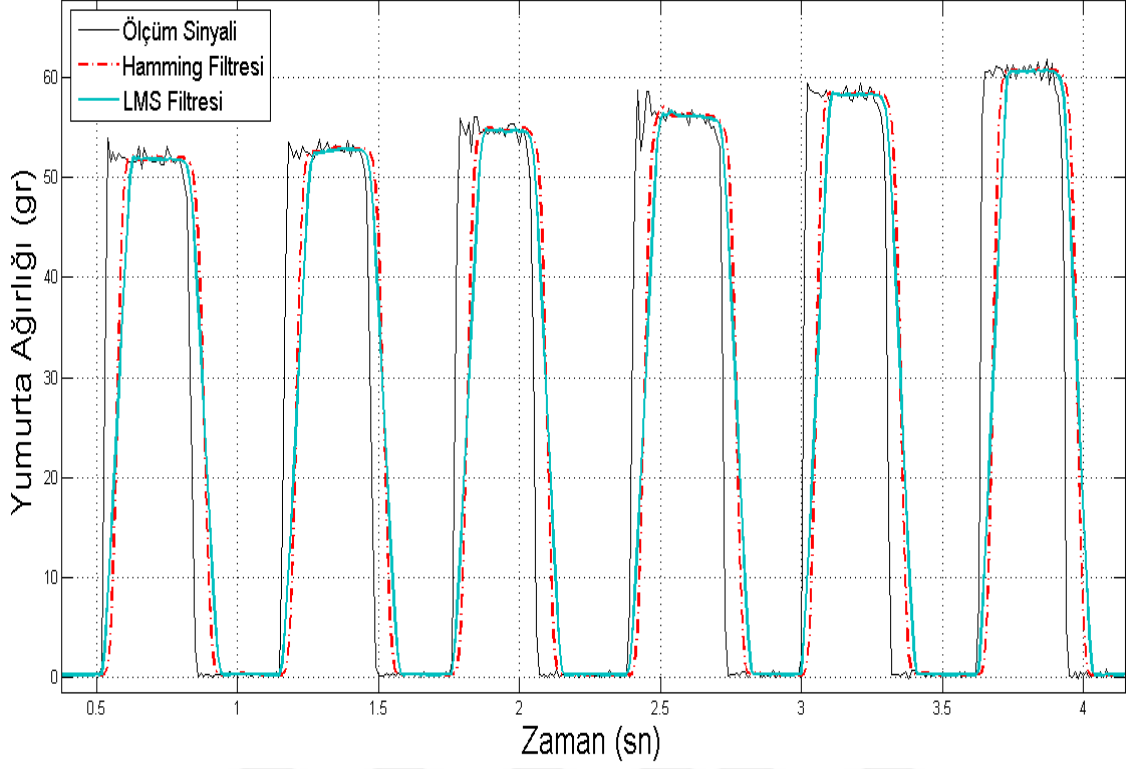
Şekil 4.10 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS filtre ve Blackman çıkış sinyali.

LMS Filtre ve Blackman Filtre Çıkışı



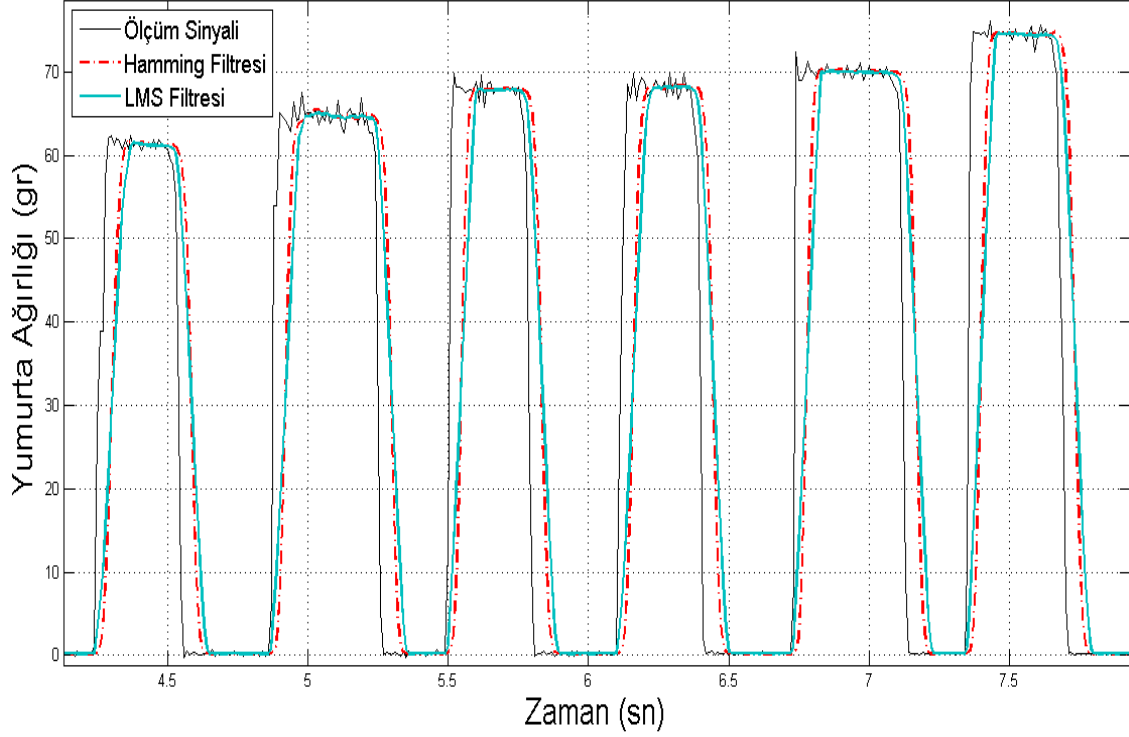
Şekil 4.11 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS filtre ve Blackman çıkış sinyali.

