

ÇİFT VE TEK BASKI YAYLI KONVANSİYONEL DİZEL YAKIT ENJEKTÖRLERİNİN FONKSİYON VE ÖNAYAR MAKİNE VERİMLERİNİN YAZILIM MÜDAHALESİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ[†]

*Osman Hilmi KOÇAL**

*Ekrem DÜVEN**

Özet: Bu çalışmada, endüstriyel bir süreç üzerinde oluşan üretim hatalarının en önemli sebebi olarak görülen gürültü etkisinin sayısal filtreler kullanılarak ortadan kaldırılmasına çalışılmıştır. Gerçek bir süreç üzerinde yapılan çalışmalarda (Robert Bosch Türkiye Bursa Enjektör Fabrikası = **RBTR**'ında gerçekleştirilmiştir) bu amaçla FIR filtreleme tekniğinden faydalanılmıştır. Çalışmada öncelikle fonksiyon ve önayar makineleri için referans olan basınç sinyalinin üzerindeki gürültünün niteliği ve üretime olan etkisi incelenmiştir. Bu etkiyi bastırabilmek amacıyla gerekli olan sayısal filtre tasarlanmış ve elde edilen düzeltme yazılımı, fonksiyon ve önayar makinelerinin üzerinde yer alan denetim yazılımının eski sürümü üzerine adapte edilmiştir. Oluşturulan bu sürümün sisteme uygulanması ile süreçten yeni basınç sinyali örnekleri alınmış ve üretime olan olumlu ya da olumsuz etkileri (iyi parça oranı açısından) incelenmiştir. Sonuç olarak ta makinelerin çalışma frekans bölgesindeki istenmeyen gürültü bileşenlerinin bastırılması ile basınç sinyalindeki küçük yuvarlamalara rağmen doğru karar verme yeteneklerinde bir artış gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sayısal Filtreler, Finite Impulse Response (**FIR**), Dizel Enjektörler, Yazılım.

Improvement of "Efficiency of Function Test and Pre-Adjustment Machines" used for testing of Conventional Diesel Fuel Injectors with Single and Double Compression Spring by Software Operation

Abstract: In this study, it is tried to eliminate the noise effect that is treated as most important reason of production errors during an industrial process by using digital filters. For this purpose, Finite Impulse Response (FIR) technique is applied to a real process in (Robert Bosch Turkey) Bursa Injector Factory = **RBTR**. Firstly, the characteristics of noise on pressure signal that is an important reference for function test and preadjustment machines in assembly line and its effect on production are investigated. To minimize this effect, required digital filter is designed and developed correction software is implemented on the old version of control software available on the function test and preadjustment machines. By applied developed version to the system, samples of the new pressure signals are taken from process and their effects to the production from the ratio of good parts point of view are examined. As a result, by suppressing the noise component of the machines in the frequency range, it is observed an increase in the correct decision making of the machines although small approximations are applied to pressure signals.

Key Words: Digital Filters, Finite Impulse Response (**FIR**), Diesel Injectors, Software.

1. GİRİŞ

RBTR fabrikasında halen üretilmekte olan 2FH (*zweifederhalter* = çift yaylı) ve STH (*stufenhalter* = tek yaylı) konvansiyonel dizel enjektörleri için önemli olan 3 kalite ölçütü; sızdırmazlık özelliği, açma basıncı değerinin kararlılığı ve schnarren (enjektörün açma ve kapama hareketleri arasında yaptığı özel bir titreşim hareketi) hareketinin tekrarlanabilirliğidir (Bosch, 2000). Bu ölçütlerin seri üretim bandında denetimleri birer adet ön ayar ve fonksiyon test makinesi ile (çift yaylı tipler için her biri bir açma basıncı için olmak üzere ikişer tane) gerçekleştirilmektedir. Makineler üzerinde çalışmakta olan denetim yazılımları sayesinde enjektörlerden her biri için elde edilip kaydedilen basınç sinyali belirli ölçütlere (Bosch, 2000) göre değerlendirmeye tabi tutulmaktadır (bu değerlendirme ölçütlerinden 3 nolu bölümde bahsedilmiştir). Bu işlemlerin sonucu olarak ta güvenlik değerlerinin arasında kalan enjektör için iyi ya da kötü kararı verilebilmektedir.