LMS Filtre ve Hamming Filtre Çıkışı



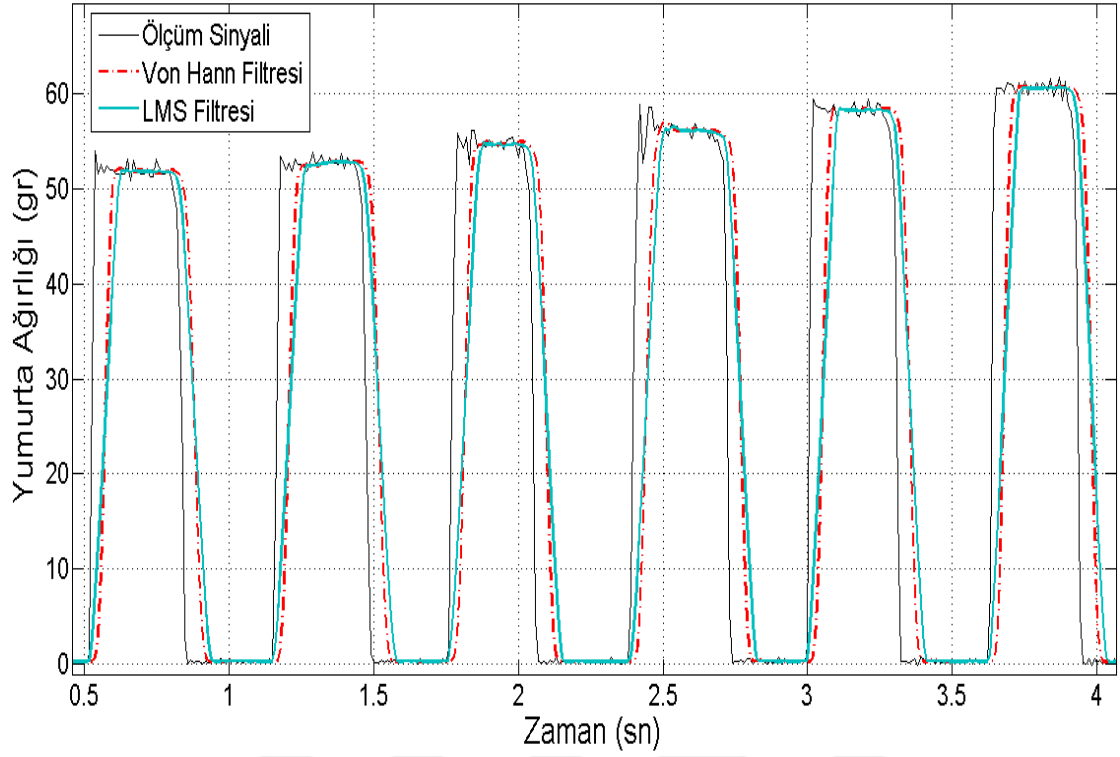
Şekil 4.12 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS filtre ve Hamming çıkış sinyali.

LMS Filtre ve Hamming Filtre Çıkışı



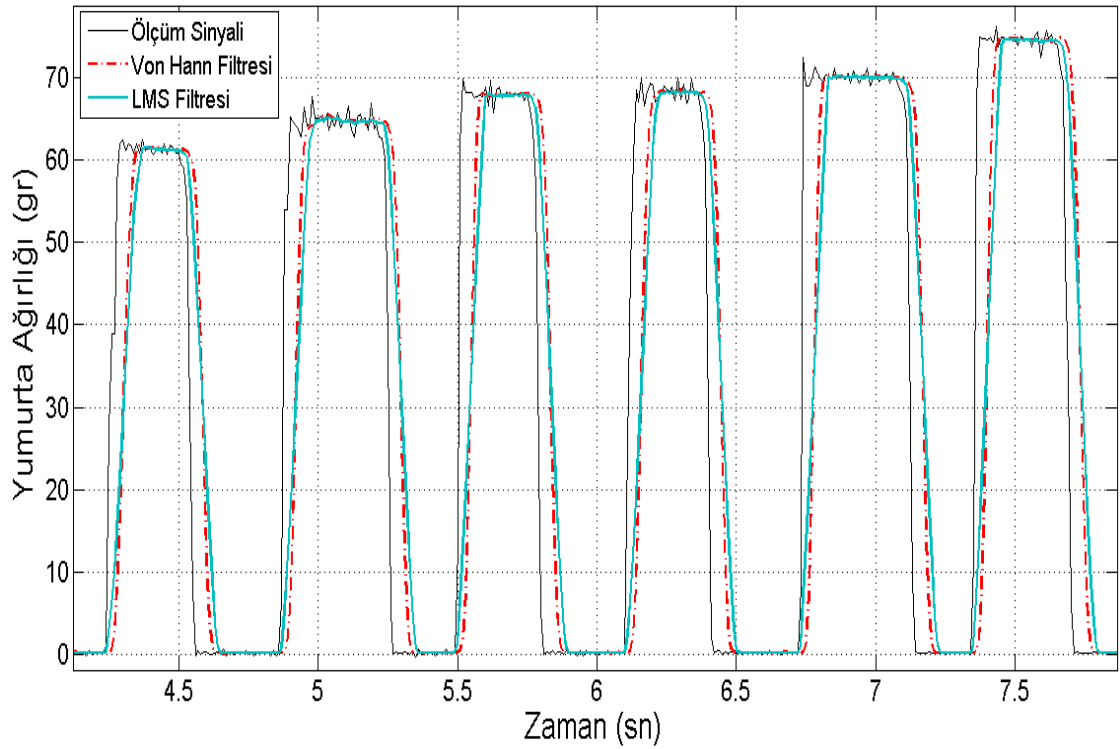
Şekil 4.13 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS filtre ve Hamming çıkış sinyali.

LMS Filtre ve Von Hann Filtre Çıkışı



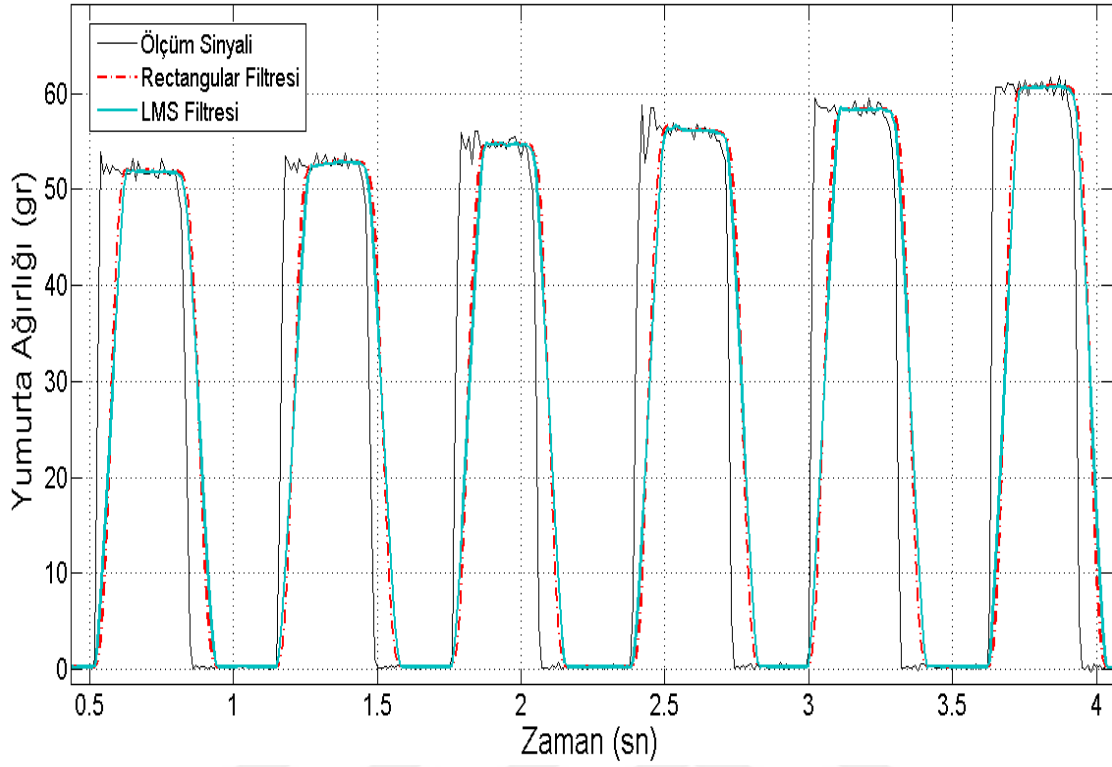
Şekil 4.14 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS ve Von Hann filtresi çıkış sinyali.