[†] Bu çalışma Uludağ Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: M-2003/103).

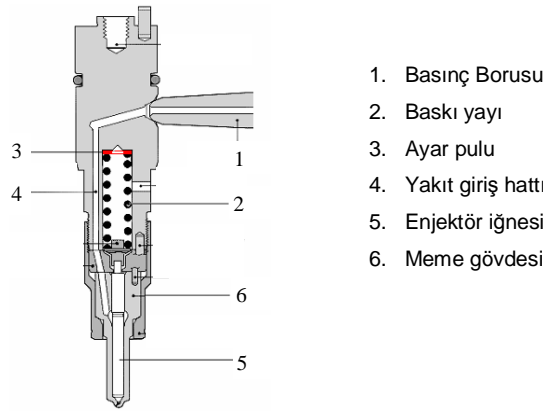
* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa.

Verilen iyi parça kararlarının toplam üretilen parça sayısına oranı bize iyi parça oranı = GA'nı vermektedir (Bosch, 2002a). İyi parça kararının tam ve doğru olarak verilebilmesi için anahtar veri olan basınç sinyalinin tam ve doğru olarak elde edilmesi gerekmektedir. Tablo 2'de de ayrıntılı olarak verilen hata kaynaklarının başında bu sinyalin tam olarak elde edilememesi yani üzerine gürültü binmesi gelmektedir. Yapılan çalışmada çeşitli kaynaklardan gelen gürültü bileşenlerinin etkisinin filtreleme yöntemiyle ortadan kaldırılmasına çalışılmıştır.

2. ENJEKTÖRÜN YAPISI

Dizel yakıt kullanan araçlarda yakıtın yanma odasına atılması işlevi enjektörler tarafından yerine getirilmektedir. Enjektörler yüksek basınçlı yakıt pompasından gelen dizel yakıtı meme ucundan önceden ayarlanmış olan basınç değerinde ve püskürtme açısında pulverize ederek yanma odasına atmakta ve böylece patlama olayının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Yanma verimini ayarlamak için tek yaylı ve çift yaylı gibi geleneksel modeller ile common rail ve unit gibi yeni modelleri mevcuttur.

Tüm ayrıntılarıyla birlikte en basit yapı olan tek yaylı bir enjektör (STH)'ün modeli Şekil 1'de verilmiştir:

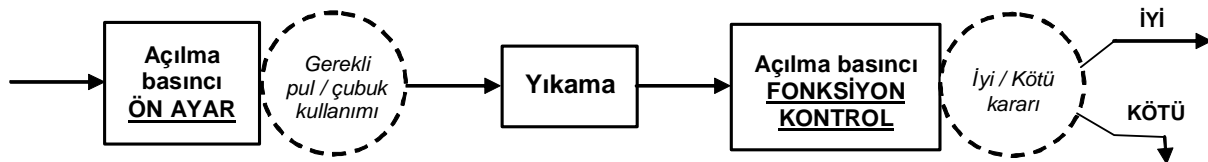


Şekil 1.

Tek yaylı bir dizel yakıt enjektörünün düşey kesiti (Bosch, 2000)

Süreç üzerinde kontrol edilmesi gereken ana değişken açılma basıncıdır. Burada açılma basıncının bir tanımını verecek olursak; enjektöre yukarıdaki şekilde görülen 1 numaralı boru ile uygulanan akışkanın basıncı sonucunda, 5 numara ile gösterilen enjektör iğnesinin ucundan dışarıya püskürme olayının başladığı andaki basınç değeridir. Her bir tip için belli tolerans aralıklarında tanımlanan açılma basıncı değerleri mevcuttur (çift yaylı modeller için iki adet açılma basıncı değeri mevcuttur). Bu değeri tam olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde (çoğu durumda <%1 seviyelerinde) ayarlamak için duruma göre şekilde 3 numara ile gösterilen eleman gibi bir ayar pulu ve/veya ayar çubuğu kullanılmaktadır. Ön ayar istasyonlarında konulan bu pul/çubuk ile belirlenen açılma basıncı değeri fonksiyon test makinesinde kontrol edilerek, üretimden çıkan enjektör için iyi veya kötü parça yargısına varılmaktadır.

Bahsettiğimiz bu süreci Şekil 2'deki gibi bir akış diyagramı olarak ta göstermemiz mümkündür:



Şekil 2.

Tek bir açılma basıncı için sürecin işleyişi

İyileştirme öncesinde mevcut olan iyi parça tutturma oranları Tablo 1'de görüldüğü gibidir. Belirli bir üretim kalite standardının yakalanması açısından hedeflenen oranlar ise hemen yandaki sütunda görülmektedir. Yapılan bu çalışmadan beklenen sonuç; Tablo 1'de verilen oranlara yaklaşılmasının sağlanmasıdır.

Tablo 1.
Mevcut <2002 itibariyle> ve hedeflenen iyi parça =
GA(GutAusbringung) oranları (Bosch, 2002a)

Model İsmi	Şu anki GA artış oranı	Hedef GA artış oranı
STH (Üretim Hatları) bir önceki yıla göre	+7 %	+8 %
2FH (Üretim Hatları) bir önceki yıla göre	+5 %	+9 %

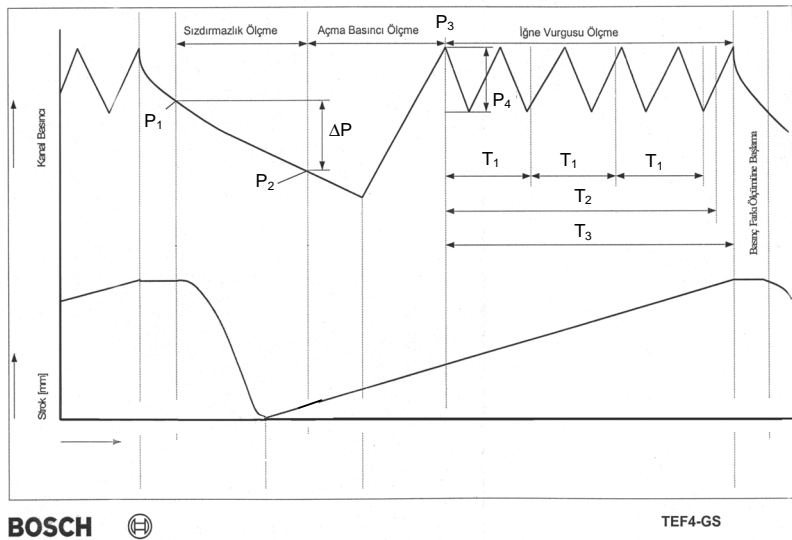
Mevcut olan iyi parça oranının denetim yazılımı üzerindeki olası hata kaynakları, süreçte görev alan kullanıcıların ve denetçilerin ortak olarak sundukları görüşler çerçevesinde puanlanarak (olasılığı en yüksek olan hata kaynağı 10 olmak üzere 1–10 arasında, hatanın giderim maliyeti en düşük maliyet 5 olmak üzere 1–5 arasında, çözümün etkinliği en fazla olan çözüme 5 olmak üzere 1–5 arasında puanlanarak ve bu üçünün çarpımından genel puan oluşturulması suretiyle) aşağıdaki gibi sıralanması sonucu en uygun görülen konu (max puanlı) seçilmiştir.

Tablo 2.
Hata kaynağı olarak gözlenen yazılım konuları ve çözümlerinin
belirlenmesi (Bosch, 2002b)

No	Olası iyileştirme potansiyelleri	Ağırlık	Maliyet	Getiri	Toplam
1	Basınç sinyalinin elektronik ortamda filtrelenmesi	10	5	5	250
2	Ön ayarda hesaplama formüllerinin iyileştirilmesi	9	5	5	225
3	Otomatik schnarren denetiminin işletmeye alınması	8	5	5	200
4	Ölçme verilerinin otomatik olarak hafızaya alınması	7	5	3	105
5