LMS Filtre ve Von Hann Filtre Çıkışı



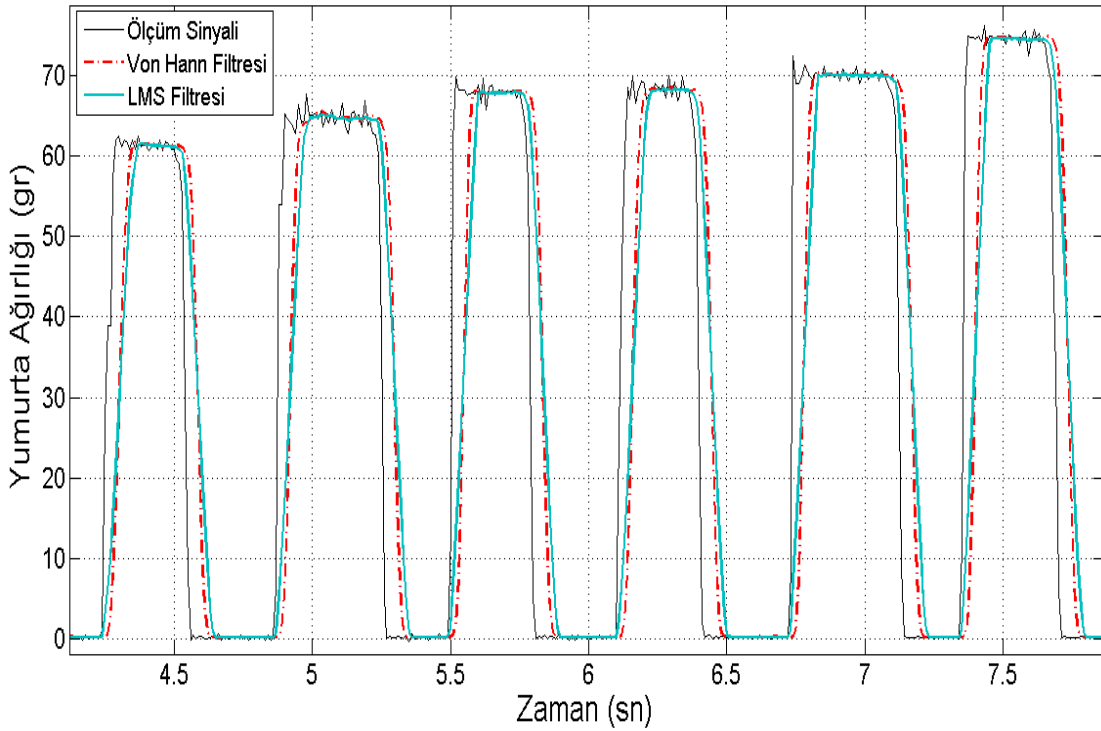
Şekil 4.15 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS ve Von Hann filtresi çıkış sinyali.

LMS Filtre ve Rectangular Filtre Çıkışı



Şekil 4.16 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS ve Rectangular filtresi çıkış sinyali.