FİLTRELENECEK SİNYALİN ÖZELLİKLERİ -TANIMI

Ön ayar ve fonksiyon test makinelerinde her bir anda sağ kanal ve sol kanal olmak üzere iki bölmede ölçümler yapılmaktadır. Bu amaçla ölçüme alınan enjektörlere devir sayısı denetlenebilen özel bir pompa aracılığıyla yüksek basınçlı bir akışkan uygulanmaktadır. Enjektörün sıvı girişinden basınç sensörleri aracılığıyla alınan sinyal, ölçümü yapılan eleman için değerlendirme ve karar ölçütlerinde kullanılacak özel bir formdadır ve bu sinyal bilgisayar üzerine kaydedilmektedir. Bir fonksiyon makinesinin girişinden alınan tipik bir işaret Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil üzerinde görülen bazı parametrelerin açıklamaları ise yan bölümde yer almaktadır:



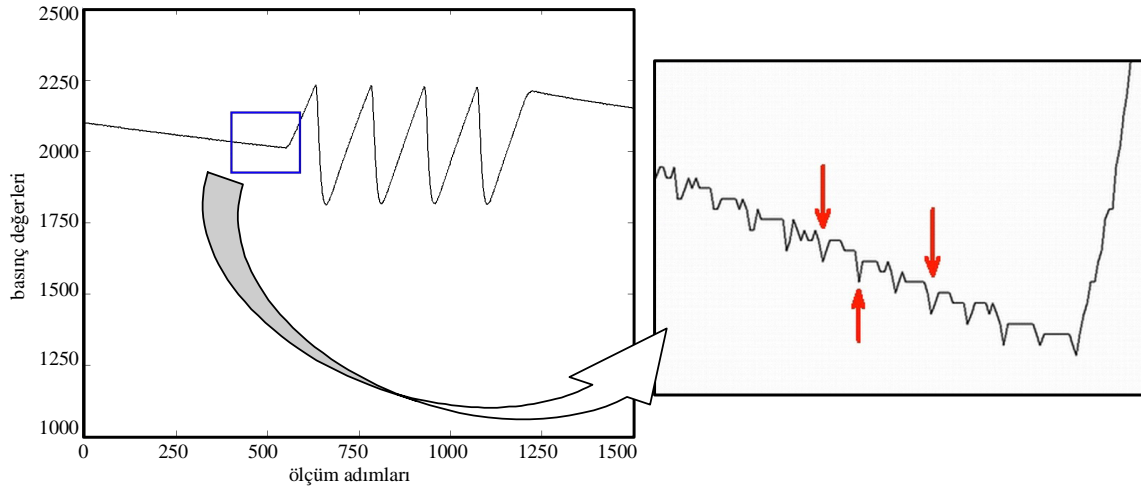
- P_1 : sızdırmazlık ölçümü için kaynak nokta 1
- P_2 : sızdırmazlık ölçümü için kaynak nokta 2
- ΔP : sızdırmazlık değeri (bağıl basınç düşümü)
- P_3 : açma basıncı ölçüm noktası
- P_4 : titreşim hareketi anındaki dalga boyu
- T_1 : titreşim hareketinin ortalama periyodu
- T_2 : titreşim hareketinin (schnarren) izlendiği süre

Şekil 3.

Fonksiyon makinesinden elde edilmesi beklenen teorik basınç işareti (Bosch, 2000)

Yukarıdaki şekilde görülmekte olan işaret teorik olarak elde edilmiştir ve bu nedenle üzerinde gürültü bileşenleri mevcut değildir. Oysa gerçek bir sistemden elde edilen işaret incelendiğinde işaretin bu kadar net olmadığı gözlenmektedir. Şekil 4’te böyle bir işaret ve üzerindeki gürültü bileşenleri görülmektedir.

Şekilde de ayrıntılı olarak görüldüğü üzere basınç sinyali üzerinde gürültü bileşenlerinden kaynaklanan dalgalanmalar mevcuttur. Bu dalgalanmalar açılma basıncının tespit edildiği noktanın yanlış değerlendirilmesine sebep olmakta ve enjektör içerisine atılacak olan pul/çubuk değerinin yanlış hesaplanmasına sebep olmaktadır. Bu noktada yanlış ayarlanan açılma basıncı noktası sebebiyle oluşan hata, bir sonraki değerlendirme ölçütünde hataların toplamsallığından dolayı güvenlik sınırını (iyi parça değerlendirmesi açısından) zorlayan bir durum ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla Tablo 2’de 1.madde de öngörüldüğü şekliyle basınç sinyalinin sayısal olarak filtrelenmesi gerekmektedir.



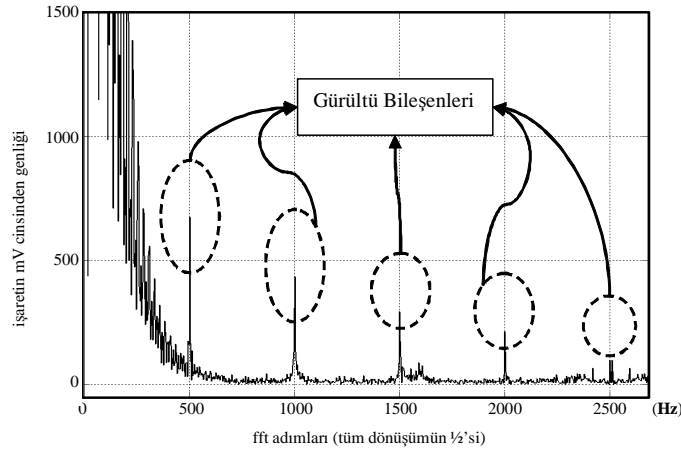
Şekil 4.
Fonksiyon makinesinden elde edilen gerçek basınç sinyali

4. BASINÇ SİNYALİNİN SAYISAL ORTAMDA FİLTRELENMESİ - GERÇEKLEME

Şekil 4’teki sinyalin elde edilmesi bir başlama işaretinin (tek bir pulse’tan ibaret) algılanmasıyla başlamaktadır. Bu andan itibaren 5 kHz’lik örnekleme frekansıyla 1500 adet ölçüm alınarak denetim makinesinde yer alan bilgisayar hafızasında saklanmıştır. Bu işaret incelenmek amacıyla başka bir sayısal ortama (bilgisayarda) aktarılarak FFT (Fast Fourier Transform) dönüşümü uygulanmış ve hangi frekans bileşenlerinden oluştuğu incelenmiştir.

FFT dönüşümü Ayrık Fourier Dönüşümü = AFD’nün hızlı olarak bulunmasını sağlayan bir algoritmik dönüşümdür. Elde edilen sonuçlar AFD ile aynıdır (Kayran ve Ekşioğlu, 2004). Bununla birlikte yapılan işlem sayısı oldukça düşmektedir. Şöyleki; N noktalı bir AFD işlemi için N^2 adet çarpma ve $N*(N-1)$ adet toplama işlemi yapmak gerekmektedir. FFT’de ise $N*\log_2N$ adet çarpma ve toplama işlemi yapmak gerekmektedir (Walker, 1996 ve Brigham, 1988). Yapılan çalışmamızda da olduğu gibi $N=1024$ noktalı bir dönüşümde yapılan işlem sayıları arasında 100 kat fark vardır. Proses içerisinde parça ile ilgili olarak hızlı bir karar verilmesi için FFT dönüşümü tercih edilmiştir.

FFT dönüşümü ile Şekil 5’teki grafik (sinyalin mutlak değeri alınarak) elde edilmiştir. Orijinal halinde 1500 örnekten oluşan işaret başlangıç ve bitiş anlarındaki bileşenlerin etkisini sınırlamak için bu noktalardan kırılarak 1400 örneğe dönüştürülerek değerlendirilmiştir. FFT dönüşümünün simetri özelliğinden dolayı $1400/2 = 700$. adımdan (ki bu adım 2500 Hz değerine karşılık gelmektedir) sonraki bileşenler gösterilmemiştir (Oppenheim ve Schafer, 1989). İşaret dikkatle incelendiğinde şekil üzerinde kesikli elipsler içerisine alınmış olarak gösterilen 140. ve tam katları adım noktalarında (bu noktalar 500Hz ve katlarına denk gelmektedir) gürültü bileşenlerinin varlığı görülmektedir. Bu bileşenler Şekil 4 üzerinde de görülen hatalı noktalara yol açmaktadırlar. Fonksiyon ve önayar makinelerinin Bosch Firması tarafından hazırlanan teknik şartnamesine göre; süreçten elde edilen ve değerlendirmeye giren işaretler için en yüksek frekans bileşenin 250 Hz olması istenilmektedir (Bosch, 2000). Bu da demek olmaktadır ki: bu tepeleri bastırmak amacıyla belirtilen kesim frekansına sahip olan bir alçak geçiren filtre tasarlamak gerekmektedir (Oppenheim ve Willsky, 1997).