LMS Filtre ve Von Hann Filtre Çıkışı



Şekil 4.17 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali, LMS ve Rectangular filtresi çıkış sinyali.

olcum4 sinyalinin adaptif LMS filtresi ve sabit pencere filtreleri ile filtrelenmesi sonucu oluşan filtre sonuçlarına Bölüm 3.6 anlatılan kararlılık işlemi uygulanmaktadır. Çizelge 4.4'te 12 adet yumurtanın kararlılık işlemi ile elde edilen kararlı ağırlık değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.4 Yumurtaların statik ağırlıkları ve kararlılık işlemi ile belirlenen kararlı ağırlık değerleri.

Yumurta Numarası	Statik Ağırlık Değerleri	LMS	Blackman	Hamming	Von Hann	Rectangular
1	51,9	51,8	51,7	51,7	51,7	51,8
2	52,7	52,7	52,6	52,5	52,5	52,6
3	54,6	54,8	54,6	54,6	54,6	54,8
4	56,1	56,1	57,2	56,8	56,8	56,5
5	58,4	58,3	58,3	58,3	58,3	58,4
6	60,7	60,6	60,8	60,7	60,7	60,7
7	61,2	61,2	61,5	61,4	61,4	61,4
8	64,7	65,0	64,3	64,1	65,1	65,0
9	67,8	67,7	67,8	67,8	67,8	67,8
10	68,1	68,1	68,4	67,9	68,3	68,1
11	70,0	70,0	70,3	70,1	69,9	70,1
12	74,5	74,5	74,6	74,7	74,7	74,7

4.3 Adaptif LMS Filtresi ve Sabit Pencere Filtresi Uygulama Sonuçları

Şekil 4.9'da 12 adet yumurtanın gürültülü ağırlık sinyalini filtrelemek için kullanılan adaptif LMS filtresi ve sabit pencere filtrelerinin frekans cevapları birlikte verilmektedir. Bölüm 3.5'te bir filtrenin performansının iyi olabilmesi için frekans cevap grafiğinde yer alan geçirme bandı dalgacığı, geçiş bandı genişliği ve durdurma bandı zayıflatması parametrelerinin sahip olması gereken karakteristikler anlatılmaktadır. Buna göre bu tez çalışmasında kullanılan filtrelerin performansı yüksekte düşüğe doğru doğru adaptif LMS filtresi, Rectangular, Von Han filtresi, Hamming filtresi ve Blackman filtresi şeklinde sıralanmaktadır.

Çizelge 4.4'te 12 adet yumurtanın statik ağırlık değerleri ve gürültülü ağırlık ölçüm (olcum4) sinyaline filtreleme işlemi uygulanması sonucu oluşan filtre çıkışlarına kararlılık işlemi uygulanarak elde edilen kararlı ağırlık değerleri birlikte verilmektedir. Çizelge 4.4'te verilen statik ağırlık değeri ile kararlı ağırlık değeri kullanılarak bir ortalama hata oranı parametresi tanımlanarak bu hata oranı parametresine göre filtrelerin performansları karşılaştırılmaktadır. Ortalama hata oranı, yumurtaların kararlı ağırlık değerleri ile statik ağırlık değerleri arasındaki farkın mutlak değeri alınarak oluşan hata miktarlarının toplanıp tartılan yumurta sayısına bölünmesi sonucu elde edilmektedir. Buna göre adaptif LMS filtresi 0,075, Rectangular filtresi 0,125, Von Hann filtresi 0,175, Hamming filtresi 0,183 ve Blackman filtresi 0,241 gr ortalama hata oranı ile ağırlığını belirleyebilmektedir.