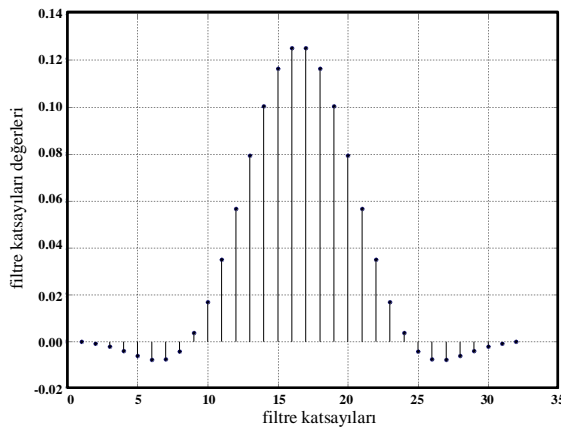
Şekil 5.
Basınç işaretinin FFT dönüşümü alınmış hali

Şekil 5 üzerinde görülen hatalı bileşenleri bastırmak amacıyla MATLAB – Signal Processing Toolbox'taki **FIR1** komutu (Mathworks, 2003) kullanılarak aşağıdaki gibi 32 uzunluklu bir alçak geçiren sayısal FIR Filtre tasarlanmıştır. Burada FIR filtrenin tercih edilmesinin nedeni ihtiyaç duyulan herhangi bir frekans karakteristiğini (hem genlik hemde faz açısından) rahatlıkla sağlayabilmesidir (Kayran ve Ekşioğlu, 2004). Yinelemesiz (nonrecursive) FIR filtre gerçeklemede doğrudan konvolüsyon ya da FFT kullanılarak işlem hızından tasarruf edilebilmektedir. Ayrıca FIR filtrelerin simetri özelliğinden dolayı işlem sayısı yarıya da düşürülmektedir. Sonuç olarak toplama işlemine göre daha fazla zaman ve donanım gerektiren çarpma işlemi azaltan FIR filtrelerin kullanımı çok daha avantajlı olmaktadır (Garg, 1998).

Filtrenin tasarımı esnasında bir önceki sayfada bahsedilen sebepten dolayı (basınç sinyalinin frekans cevabında 500 Hz değerinde gürültü bileşenin gelmesi) gürültülerin olduğu frekans değerleri dikkate alınarak 250 Hz kesim frekansına sahip olması uygun görülmüştür. Buna göre filtrenin W_N değeri $250/2500 = 0,1$ olmaktadır. W_N değeri tasarlanan filtrenin kesim frekansını belirleyen bir parametredir. Kesime gitmesi istenilen frekans bileşeninin, sinyalin örnekleme frekansının yarısına oranını göstermektedir (Mathworks, 2003). Çalışmamızda örnekleme frekansı 2500 Hz olduğuna ve kesim frekansı olarak 250 Hz seçildiğinde oluşan $0.1 W_N$ değerine göre MATLAB programından elde edilen filtrenin sayısal değerleri ve darbe cevabı Şekil.6'da görülmektedir (Lutovac, Tosic ve Evans, 2001).

5. SONUÇLAR

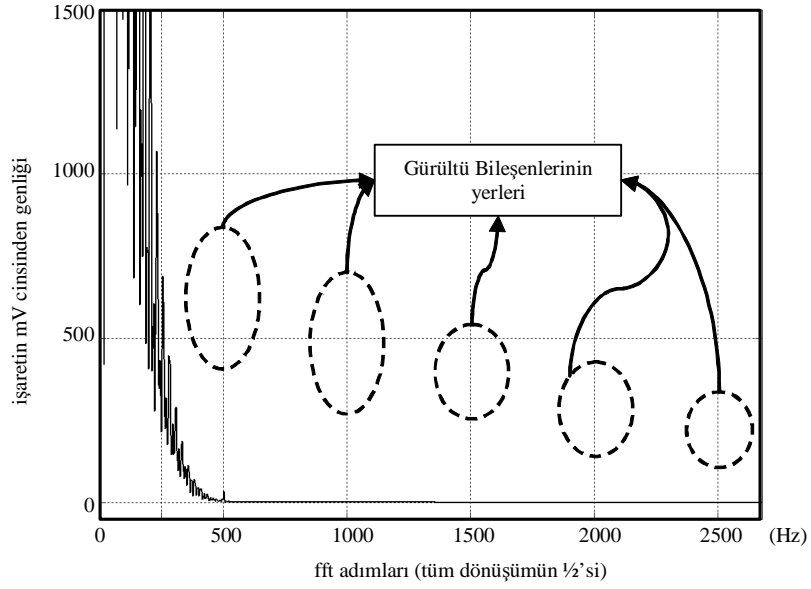
Şekil 6'da darbe cevabı görülen sayısal filtre, bir yazılım yaması olarak fonksiyon ve önayar makinelarının denetim yazılımının (C dilinde yazılmıştır) içerisine adapte edilerek süreç üzerinde devreye alınmıştır. Filtrenin etkin olmasıyla birlikte elde edilen yeni basınç sinyali kaydedilerek önceki incelemelerde olduğu gibi FFT dönüşümü alınmış ve Şekil 5'teki formda düzenlenerek Şekil 7'deki grafik oluşturulmuştur.



Yandaki filtre için geçerli olan katsayılar:

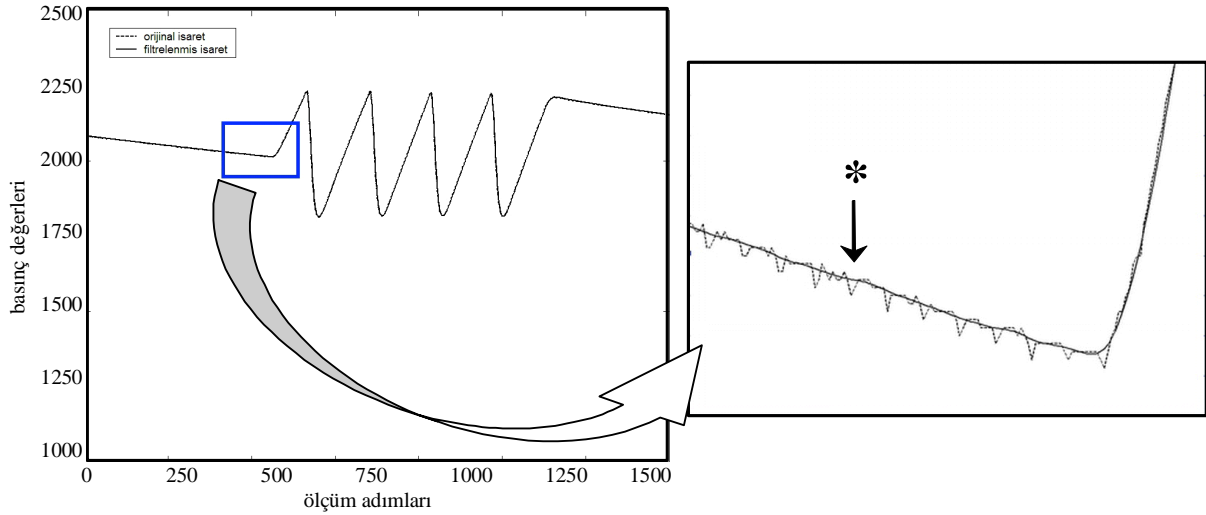
```
h(n) = [ -0.00018311 -0.00094607 -0.00216681 ....
..... -0.00396741 -0.00610370 -0.00772118 ....
..... -0.00759911 -0.00424207 0.00366622 ....
..... 0.01678518 0.03485214 0.05648976 ....
..... 0.07928709 0.10028383 0.11642811 ....
..... 0.12518693 0.12518693 0.11642811 ....
..... 0.10028383 0.07928709 0.05648976 ....
..... 0.03485214 0.01678518 0.00366622 ....
..... -0.00424207 -0.00759911 -0.00772118 ....
..... -0.00610370 -0.00396741 -0.00216681 ....
..... -0.00094607 -0.00018311 ]
```

Şekil 6.
Alçak geçiren FIR filtrenin grafiksel gösterimi



Şekil 7.
Basınç işaretinin filtrelendikten sonraki FFT dönüşümü

Görüldüğü üzere gerçekleştirilen sayısal filtre tam olarak çalışarak gürültü bileşenlerinin hemen hepsini süzmüştür. Filtrenin zaman domenindeki işlevini görmek amacıyla Şekil 8'deki grafik verilebilir.