Filtrelerin ortalama hata oranına göre performansı yüksekten düşüğe doğru adaptif LMS filtresi, Rectangular filtresi, Von Hann filtresi, Hamming filtresi ve Blackman filtresi şeklinde sıralanmaktadır. Ortalama hata oranına göre ve Şekil 4.9'da verilen frekans cevap parametrelerine göre filtrelerin performans sıralamasının aynı olduğu görülmektedir. Her iki performans sıralamasına göre performansı en yüksek olan filtrenin adaptif LMS filtresi olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar gözönüne alındığında adaptif LMS filtresinin sabit pencere (Blackman, Hamming, Rectangular, Von Hann) filtrelerine göre dinamik yumurta tartım sisteminde sinyal filtreleme uygulamasında daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Dinamik yumurta tartım sistemleri endüstriyel yumurta üretim sistemlerinde birim zamanda tartılan ürün sayısını artırarak tartım işleminin hızlı ve ekonomik olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle endüstriyel üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dinamik yumurta tartım sisteminin sahip olduğu bu avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan en önemlisi tartım işlemi sırasında tartılan yumurtanın ve tartım sisteminin hareketli olmasından kaynaklanan gürültü adı verilen düşük frekanslı titreşimlerin ağırlık sinyaline eklenmesi nedeniyle tartılan yumurtanın ağırlığının doğru olarak elde edilememesidir. Dinamik yumurta tartım sisteminin sahip olduğu bu dezavantajı ortadan kaldırmak için gürültülü ağırlık sinyali filtrelenerek sinyaldeki gürültülerin kaldırılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında dinamik yumurta tartım sisteminden alınan gürültülü ağırlık sinyali adaptif LMS filtresi ve sabit pencere (Blackman, Hamming, Von Hann, Rectangular) filtresi kullanılarak filtrelenmektedir. Bu sayede dinamik yumurta tartım sisteminde tartılan yumurtaların ağırlıkları doğru olarak elde edilmektedir. Bölüm 4.3'te verilen filtre uygulama sonuçları incelendiğinde dinamik yumurta tartım sisteminden alınan gürültülü ağırlık sinyalini adaptif LMS filtresinin başarılı bir şekilde filtreleyerek daha doğru tartım sonucu elde ettiği görülmektedir.

Literatürde sinyal filtreleme işlemi için bir çok filtre uygulama yöntemi bulunmaktadır. İleride yapılacak olan dinamik tartım sistemlerinde sinyal filtreleme uygulamaları için adaptif filtreleme yöntemlerinden olan adaptif normalised least mean squares (normalize edilmiş en küçük ortalama kareler) (NLMS) ve adaptif recursive least squares (özyineli en küçük kareler) (RLS) filtreleme yöntemleri kullanılabilir. Eğer dinamik tartım sisteminin matematiksel modeli tam olarak ifade edilebilirse sinyal filtreleme yöntemlerinden adaptif kalman filtresi de kullanılabilir. Ayrıca adaptif ve adaptif olmayan filtreleme yöntemleri ile yapay sinir ağları veya bulanık mantık yöntemleri birleştirilerek dinamik ağırlık tartım sistemleri için sinyal filtreleme uygulaması gerçekleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2014. TC GTHB, Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği. TC Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Yayın No: 29211, Resmi Gazete.
- Avcı, K. (2008). Design of High-Quality Low-Order Nonrecursive Digital Filters Using the Window Functions. Doktora Tezi. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Batık, Z. (2011). Sayısal Filtre Tasarım Yöntemleri ve Performans Analizleri. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Bertsekas, D.P. (1995). Nonlinear Programming. Athena Scientific, Belmont, USA.
- Chen, N., Li, Q., Li, F., and Jia, Z. (2013). A Data Processing Algorithm Based on Vehicle Weigh-in-Motion Systems. 9th International Conference on Natural Computation, Inner Mongolia University, Hohhot, 23-25 July, 227-231.
- Diniz, P.S.R. (2008). Adaptive Filtering Algorithms and Practical Implementation. Springer, 3. Edition, Rio de Janeiro, Brazil.
- Gajda, J., Sroka, M., Stencel, M., Zeglen, T., Piwowar, P., Bumos, P. and Marszalek, Z. (2015). Design and Accuracy Assessment of the Multi-Sensor Weigh-in-Motion System. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 11-14 May, 1036-1041.
- Güllü, M.K., Yaman, E. ve Ertürk, S. (2001). Kalman Filtresi ile Görüntü Stabilizasyonu. EEBM 9. Ulusal Kongresi, Kocaeli, 557-560.
- Halimic, W. and Balachandran, W. (1995). Kalman filter for dynamic weighing system. Industrial Electronics, 1995, Proceedings of the IEEE International Symposium vol:2, **3**: 2123-2129.
- Halimic, M., Halimic, A., Zugail, S. and Huneitti, Z.(2008). Intelligent Signal Processing for Electro-Mechanical Systems. Proceeding of the 5th International Symposium on Mechantronics and its Applications, University of Hail, Amman, 27-29 May, 1-5.

- Harb, A. M. (2013). Enhancing The Performance of Dynamic Weighing Systems Using Kalman Filter. Yüksek Lisans Tezi, Islamic University of Gaza, Faculty of Engineering Electrical Engineering Department, Gaza.
- Haykin, S. (1996). Adaptive Filter Theory. Prentice-Hall, 3. Edition, Waltham Abbey, United Kingdom.
- Kara, A. (2008). DSP Tabanlı Sayısal Filtre Tasarımı ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kasap, Z. (2008). Weight Measurement on Fast Conveyors. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kavsaoğlu, A. R. (2005). Adaptif Filtreleme ile Akustik Yankı İptali. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kayran, A. H. ve Ekşioğlu, E. M. (2010). Bilgisayar Uygulamalarıyla Sayısal İşaret İşleme, Birsen Yayınevi, 2. Baskı, İstanbul, Türkiye.
- Meixedo, A., Gonçaves, A., Çalçada, R., Gabriel, J., Fonseca, H. and Martins, R. (2015). Weighing in Motion and Wheel Defect Detection of Rolling Stock. 3rd Expreiment International Conference, Portugal, 2-4 June, 86-90.
- Mengüç, E. M. (2011). Lyapunov Kararlılık Teorisi Tabanlı Doğrusal Adaptif FIR Filtre Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Niedźwiecki, M. and Wasilewski A. (1996). Application of adaptive filtering to dynamic weighing of vehicles. *Control Engineering Practice*, **4**: 635-644.
- Ono, T. (2003). On Dynamic Weighing of Highway Vehicles in Motion. SICE Annual Conferance (Vol.2), Fukui, 4-6 August 2003, 2108-2115.
- Önder, Y. (2007). Adaptif FIR Filtre Kullanılarak Kısa Gecikmeli İşitsel Uyarıtım Potansiyellerinin İzlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Peters, S.D. and Antoniu, A. (1997). A Self-Tuning NLMS Adaptive Filter Using Parallel Adaptation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, **44**: 11-21.

- Rui, Z., Wen-hong, L. and Yin-jing, G. (2010). A Vehicle Weigh-in-Motion System Based on Hopfield Neural Network Adaptive Filter. 3rd International Communication and Mobile Computing Conference, Shenzhen, 12-14 April 2010, 123-127.
- Sevim, O. (2007). Gürültü Azaltmada LMS Adaptif Süzgeçlerin FPGA Kullanarak Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Smith, S.W. (1999). The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Publishing, 2. Edition, San Diego, California, ABD.
- Tanyıldızı, T. (2012). Akıllı Yöntemlerle Sayısal Filtre Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Wang, J. and Wu, M. (2004). An Overview of Research on Weigh-in-Motion System. 4th World Congress on Intelligent Control and Automation (Vol.6), 15-19 June 2004, 5241-5244.
- Xiao, J. and Lv, P. (2009). Application of Wavelet Transform in Weigh-in-Motion. International Workshop on Intelligent Systems and Applications, Wuhan, 23-24 May, 1-4.
- Xiaoyan, C. and Zhenliang, L. (2008). An Intelligent Dynamic Weighing Controller. IEEE International Conference on Automation and Logistics, Qingdao, China, 1-3 September, 1609-1612.
- Yabanova, İ. (2016). Dynamic Mass Measurement and Appropriate Filter Analysis. *Istanbul University–Journal of Electrical and Electronics Engineering*. **16**: 3033-3036.
- Yabanova, İ. ve Yumurtacı, M. (2016). Dinamik ağırlık ölçümü ve dalgacık dönüşümü uygulaması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, **1**: 7-12.
- Yamazaki, T. and Yamakawa, Y. (2015). Dynamic Behaviour and Control of High Speed Checkweigher (2nd report). SICE Annual Conferance, Hangzhou, China, 28-30 July, 104-107.

Zha, G., Li, C. and Xu, S. (2010). A Novel Calibration Approach Based on Recurrent Neural Network for Vehicle Weigh-in-Motion System. International Conference on Mechanical Automation and Control Engineering, Nanchang University, Nanchang, 26-28 June, 2830-2833.

Zhang, K. and Xu, S. (1990). Fast Finding The Steady Solution of an Elastic System. IEEE Region 10 Conference on Computer and Communication Systems, Hong Kong, September, 827-829.



İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.yasamvemoda.com/esit-kollu-terazi.html>, 20.10.2016
- 2- <http://www.instrumentacion-metrologia.es/DINAMOMETRO-KERN-285-052>,
20.10.2016
- 3- http://www.omega.co.uk/pressure/images/LCAE_1.jpg, 20.10.2016
- 4- <http://www.mtwim.com/VirtualWeighStation.htm>, 20.10.2016
- 5- http://www.technikpacking.com/KWD2_Specifications.html, 20.10.2016
- 6- <https://tr.wikipedia.org/wiki/MATLAB>, 03.11.2016
- 7- <https://www.mathworks.com/products/dsp-system/>, 03.11.2016



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mesut YANIK
Doğum Yeri ve Tarihi : Ünye – 29/10/1989
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 (544) 953 56 54 / mesutyanik3@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ünye Anadolu Lisesi (2005-2009)
Lisans : Sakarya Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği,
(2010-2014)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı, (2014-2017)

EK:1 Blackman Filtresi MATLAB Kodu (blackman.filtresi.m) (Devam)

```
if(y_blackman(i+1,1)>20)

    if(delta<n)
        k=k+1;
        stb_blackman(i+1,2)=1;
        stb_blackman(i+1,3)=y_blackman(i+1,1);

        if(k==m)
            k=0;
            den(i+1,1)=y_blackman(i+1,1);
        end
    end
end

end

%***** Blackman Filtre çıkışı ve Ölçüm sinyali
%*****
figure ,
t=0.01:0.01:(length(x_in)/100);
plot(t,x_in,'b')
hold on
plot(t,y_blackman,'r')
grid on
xlabel('Zaman (sn)');
ylabel('yumurta ağırlığı (gr)');
title('Ölçüm Sinyali ve Blackman Filtre Çıkışı');
legend('Ölçüm Sinyali','Blackman Filtre Çıkışı');
```


EK:2 Hamming Filtresi MATLAB Kodu (hamming_filtresi.m) (Devam)

```
if(delta<n)
    k=k+1;
    stb_blackman(i+1,2)=1;
    stb_blackman(i+1,3)=y_hamming(i+1,1);

    if(k==m)
        k=0;
        den(i+1,1)=y_hamming(i+1,1);
    end

end

end

end

***** Hamming Filtre çıkışı ve Ölçüm sinyali
*****
figure ,
t=0.01:0.01:(length(x_in)/100);
plot(t,x_in,'b')
hold on
plot(t,y_hamming,'r')
grid on
xlabel('Zaman (sn)');
ylabel('yumurta ağırlığı (gr)');
title('Ölçüm Sinyali ve Hamming Filtre Çıkışı');
legend('Ölçüm Sinyali','Hamming Filtre Çıkışı');
```


EK:3 Rectangular Filtresi MATLAB Kodu (rectangular_filtresi.m) (Devam)

```
        stb_blackman(i+1,3)=y_rect(i+1,1);
        if(k==m)
            k=0;
            den(i+1,1)=y_rect(i+1,1);
        end
    end
end
end

%***** Rectangular Filtre çıkışı ve Ölçüm sinyali
%*****
figure ,
t=0.01:0.01:(length(x_in)/100);
plot(t,x_in,'b')
hold on
plot(t,y_rect,'r')
grid on
xlabel('Zaman (sn)');
ylabel('yumurta ağırlığı (gr)');
title('Ölçüm Sinyali ve Rectangular Filtre Çıkışı');
legend('Ölçüm Sinyali','Rectangular Filtre Çıkışı');
```


EK:4 Von Hann Filtresi MATLAB Kodu (vonhann_filtresi.m) (Devam)

```
if(delta<n)
    k=k+1;
    stb_blackman(i+1,2)=1;
    stb_blackman(i+1,3)=y_hann(i+1,1);

    if(k==m)
        k=0;
        den(i+1,1)=y_hann(i+1,1);
    end

end

end

end

***** Rectangular Filtre çıkışı ve Ölçüm sinyali
*****
figure ,
t=0.01:0.01:(length(x_in)/100);
plot(t,x_in,'b')
hold on
plot(t,y_hann,'r')
grid on
xlabel('Zaman (sn)');
ylabel('yumurta ağırlığı (gr)');
title('Ölçüm Sinyali ve Von Hann Filtre Çıkışı');
legend('Ölçüm Sinyali','Von Hann Filtre Çıkışı');
```

EK:5 Adaptif LMS Filtresi MATLAB Fonksiyon Kodu (lms_af_fonksiyon.m)

```
function [w,y]=lms_af_fonksiyon(x_in,d,mu,M,L,w,y)
%[h,y]=lms(x,d,delta,N)
%w=filtre ağırlık katsayı dizisi
%y=tahmini filtre çıkışı
%x_in=giriş dizisi
%d=istenen sinyal
%mu=adım büyüklüğü
%M=Filtre derecesi

for n=M:L
    x1=x_in(n:-1:n-M+1);
    y=w*x1;
    e=d(n)-y;
    w=w+mu*e*x1';
end
```