Şekil 8.
Filtreleme işleminden önce ve sonra basınç sinyali

Görüldüğü üzere filtrelenmiş işaret, orijinal olana göre daha kararlı ve düz hatlara sahiptir. Basınç değerinin herhangi bir andaki değeri ile o andaki gürültü değeri karşılaştırıldığında bunun o kadar önemli olmadığı gibi bir kanıya varılsa da; fonksiyon ve önayar makinelerindeki denetim yazılımı enjektörün açılma durumuna girdiğine bu sinyalin eğimine bakarak karar vermektedir. Dolayısıyla gürültülü sinyal üzerinde herhangi bir andaki, örneğin Şekil 8 üzerinde görülen * anında, filtrelenmemiş sinyalin grafiği bir dönüş hareketi (aşağıya doğru) yaparken filtrelenmiş sinyalde böyle bir dönüş hareketi söz konusu değildir. Sonuç olarak denetim yazılımının bu noktada filtrelenmemiş sinyal için hatalı bir karar verme olasılığı mevcut iken, filtrelenmiş sinyalde böyle bir durum söz konusu olmamaktadır.

Filtreleme işleminin uygulanmasının ardından süreçten elde edilen iyi parça oranları yeniden gözden geçirildiğinde ise; Tablo 3'teki sonuçlara ulaşılmıştır. Görüldüğü üzere Tablo 1'de de verilmiş olan hedef değerler tam olarak yakalanmıştır.

Tablo 3.
Başlangıçtaki, ulaşılan ve hedeflenen iyi parça = GA oranları (BOSCH, 2003)

Model İsmi	Filtreleme işleminden sonraki GA artış oranı	Hedeflenen GA artış oranı
STH (Üretim Hatları) bir önceki yıla göre	+8 %	+8 %
2FH (Üretim Hatları) bir önceki yıla göre	+9 %	+9 %

6. TEŞEKKÜR

Yazarlar Robert Bosch TR (RBTR) firmasına teşekkür eder.

7. REFERANSLAR

1. BOSCH (2000), Robert Bosch teknik şartname (test şartnamesi DS EHD 919 181).
2. BOSCH (2002a), RBTR - FAK Üretim Takip Raporları 2002.
3. BOSCH (2002b), RBTR – GA Grubu Workshop Çalışması 2002.
4. BOSCH (2003), RBTR - FAK Üretim Takip Raporları 2003.
5. MATHWORKS (2003), “MATLAB Signal Processing Toolbox User’s Guide ver 5.3”, The Mathworks Inc.
6. H.K. GARG (1998), “Digital Signal Processing, Algorithms, Number Theory, Convolution, Fast Fourier Transforms and Application”, CRC Press.
7. E.BRIGHAM (1988), “Fast Fourier Transform and It’s Applications”, Prentice Hall.
8. J.S.WALKER (1996), “Fast Fourier Transforms”, CRC Press.
9. KAYRAN Ahmet H., EKŞİOĞLU Ender M. (2004), “Bilgisayar Uygulamalarıyla Sayısal İşaret İşleme”, Birsen Yayınevi.
10. OPPENHEIM, Alan V., SCHAFER Roland W. (1989), “Discrete-Time Signal Processing”, Prentice Hall Signal Processing Series, New York.
11. OPPENHEIM Alan V., WILLISKY Alan S. (1997), “Signals and Systems”, Prentice Hall Signal Processing Series, New York.
12. LUTOVAC M., TOSIC D., EVANS B. (2001), “Filter Design for Signal Processing Using MATLAB and Mathematica”, Prentice Hall.